

Leandro Dussarrat Brito

**PATOLOGIA EM ESTRUTURAS
DE MADEIRA: METODOLOGIA DE
INSPEÇÃO E TÉCNICAS DE
REABILITAÇÃO**

VERSÃO CORRIGIDA

A versão original encontra-se na Escola de Engenharia de São Carlos

Tese apresentada ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Doutor em Engenharia de Estruturas.

Área de concentração: Engenharia de Estruturas

Orientador: Prof. Titular Dr. Carlito Calil Junior

São Carlos

2014

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

B862p Brito, Leandro Dussarrat
Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação / Leandro Dussarrat Brito; orientador Carlito Calil Jr.. São Carlos, 2014.

Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014.

1. estruturas. 2. madeira. 3. patologia em estruturas. 4. inspeção. 5. reabilitação. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidato: Engenheiro **LEANDRO DUSSARRAT BRITO**.

Título da tese: "Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação.

Data da defesa: 25/11/2014

Comissão Julgadora:

Prof. Titular **Carlito Calil Junior (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Titular **Francisco Antonio Rocco Lahr**
(Escola de Engenharia de São Carlos/EESC)

Prof. Dr. **João Henrique Jorge de Oliveira Negrão**
(Universidade de Coimbra/UC)

Prof. Dr. **Adriano Wagner Ballarin**
(Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"/UNESP-Botucatu)

Prof. Dr. **Ângela do Valle**
(Universidade Federal de Santa Catarina/UFSC)

Resultado:

APROVADO

APROVADO

APROVADO

APROVADO

APROVADO

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
(Engenharia de Estruturas):

Profa. Associada **Ana Lucia Homce de Cresce El Debs**

Presidente da Comissão de Pós-Graduação:
Prof. Associado **Paulo César Lima Segantine**

Dedico este trabalho à minha mãe Nadia, ao meu pai Brito, à minha esposa Juliana, ao meu irmão Adriano, à minha irmã Letícia, aos meus sobrinhos Gabriel, Luísa e Henrique pela compreensão, força e incentivo aos estudos em mais esta grandiosa etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela saúde e sabedoria concedida em todas as etapas da minha vida.

Em especial ao Dr. Carlito Calil Junior professor do LaMEM/SET/EESC/USP, pela orientação desse trabalho, amizade, e pelos anos de companheirismo.

Aos professores Dr. Francisco Antônio Rocco Lahr, Antônio Alves Dias do LaMEM/SET/EESC/USP, Dr. José Samuel Giongo e Dr. Libânio Miranda Pinheiro do SET/EESC/USP pela amizade e pelas disciplinas cursadas em que muito me dediquei.

A toda equipe de funcionários e pesquisadores do Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira e do Departamento de Engenharia de Estruturas, pelo profissionalismo, pela amizade, e que de alguma maneira contribuíram para a realização desse trabalho.

Em especial aos meus amigos Dr. Carlito Calil Neto, Dr. Julio Cesar Molina e Dr. Julio César Pigozzo, pelos compartilhamentos no conhecimento para realizações de trabalhos científicos.

Ao CNPq pela concessão da Bolsa de Doutorado, pois "o presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil".

À Pró-Reitoria da Pós-Graduação da Universidade de São Paulo, pela concessão da Bolsa de Intercâmbio Cultural e Educacional no Exterior, no Programa de Mobilidade Estudantil Internacional de Pós-Graduação do Doutorado realizado na Universidade de Coimbra, e ao "Programa Santander de Bolsas de Mobilidade Internacional" "EDITAL SANTANDER PRPG/2013".

Em especial aos professores Dr. João Henrique Jorge de Oliveira Negrão, Dr. Alfredo Manuel Pereira Geraldês Dias do Laboratório de Estruturas e ao Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (FCTUC), pelo amparo e Coorientação no Intercâmbio em 2013, que mais do que provocar o entrelaçamento entre as universidades, a internacionalização contribuiu de forma essencial no compartilhamento de informações científicas na pesquisa, e no estreitamento de atividades acadêmicas entre os países, e aos mestrandos Tiago André Pedrosa Gonçalves, Tiago Simões e Rodolfo F. S. Henriques, pelas contribuições.

Aos Engenheiros Henrique Partel e Montanha pelas colaborações e contribuições em inspeções realizadas em campo.

A construtora BEMA, pelo fornecimento das peças de madeira, para realizações de ensaios no LaMEM, na avaliação da metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação propostas, com ênfase no estudo da intervenção na "Passarela Pênsil de Piracicaba".

“A toda ação há sempre uma reação oposta e de igual intensidade”

Isaac Newton

RESUMO

BRITO, Leandro Dussarrat. *Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação*. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

Nesse trabalho foram estudadas de maneira sistematizada em manifestações patológicas em estruturas de madeira, em pesquisas de metodologias de inspeção com base nas técnicas não destrutivas (NDT), e técnicas de reabilitação. Com base na *Categoria de uso* do projeto de revisão da NBR 7190:2011, de acordo com a região em que os elementos estruturais de madeira envolvidos estão expostos, é apresentada uma metodologia para avaliação do *Potencial de Risco de Biodeterioração* em função das *Classes de Risco*, e uma metodologia de *Classe de Prioridade de Intervenção*, em função da eminência de risco, detectada. Como contribuição é proposta uma *Metodologia de Inspeção Visual Detalhada* com imagens digitais assistidas via sistema CAD, que foi validada com o uso do Resistograph® IML-RESI-F500. Como contribuições originais em técnicas de reabilitação, foram propostos dois *Estudos de Caso* distintos. No *Estudo de Caso R1* foram propostas duas técnicas de reabilitação em vigas MLC com parafusos auto-atarraxantes, uma de ligação momento-resistente em próteses de MLC (R1-MLC1) e outra de ligações por cisalhamento em delaminações e fendas longitudinais (R1-MLC2). Já no *Estudo de Caso R2*, com ênfase para reabilitação da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, foram propostas duas técnicas de reabilitação originais, sendo a Proposta R2-CJ1 com *cobrejuntas justapostas pregadas* e a Proposta R2-CJ2 além das *cobrejuntas* as regiões parcialmente biodeterioradas em zonas comprimidas de vigas de *Eucalyptus citriodora* foram reconstituídas com adesivo estrutural epoxídico, sendo que o Estado Limite dos resultados experimentais de flexão é garantido pelo efeito de incremento de força. No Apêndice A são apresentados os principais estudos de inspeções realizados *em campo* de 15 estruturas, e no Apêndice B uma coletânea com referências em exemplificações de técnicas de reabilitação, estudadas por renomados pesquisadores do Brasil e do Exterior. Os estudos bibliográficos, de campo e de laboratório mostraram que a *Metodologia de Inspeção* e as *Técnicas de Reabilitação* propostas são adequadas para aplicações na avaliação de patologias e conservação de elementos estruturais de madeira.

Palavras-chave: estruturas; madeira; patologia em estruturas; inspeção; reabilitação.

ABSTRACT

BRITO, Leandro Dussarrat. *Pathology in timber structures: inspection methodology and rehabilitation techniques*. Thesis (Doctoral) - Department of Structural Engineering, São Carlos School of Engineering, University of São Paulo, São Carlos, 2014.

In this work was studied in a systematic way in pathological manifestations in timber structures in research inspection methodologies based on non-destructive techniques (NDT), and rehabilitation techniques. Based on the *Category of Use* by design revision of ABNT NBR 7190: 2011, according to the region where the timber structural members involved are exposed, a methodology is presented to evaluate the *Potential Risk* of biodeterioration due Classes of Risk and a methodology for *Priority Class of Intervention*, depending on the eminence of risk detected. As a contribution, it was proposed a *Detailed methodology Visual Inspection* with digital images assisted by CAD system, which was validated using the Resistograph® IML-RESI-F500. As original contributions in rehabilitation techniques has been proposed two different *Case Studies*. In *Case Study R1* it was proposed two rehabilitation techniques in MLC beams with self-tapping screws, one moment-resisting connection prostheses MLC (R1-MLC1) and other connections for shear in longitudinal checks and delaminations (R1-MLC2). In the *Case Study R2*, with emphasis on rehabilitation *Suspension Footbridge of Piracicaba*, two original rehabilitation techniques were proposed, the *Proposal R2-CJ1* nailed scabbing and the *Proposal R2-CJ2* beyond nailed scabbing the regions partially biodeteriorated in compressed zones beams *Eucalyptus citriodora* were reconstituted with epoxy structural adhesive, where in the Limit-state of experimental results static bending is ensured by the effect of increasing force. It was presented in Appendix A of the main studies of inspections conducted *in situ* of 15 timber structures, and Appendix B references a collection with exemplifications of *Rehabilitation Techniques*, studied by renowned researchers from Brazil and abroad. Bibliographic studies, field *in situ* and laboratory showed that the *Inspection Methodology* and *Rehabilitation Techniques* proposals are suitable for applications in the evaluation of pathologies and conservation of timber structural members.

Keywords: structures; timber; pathology in structures; inspection; rehabilitation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	21
1.1 ESTUDOS DE PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA NO BRASIL	24
1.2 JUSTIFICATIVA	26
1.3 OBJETIVOS.....	28
1.3.1 Geral.....	28
1.3.2 Específicos	28
1.4 METODOLOGIA GERAL	30
2 PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE MADEIRA.....	31
2.1 CONCEITO DE PATOLOGIA EM ESTRUTURAS	31
2.2 SINTOMATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE MADEIRA.....	32
2.2.1 Gênese da patologia em estruturas de madeira	32
2.2.2 Agentes de deterioração da madeira	32
2.2.2.1 Biodeterioração	35
2.2.2.2 Condições favoráveis à origem de agentes bióticos.....	36
2.2.3 Causas de deteriorações de estruturas	40
3 CARACTERÍSTICAS VISUAIS DE AGENTES DETERIORADORES.....	43
3.1 CARACTERÍSTICAS VISUAIS DE AGENTES BIÓTICOS	46
3.1.1 Bactérias.....	46
3.1.2 Fungos.....	49
3.1.2.1 Fungos emboloradores e fungos manchadores.....	50
3.1.2.2 Fungos apodrecedores	52
3.1.3 Atividades de insetos	61
3.1.3.1 Térmitas Isopteras	62
3.1.3.2 Brocas-de-madeira.....	74
3.1.3.3 Formigas, abelhas e vespas	83
3.1.4 Perfuradores marinhos	88
3.1.4.1 Teredinidae.....	89
3.1.4.2 Pholadidae	91
3.1.4.3 Limnoria	92
3.1.4.4 Sphaeroma terebrans	93
3.2 CARACTERÍSTICAS VISUAIS DE AGENTES ABIÓTICOS	96

3.2.1	Deteriorações pela ação de agentes físicos.....	96
3.2.1.1	Patologias de origem estrutural.....	97
3.2.2	Deterioração pela ação de agentes químicos.....	106
3.2.2.1	Corrosão nas ligações.....	106
3.2.2.2	Efeito da corrosão na madeira.....	107
3.2.3	Deterioração pela ação de agentes atmosféricos ou meteorológicos.....	108
3.2.3.1	Degradação pela ação de luz ultravioleta e intemperismo.....	109
3.2.3.2	Ações de vento.....	110
3.2.4	Danos devido ao fogo.....	110
3.2.5	Danos por animais silvestres.....	111
4	METODOLOGIAS USUAIS DE INSPEÇÕES.....	116
4.1	TÉCNICA DE INSPEÇÃO NÃO DESTRUTIVA (NDT).....	117
4.1.1	Técnicas de inspeção para detectar evidências de deterioração externa na madeira....	124
4.1.1.1	Técnica de Inspeção Visual.....	124
4.1.1.2	Teste ao puncionamento.....	126
4.1.1.3	Teste de picoteamento.....	126
4.1.1.4	Termografia (Câmara foto térmica).....	127
4.1.1.5	Medidor de umidade.....	128
4.1.1.6	Ensaio de arrancamento.....	130
4.1.1.7	Ensaio de Dureza.....	130
4.1.1.8	Medidor de densidade superficial com Pilodyn®.....	131
4.1.2	Técnicas de inspeção para detectar deterioração interna na madeira.....	132
4.1.2.1	Teste à percussão.....	132
4.1.2.2	Perfuração com análise tátil/visual.....	133
4.1.2.3	Perfuração com trado de amostragem.....	134
4.1.2.4	Régua para medição de profundidade.....	136
4.1.2.5	Microperfuração controlada.....	136
4.1.2.6	Avaliação Visual Detalhada Interna com Endoscopia.....	138
4.1.2.7	Provas de carga.....	139
4.1.2.8	Medidor de densidade nuclear <i>Lixi Profiler</i>	140
4.2	TRATAMENTOS PRESERVATIVOS PÓS-INSPEÇÕES.....	141
4.3	METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS DE NÍVEIS DE INSPEÇÃO EM AVALIAÇÕES... 142	
4.3.1	Fatores que influenciam no estado de conservação da estrutura.....	144

4.3.1.1	Avaliação da qualidade da madeira original	145
4.3.1.2	Avaliações das condições em serviço	145
4.3.2	Níveis de inspeção	149
4.3.2.1	Pré-inspeção	154
4.3.2.2	Inspeção Preliminar de Nível 1 (Avaliação geral)	154
4.3.2.3	Inspeção Detalhada de Nível 2 (Avaliação detalhada).....	172
4.4	PROPOSTA DE <i>METODOLOGIA DE INSPEÇÃO VISUAL DETALHADA</i> E AVALIAÇÃO COM O USO DO RESISTOGRAPH®	186
4.4.1	Técnica de avaliação do perfil de sondagem do Resistograph®: exemplo aplicado nas inspeções nas coberturas da <i>Igreja São Francisco</i> em Florianópolis, SC.....	189
4.4.2	Proposta de Metodologia de Inspeção Visual Detalhada de Anomalias com Mapeamento de Imagens Digitais Assistidas Via Sistema CAD (TIVCAD)	195
4.4.2.1	Avaliação de transversinas da <i>Passarela Pênsil de Piracicaba</i> pela metodologia TIVCAD proposta	196
4.4.3	Resultados e discussões das avaliações de transversinas da <i>Passarela Pênsil de Piracicaba</i> pela metodologia de inspeção visual proposta.....	200
5	MANUTENÇÃO, TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO, REFORÇO OU SUBSTITUIÇÃO.....	205
5.1	A IMPORTÂNCIA DE PROFISSIONAIS ESPECIALISTAS	205
5.1.1	Funções específicas do inspetor de estruturas de madeira.....	206
5.1.2	Identificação de objetivos, requisitos e restrições.....	207
5.1.3	Conservação dos materiais originais e conceito estrutural	208
5.1.4	Conservação da aparência da estrutura	209
5.1.5	Recuperação da capacidade de suporte de carga original	209
5.1.6	Reforço.....	209
5.1.7	Condições de trabalho	209
5.1.8	Compatibilidade entre diferentes materiais.....	210
5.1.9	Critérios de classificação geral	210
5.2	MANUTENÇÃO.....	211
5.2.1	Controle de Umidade	218
5.2.2	Tratamento preservativo <i>in loco</i>	220
5.2.3	Tratamentos de superfície	220
5.2.4	Fumigantes	222

5.2.5	Precauções ambientais com uso de produtos químicos <i>in loco</i>	224
5.3	TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO, REFORÇO OU SUBSTITUIÇÃO	225
5.3.1	Técnicas de reabilitações e reforços por meio de ligações tradicionais	225
5.3.1.1	Reabilitação ou reforços com cobrejuntas	225
5.3.1.2	Reabilitações ou reforços com aumento de inércia com adição de peças	227
5.3.1.3	Reabilitação com costuras de fendas longitudinais ou delaminações.....	227
5.3.2	Sistema de reabilitação de tabuleiro laminado pregado com sistema laminado-protendido	229
5.3.3	Reabilitações ou Reforços com encamisamentos de estacas com graute ou concreto armado.....	230
5.3.4	Reforço com barras ou cabos de aço atirantado	231
5.3.5	Evolução das técnicas de reabilitações com adesivos e resinas	232
5.3.5.1	Adesivos epóxi.....	233
5.3.5.2	Reforço com cobrejuntas coladas	235
5.3.5.3	Elementos estruturais de madeira reforçados com compósitos fibras e matrizes....	236
5.3.5.4	Argamassa epoxídica	238
5.3.5.5	Reforço com pinos colados em emendas com entalhes tipo Júpiter.....	239
5.3.5.6	Reabilitação de estacas com prótese de madeira fixada com barras coladas.....	239
5.3.5.7	Prótese de reconstituição de estaca ou coluna com grauteamento epoxídico.....	240
5.3.5.8	Reforço com barras coladas em peças submetidas a esforços axiais.....	240
5.3.5.9	Reforços de vigas com barras coladas	245
5.3.5.10	Reforços de vigas com Fibras Reforçadas com Polímeros (FRP).....	246
5.3.5.11	Próteses de extremidades de vigas com barras coladas <i>in loco</i>	247
5.3.5.12	Reabilitação de vigas com placas internas coladas <i>in loco</i>	251
5.3.6	Reforço com modificação da posição de apoio com adição de consolo	257
5.3.7	Restabelecimento da estabilidade.....	258
5.3.8	Reabilitação e reforços de pavimentos	259
5.3.9	Substituição de elementos estruturais.....	260
5.4	PROPOSTAS DE TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO	261
5.4.1	Estudo de Caso R1: Propostas de técnicas de reabilitação em vigas MLC com parafusos auto-atarraxantes	261
5.4.1.1	Metodologia	261
5.4.1.2	Escolha dos parafusos auto-atarraxantes HBS.....	262
5.4.1.3	Conceitos fundamentais de rigidez das ligações da NBR 7190:1997	263

5.4.1.4	Estudo de Caso R1: Proposta R1-MLC1 técnica de reabilitação com prótese MLC com ligação momento-resistente	264
5.4.1.5	Estudo de Caso R1: Proposta R1-MLC2 técnica de reabilitação de costura de fendas em vigas MLC com ligação por cisalhamento	270
5.4.1.6	Ensaaios experimentais das ligações com parafusos auto-atarraxantes.....	275
5.4.1.7	Resultados e discussões dos ensaios experimentais das propostas de técnicas reabilitação de viga MLC com parafusos auto-atarraxantes	278
5.4.2	Estudo de Caso R2: Propostas de técnicas de reabilitação de peças de madeira da <i>Passarela Pênsil de Piracicaba</i> com cobrejuntas justapostas de <i>Eucalyptus citriodora</i>	280
5.4.2.1	Ensaaios experimentais de flexão para avaliações de peças de <i>Eucalyptus citriodora</i> parcialmente biodeterioradas, originais da <i>Passarela Pênsil de Piracicaba</i>	283
5.4.2.2	Estimativas dos valores do MOE e do MOR na avaliação de 6 diagonais de contraventamento de madeira de <i>Eucalyptus citriodora</i> , superficialmente biodeterioradas, originais da <i>Passarela Pênsil de Piracicaba</i>	286
5.4.2.3	Caracterização das peças estruturais de madeira para reabilitação <i>Tipo Cobrejuntas</i>	289
5.4.2.4	Estudo de Caso R2: Proposta R2-CJ1 técnica de reabilitação de peças de madeira com cobrejuntas justapostas pregadas de <i>Eucalyptus citriodora</i>	290
5.4.2.5	Estudo de Caso R2: Proposta R2-CJ2 técnica de reabilitação com cobrejuntas justapostas pregadas e reconstituição com adesivo estrutural epoxídico em regiões parcialmente biodeterioradas em zonas comprimidas de vigas de <i>Eucalyptus citriodora</i>	292
5.4.2.6	Resultados e Discussões da Proposta R2-CJ1 e da Proposta R2-CJ2	299
5.4.2.7	Modelo Analítico: Critérios de Dimensionamento de Cobrejuntas Justapostas	301
6	CONCLUSÕES.....	303
6.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	303
6.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS	308
6.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	310
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	311
8	GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS.....	343
9	APÊNDICE A - FICHAS TÉCNICAS DE PESQUISAS EM CAMPO: ESTUDOS DE CASOS COM INSPEÇÕES NÃO DESTRUTIVAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA	

9.1	COBERTURAS DO GINÁSIO SÃO CARLOS CLUBE	375
9.2	PASSARELA PÊNSIL DE PIRACICABA	380
9.3	PONTE “01” - CAMPUS II USP	403
9.4	PONTE “02” - CAMPUS II USP	406
9.5	PONTE “03” - CAMPUS II USP	408
9.6	PONTE “04” - CAMPUS II USP	411
9.7	PONTE MONJOLINHO	414
9.8	PONTE BATALHA	417
9.9	COBERTURAS DA IGREJA SÃO FRANCISCO, EM FLORIANÓPOLIS	418
9.10	PONTE FAZENDA YOLANDA	446
9.11	PERGOLADO “FALSA GRELHA” COM VIGAS MLC	450
9.12	COBERTURA LAMELAR DE GALPÃO INDUSTRIAL	455
9.13	COBERTURA DE ARCOS DE MADEIRA LAMINADA PREGADA MLP- SUL	462
9.14	COBERTURA DE ARCOS DE MADEIRA LAMINADA PREGADA MLP- NORTE	464
9.15	PASSARELA ESTAIADA COM TABULEIRO CURVO PROTENDIDO - LAMEM	467
10	APÊNDICE B - FICHAS TÉCNICAS: PRINCIPAIS TÉCNICAS DE REABILITAÇÕES E REFORÇOS PARA INTERVENÇÕES EM ESTRUTURAS DE MADEIRA	472

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, num período compreendido entre 1925 e 1960, a empresa *Hauff* predominou em produções expressivas de estruturas de madeira (CESAR, 1991). A fase de maior produção em estruturas de madeira correspondeu, coincidentemente com a implantação da empresa (1929) até a morte de seu fundador (1960), o Engenheiro Erwin Hauff, que defendeu o emprego da madeira, por enxergar a grande potencialidade tecnológica desse material, como também por ver no Brasil uma fonte de recursos naturais de madeira, percebendo, não só a grande variedade e quantidade de espécies exploráveis, como a ótima qualidade das madeiras de florestas nativas do país (CESAR, 1991).

Dessa forma, as grandes estruturas de madeira originaram com a empresa de engenharia *Hauff*, cuja produção de estruturas de madeira contribuiu em grande medida para o avanço tecnológico da indústria de engenharia de construção com madeira no Brasil. Os sistemas estruturais de madeira do tipo *Hauff* foram utilizados em diversas regiões do Brasil, e diversas dessas estruturas construídas naquela época permanecem existentes (CALIL JR., 2011).

Só em Poços de Caldas, recentemente Brito et al (2014) identificaram 12 estruturas de coberturas de madeira históricas ainda existentes com sistemas estruturais tipo *Hauff*, tanto em edificações públicas quanto associativas e privadas, tais como, estrutura de cobertura lamelar (Figura 1.1), galpões com treliças shed, estruturas de coberturas de galpões em arco de madeira tipo cambota com tábuas, e vigas tipo caixão compostas por madeira serrada e compensados (Figura 1.2), dentre outras que foram construídas entre 1940 e 1960.



Figura 1.1. Cobertura lamelar do hangar do Aeroclub de Poços de Caldas. Fonte: BRITO et al (2014)



Figura 1.2. Exemplos de coberturas em arcos de madeira, com sistemas tipo “Hauff” existentes em Poços de Caldas – MG: arcos com cambotas de tábuas e vigas caixão com compensados. Fonte: BRITO et al (2014)

Outros exemplos recentemente identificados são as coberturas do *Ginásio São Carlos Club*, com sistemas de arcos e vigas caixão com compensados (BRITO; CALIL JR., 2012a), a *Cobertura Laminar de Boituva* e as *Coberturas de Madeira Laminada Pregada (MLP)* dos galpões do antigo Mercado Municipal de Votuporanga. Essas admiráveis estruturas, que ainda existentes, são exemplos e fontes de motivação para estudos de avaliações em manifestações patológicas e conservação em favorecimento ao aumento da Vida útil de estruturas de madeira.

À medida que os avanços tecnológicos ocorrem, novas potencialidades de uso, mais sofisticadas, são inventadas para a aplicação da madeira, e novas empresas vêm empregando a madeira como material estrutural. Em consequência, diversas universidades nacionais e internacionais, têm pesquisado esse nobre material para uso estrutural, difundindo uma vasta literatura, e elaborando diversas normas técnicas, principalmente no que se diz respeito, às propriedades dos materiais envolvidos, aos critérios de projeto estrutural e às práticas de execução das construções.

Dentro desse contexto, atualmente para projetar estruturas de madeira no Brasil, o engenheiro estrutural conta com diversas pesquisas científicas, Normas Técnicas Nacionais e vasta literatura relacionada a esse assunto. No entanto, para suprir as necessidades de conhecimentos sobre *metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação* e reforço em elementos estruturais de madeira danificados, ou para estimar a sua capacidade portante residual, o mesmo não acontece, pois não só praticamente inexistem Normas Técnicas específicas no País, como há mesmo vários aspectos ainda bastante obscuros e que nem sequer encontram-se registrados em livros especializados em reabilitação e reforço de estruturas de madeira. A diversidade de livros de estruturas de madeira no Brasil está voltada principalmente para as técnicas e processos de projetos de construção e de execução.

E como é de conhecimento do meio técnico, usualmente, espera-se um bom desempenho sobre toda a Vida útil do elemento estrutural. O elemento chave para esta previsão é sua

durabilidade, definida como a capacidade de um produto manter seu desempenho acima de valores mínimos preestabelecidos, em consonância com os usuários, nas condições previstas de uso (CALIL JR. et al, 2006). No entanto, um grande número de agentes ambientais tem o potencial de reduzir o desempenho da madeira ao longo do tempo. Mas, segundo Calil Jr. et al (2006), o projetista pode garantir a durabilidade da madeira, com a combinação de 3 fatores:

- Projeto: Melhores detalhamentos em projetos com a finalidade de tornar o sistema mais eficiente, onde devam ser consideradas à proteção contra chuva e raios solares; drenagem rápida da água; secagem das áreas úmidas.
- Prevenção: Escolha adequada do tratamento e do produto preservativo, com preservação química sob vácuo pressão em autoclaves, em função do sistema de *Categoria de uso* da madeira e tratamento superficial.
- Controle: Inspeção, manutenção e reparos.

No entanto, alguns fatores precisam ser mais explorados a fim de aumentar a Vida útil das estruturas de madeira, tais como a inspeção e a manutenção periódica preventiva [(CAMPOS et al 2002)b; (BRITO; CALIL JR., 2013)]. Simplificadamente, a inspeção preventiva corresponde a vistorias periódicas e sistemáticas, para a avaliação de sinais de deterioração, tais como:

- manchas e descolorações;
- áreas úmidas, condensações;
- infiltrações, goteiras, entre outros.

Já a manutenção e os reparos têm por finalidade:

- remover sujeiras e evitar formação de acúmulos de umidade para evitar a biodeterioração;
- desentupir e limpar as calhas e sistemas de drenagens de águas;
- reparar coberturas e telhas;
- adicionar coberturas onde necessárias;
- restaurar os acabamentos protetores em tempo adequado.

Para os casos mais extremos, que requerem intervenções mais específicas de reabilitações, torna-se fundamental a pesquisa científica aprofundada de técnicas de reabilitações e/ou reforços com materiais orgânicos ou inorgânicos, principalmente tendo em vista a grande variabilidade de espécies de madeira, sejam nativas ou reflorestadas, existentes no Brasil. Geralmente, quando não há manutenções periódicas preventivas ou quando ela ocorre esporadicamente, as recuperações em elementos estruturais de madeira, resultam em técnicas relativamente caras, de manutenções, reabilitações, reforços ou em intervenções com substituições parciais ou totais de elementos estruturais.

Buscando lançar as bases para a fundamentação teórica de um programa de pesquisa e desenvolvimento de longo prazo, foi elaborado um estado-da-arte no estudo das manifestações patológicas em estruturas de madeira, por meio de uma revisão sistemática das principais pesquisas realizadas no exterior, nos principais requisitos relacionados à *Metodologia de Inspeção e Técnicas de Reabilitação* em elementos estruturais de madeira. Essa pesquisa constitui na metodologia de avaliação dos problemas causados por deteriorações e as maneiras de evitar ou controlar as manifestações patológicas. As informações apresentadas são direcionadas principalmente aos Engenheiros Civis e Arquitetos, interessados em especialização nas áreas de inspeção, avaliação, manutenção e reabilitação de estruturas de madeira.

Dentre os principais temas abordados na pesquisa destacam-se:

- os principais tipos de agentes bióticos e abióticos de deterioração da madeira, as principais causas patológicas e suas características visuais;
- metodologias sistemáticas de inspeção, com ênfase nas técnicas não destrutivas (NDT), para detecções de manifestações patológicas, avaliações do *Potencial de Risco de Biodeterioração* e do *Nível de Prioridade de Intervenção*;
- metodologias corretivas de manutenção, enfocando reparos em técnicas de reabilitação, reforço ou substituição parcial ou total de elementos estruturais de madeira deteriorados.

1.1 Estudos de patologias em estruturas de madeira no Brasil

Um bom indicativo de inovação de atividades de um determinado tema em pesquisas científicas é o quantitativo de publicações em simpósios e em congressos científicos Nacionais e Internacionais. Nesses eventos são discutidas novas teorias e técnicas sobre os temas relativos às pesquisas na área envolvida.

No ramo da Engenharia Civil na área de concentração em Engenharia de Estruturas, alguns dos mais renomados Congressos Nacionais destacam-se:

- *Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira - EBRAMEM*;
- *Congresso Brasileiro do Concreto CBC - IBRACON*;
- *Congresso Brasileiro do Aço*.

Sob esse ponto de vista, os artigos publicados em congressos podem representar um bom indicativo dos temas pesquisados e desenvolvidos pela sociedade científica. Em junho de 2013, no *CINPAR 2013 IX Congreso Internacional sobre Patología y Recuperación de*

Estructuras, realizado em João Pessoa, foram apresentados 102 trabalhos, no entanto, apenas 8 trabalhos correspondiam ao tema de patologia e recuperação de estruturas de madeira, sendo que 6 desses foram publicados pelo Autor, ou seja, apenas 7,84% dos trabalhos estavam relacionados às pesquisas de patologias e recuperação de estruturas de madeira.

O EBRAMEM através dos artigos nele publicados chegou a apresentar mais de 20 variedades de temas, pesquisados e desenvolvidos por pesquisadores da área de Estruturas de Madeira, durante os atuais 30 anos de realizações. Partindo do princípio de indicativos sugerido por FREITAS (2009) relacionados às atividades científicas na área de Estruturas de Madeira, a Tabela 1.1 demonstra o número de artigos publicados nos onze EBRAMEM's realizados até 2014, e demonstra a comparação do número de artigos publicados nas áreas temáticas Patologias, Recuperação de Estruturas e Durabilidade da Madeira.

Tabela 1.1. Resumo das atividades científicas publicadas pelo EBRAMEM até 2014.

EBRAMEM	Ano	Áreas Temáticas	Número de artigos publicados	
			Publicações Gerais	Patologia, Recuperação de Estruturas e Durabilidade da Madeira
I	1983	6	47	0
II	1986	7	60	1
III	1989	9	61	0
IV	1992	11	106	3
V	1995	10	100	0
VI	1998	9	144	1
VII	2000	9	140	2
VIII	2002	13	202	8
IX	2004	17	225	6
X	2006	14	223	11
XI	2008	4	245	5
XII	2010	20	420	9
XIII	2012	5	342	10
XIV	2014	11	322	18
Total			2637	74

Fonte: EBRAMEM 2014

Comparando-se os 2637 artigos publicados nos catorze EBRAMEM's até 2014, com os 74 artigos publicados na área temática de Patologia, Recuperação de Estruturas e Durabilidade da Madeira, verifica-se que se tem pouquíssima atividade científica nesta área no Brasil, pois esses 74 artigos representam apenas 2,8% de todos trabalhos publicados. Esse valor de 2,8% representativamente baixo na amostragem, mantém no índice próximo de 2,4% apresentado

por FREITAS (2009), que demonstra um baixo índice de pesquisadores trabalhando nessas referidas áreas no Brasil. No entanto esse índice vem aumentando ao longo do tempo.

Em função do baixíssimo número de pesquisas no país, na área de *Patologia em Estruturas de Madeira*, dentro das linhas de *Metodologia de Inspeção e Técnicas de Reabilitação*, esse é um grande fator de motivação e que justifica a proposta realizada da idealização dessa Tese.

1.2 Justificativa

No Brasil, devido a grande quantidade de estruturas históricas de madeira, sejam elas, coberturas de igrejas, galpões, ginásios, pontes de madeira, entre outras, tanto as tombadas pelo patrimônio, quanto as grandes estruturas de madeira construídas no país entre as décadas 1920 e 1960, devido sobretudo ao trabalho da empresa *Hauff* e empresas sucessoras, projetadas e construídas ao longo desses anos, existem muitas estruturas com mais de 50 anos de idade, ainda em uso. Em muitas delas, o uso originalmente planejado, foi sendo alterado, ao longo da vida dessas estruturas. A idade dessas estruturas, combinada as alterações de uso e o controle precário fizeram por potencializar a ocorrência de manifestações patológicas. Nesse contexto, torna-se necessário em função do tempo de Vida útil destas estruturas, avaliar as principais manifestações patológicas detectadas e indicar as possíveis intervenções em manutenções, reabilitações, reforços ou substituições, a fim de garantir a segurança destas estruturas diante das eventuais condições de uso na atualidade.

Em função da pequena quantidade de pesquisas de *Patologias em Estruturas de Madeira* no Brasil, e diante dos sintomas patológicos que se tem manifestado tanto em edificações históricas quanto estruturas ainda recentes, sentiu-se a necessidade de se pesquisar mais sobre esse tema relativamente novo no país. Em particular, foram levantadas durante o programa de pesquisa e desenvolvimento de longo prazo, no período delimitado de tempo, 15 *Estudos de Caso* em campo sobre manifestações patológicas em estruturas de coberturas, pontes e passarelas de madeira, salientando também os sistemas estruturais existentes tipo *Hauff* e empresas sucessoras, a fim de propor uma metodologia de técnica de inspeção *in loco*, dando ênfase as Técnicas Não Destrutivas (NDT) [ingl.: Non Destructive Techniques (NDT)] e níveis de inspeção para avaliações do potencial de risco, além de propor recomendações em soluções de técnicas de reabilitações em elementos estruturais de madeira.

A falta de uma cultura em manutenção, em especial as periódicas preventivas, faz com que os órgãos responsáveis pelas obras públicas, nos níveis federal, estadual e municipal, priorizem apenas a execução, geralmente, não havendo maiores preocupações com as

questões relacionadas à conservação. Isso pode ser constatado através da simples observação das obras de infraestrutura, especialmente as pontes e viadutos, conhecidas como obras de arte especiais. A ausência de políticas e estratégias voltadas para a conservação resulta em graves consequências, principalmente no que se refere aos riscos causados aos usuários pelos acidentes estruturais. A garantia de maior Vida útil e de satisfatórios desempenhos estrutural e funcional só será obtida através de uma adequada manutenção, que por sua vez deverá fazer parte de um processo mais amplo de gestão, que identifique, através de vistorias com inspeções periódicas preventivas, as avarias existentes, diagnosticando-as e indicando as ações de recuperação (VITÓRIO, 2005).

As manutenções de elementos estruturais de madeira englobam o conjunto de atividades necessárias e multidisciplinares a fim de preservar as condições de utilização e assegurar a segurança requerida em função do uso da estrutura. Estas atividades podem ater-se não apenas aos reparos dos defeitos, como também incrementar correções para prevenir e reduzir futuros problemas, incluindo riscos de ruína e até perdas de vidas humanas. Negligenciando-se ou tornando-se a manutenção irregular, predispõe-se a estrutura ao desenvolvimento de deterioração ou desgaste dos elementos que implicarão na necessidade de reparos ou recuperações com reabilitações imediatas.

Um programa adequado de metodologia de inspeção para avaliação do potencial de risco de biodeterioração, em detecção de pontos deficientes de uma determinada estrutura, associados às manutenções periódicas preventivas e regulares, se faz necessária e tende a proporcionar uma relação custo x benefício bastante compensatória.

Diante desse contexto complexo, as devidas ações de intervenções estruturais que envolvam as estruturas de madeira devem considerar algumas particularidades, por se tratar de um material de origem biológica, com uma elevada variabilidade devido às suas propriedades físicas e mecânicas.

Outro fator proeminente na atualidade está relacionado às questões ambientais, tendo em vista que reabilitar estruturas existentes para mantê-las em uso adequadamente na reutilização da edificação é uma grande tendência mundial na questão da sustentabilidade. Segundo Cóias (2011), com esta atitude é possível reduzir a geração de resíduos e de consumo de materiais, que certamente gerariam durante o processo construtivo de uma nova edificação no local da existente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

O objetivo geral desse trabalho foi realizar estudos sistemáticos em pesquisas bibliográficas, em campo, e em laboratório das principais manifestações patológicas em elementos estruturais de madeira no Brasil, apresentando uma proposta de *Metodologia de Inspeção e Técnicas de Reabilitação*.

1.3.2 Específicos

Os objetivos específicos desse trabalho foram:

a) Estudo bibliográfico de metodologias e técnicas usuais de inspeções para avaliações de elementos estruturais de madeira, em ensaios e técnicas não destrutivas (NDT), com ênfase nas *Técnicas de Inspeção Visual Geral*, em *Avaliações do Potencial de Risco de Biodeterioração*, *Técnicas de Inspeção Visual Detalhada*, e com a validação no auxílio da técnica de microperfuração controlada com o uso do Resistograph® IML-RESI-F500 para avaliações qualitativas internas em elementos estruturais de madeira.

b) Como contribuições originais de trabalhos em reabilitação, são idealizados *Estudos de Caso* de duas estruturas, sendo um de viga MLC de coberturas e outro de passarela pênsil, para avaliação de metodologias nas propostas de *Técnicas de Reabilitação (R)*:

b.1) Estudo de Caso R1: Propostas de técnicas de reabilitação em vigas de Madeira Laminada Colada (MLC) com parafusos auto-atarraxantes sem pré-furação:

- *Proposta R1-MLC1* em técnica de reabilitação com emendas de prótese em viga de MLC com ligações momento-resistente (tipo coroa), com parafusos auto-atarraxantes sem pré-furação.
- *Proposta R1-MLC2* em técnica de reabilitação de costura de fendas longitudinais e/ou delaminações em viga de MLC, com ligações por cisalhamento, com com parafusos auto-atarraxantes sem pré-furação.

b.2) Estudo de Caso R2: Propostas de técnicas de reabilitação de elementos estruturais de madeira de *Eucalyptus citriodora* da *Passarela Pênsil de Piracicaba* com cobrejuntas justapostas de *Eucalyptus citriodora*:

- *Proposta R2-CJ1* em técnica de reabilitação de peças de madeira com cobrejuntas justapostas pregadas de *Eucalyptus citriodora*.
- *Proposta R2-CJ2* em técnica de reabilitação com cobrejuntas justapostas pregadas e reconstituição com adesivo estrutural epoxídico em regiões parcialmente

biodeterioradas em zonas comprimidas de vigas de *Eucalyptus citriodora*, avaliada sob dois arranjos na reconstituição em função do nível de biodeterioração da viga transversina superior (TS):

- *Proposta R2-CJ2 (Arranjo 1)*: técnica de reabilitação de peças biodeterioradas com cobrejuntas justapostas de *Eucalyptus citriodora* e reconstituição com adesivo estrutural epóxi, nas vigas TS1 e TS3.
- *Proposta R2-CJ2 (Arranjo 2)*: técnica de reabilitação de peças parcialmente biodeterioradas (na zona comprimida) com cobrejuntas justapostas de *Eucalyptus citriodora*, pregadas, adição de barra de aço contínua, com ϕ 5 mm, para costura em linha no eixo central dos pregos superiores, admitindo como um sistema tipo porta estribos e reconstituição com adesivo estrutural epóxi, nas vigas TS2 e TS4.

- c) Proposta de um glossário: diante da pouca informação referente ao tema no País, foi elaborado uma proposta de glossário sobre *Patologia em Estruturas de Madeira*.
- d) Apresentação de *Fichas Técnicas de Metodologia de Inspeção*: no APÊNDICE A são apresentadas as fichas técnicas pertinentes às pesquisas de inspeções realizadas pelo Autor em visitas técnicas em campo, com ênfase nas técnicas não destrutivas (NDT) em avaliações de elementos estruturais de madeira, para identificações de manifestações patológicas, que foram utilizadas nas contribuições em elaborações de relatórios, laudos e publicações durante o período da pesquisa.
- e) Apresentação de *Fichas Técnicas em Técnicas de Reabilitação*: como subsídio, foram elaboradas no APÊNDICE B, as fichas técnicas com uma sistemática coletânea de informações pertinentes, associadas as estruturas de madeira num cenário de técnicas de reabilitação em intervenções, reparos e reforços em diversos tipos de elementos e sistemas estruturais de madeira, que foram pesquisadas na bibliografia, de estudos de renomados pesquisadores do Brasil e do Exterior.

1.4 Metodologia geral

Buscando lançar as bases para a fundamentação de um programa de pesquisa e desenvolvimento de longo prazo, foram realizadas pesquisas de revisão sistemática na bibliografia sobre os estudos de manifestações patológicas em estruturas de madeira, e aliadas pesquisas realizadas em campo, e experimentos realizados em laboratório, foram propostos diagnósticos do estado-da-arte para *Metodologia de Inspeção e Técnicas de Reabilitação* de elementos estruturais de madeira. As diretrizes sugeridas na pesquisa enfatizam a consideração especial na revisão sistemática na bibliografia, em que são apresentados os assuntos de maior relevância sobre o tema de *Patologia em Estruturas de Madeira*, através de pesquisas de revisão de literatura já realizadas no Brasil e no Exterior, pela organização na sistematização do conteúdo, fundamentada na metodologia utilizada em inspeções para intervenções, incluindo os principais aspectos na reabilitação estrutural, referentes às causas, características visuais nas sintomatologias das manifestações patológicas, metodologias usuais de inspeções para diagnóstico, e tratamentos de manutenção, técnicas de reabilitação, reforço, ou substituição de elementos estruturais de madeira.

A proposta de *Metodologia de Inspeção Visual Detalhada*, com registros de fotos digitais de alta resolução, foi originária de trabalhos em campo fundamentados em técnicas não destrutivas (NDT), em avaliações desde técnicas mais simples, mas que exigem experiência do inspetor, como técnicas de inspeção visual com testes de punctionamento, testes de picoteamento, com ferramentas pontiagudas (punção, formão), e testes à percussão sonora com uso de martelo, até ensaios específicos com o uso do equipamento não destrutivo (END) Resistograph® IML-RESI-F500-S, fabricado pela IML Wood Testing Systems, além de posteriores avaliações em laboratório para validação do método.

Para a validação das propostas de *Técnicas de Reabilitação*, do estudos de caso em questão, foram realizados no LaMEM, ensaios estáticos de flexão de vigas de madeira em tamanho estrutural real, conforme a distribuição de cargas da ASTM D 198-08, para avaliações de peças estruturais originais.

2 PATOLOGIA EM ESTRUTURAS DE MADEIRA

2.1 Conceito de patologia em estruturas

Denomina-se por *Patologias das Estruturas*, o campo da Engenharia das Estruturas que estuda as origens, formas de manifestação, consequências e mecanismos de ocorrência das falhas dos sistemas estruturais e ou de deterioração dos elementos estruturais (SOUZA; RIPPER, 1998). No entanto, segundo Souza e Ripper (1998) a Patologia das Estruturas não é apenas um novo campo no aspecto da identificação e conhecimento das anomalias, mas também no que se refere à concepção e ao projeto das estruturas, e, mais amplamente, à própria formação do Engenheiro Civil. O que ocorre é que todo o aprendizado da Engenharia de Estruturas tem sido feito, em nível de projeto e execução, pela abordagem das estruturas a serem construídas. Assim, a necessidade de reabilitar e manter estruturas existentes, ditada por razões tão diversas quanto as de fundo econômico, social, patrimonial ou histórico, está criando um novo conceito de ensino no que se diz respeito à concepção e ao projeto estrutural, em que a avaliação do que já existe, em termos de capacidade de desempenho futuro (segurança, servicibilidade e Vida útil), torna-se um dado fundamental.

A novidade destas questões e a velocidade com que perguntas ainda mais novas são frequentemente colocadas, inclusive com dados tirados de estruturas ainda bastante jovens, assim como a conhecida e variadíssima gama de causas e consequências para os desempenhos insatisfatórios das construções, levam à necessidade do estabelecimento da mais adequada sistematização dos conhecimentos nesta área, para que, efetivamente, venha a ser alcançado o objetivo básico, qual seja, o de abordar, de maneira científica, a problemática do comportamento estrutural ao longo do tempo, isto é, desde a concepção até a manutenção da estrutura (SOUZA; RIPPER, 1998).

2.2 Sintomatologia em estruturas de madeira

2.2.1 Gênese da patologia em estruturas de madeira

A madeira é uma combinação de polímeros naturais que apresenta resistência e durabilidade como material estrutural. No entanto, a partir do instante em que a árvore é formada, a madeira está susceptível a degradação por uma variedade de agentes. O dano varia desde pequenas descolorações causadas por fungos manchadores ou substâncias químicas até deteriorações mais graves por ataques de insetos e/ou fungos apodrecedores. No ponto de vista ambiental e biológico, a degradação da madeira é uma ação natural e benéfica ao ecossistema, retornando carbono e outros elementos ao solo e ao ar. Mas, do ponto de vista da engenharia de estruturas, torna-se prejudicial quando um material em deterioração faz parte de um elemento estrutural, seja de edificações, pontes, coberturas ou de outras estruturas da construção civil [(RITTER; MORRELL, 1990); (LELIS et al, 2001)]. É de conhecimento da comunidade científica que a madeira tem qualidades superiores dentre à maioria dos materiais, quando utilizados em estruturas adequadamente projetadas, concebidas e associadas às manutenções periódicas e preventivas, no entanto, quando utilizadas em ambientes com certo nível de agressividade ambiental, natural ou artificial, deve ser preservada e protegida para garantir um desempenho adequado (RITTER e MORRELL, 1990).

2.2.2 Agentes de deterioração da madeira

Segundo Highley e Scheffer (1989) a madeira não se deteriora por si só, como resultado de envelhecimento. Cruz (2001) complementa que a idade da madeira de uma determinada estrutura, por si só não gera diminuição nas propriedades e características da madeira. No entanto, a deterioração da madeira é um processo que altera desfavoravelmente as suas propriedades (CALIL JR. et al, 2006). Segundo Cruz (2001) embora seja comum encontrar peças de madeira em serviço com maior ou menor nível de deterioração, também são igualmente fáceis de serem encontrados diversos exemplos de estruturas ou artefatos de madeira em bom estado de conservação, com centenas ou mesmo com milhares de anos, em consequência de uma exposição a condições ambientais particulares que não favoreceram a sua deterioração. Isso é fato porque as deteriorações em elementos de madeira surgem como resultado de ações de agentes biológicos, físicos, químicos ou mecânicos em função das condições de agressividades ambientais em esse material fica sujeito ao longo de sua Vida útil. Highley e Scheffer (1989) descrevem que a durabilidade de todas as madeiras de

construção mais usuais em serviço depende da sua proteção contra uma variedade de agentes de deterioração por meio de procedimentos de construção e manutenção adequados em função das características físicas e climáticas do local de construção.

Segundo Ritter e Morrell (1990), na maioria dos casos, a deterioração da madeira é um processo contínuo, sobre o qual as ações que degradam a partir de um ou mais agentes, alteram as propriedades da madeira para o grau requerido ao ataque de outros agentes deterioradores. A familiaridade do inspetor com os agentes de deterioração é um dos aspectos mais importantes na eficiência de inspeções em elementos estruturais de madeira. Com esse conhecimento, a inspeção pode ser abordada com uma profunda compreensão dos processos envolvidos na deterioração e nos fatores que favorecem ou inibem seu desenvolvimento.

Highley e Scheffer (1989) descrevem que a deterioração da madeira geralmente é originária em uma das três categorias principais: biológicas, físicas, e químicas.

Ritter e Morrell (1990) e Calil Jr. et al (2006) simplificadamente atribuem a origem por duas causas principais:

- ✓ agentes bióticos (vivos)
- ✓ agentes abióticos (não vivos)

No entanto, Arriaga et al (2002) descrevem que os danos detectados em uma determinada estrutura de madeira podem ter três principais origens: agentes bióticos, agentes abióticos e oriundos de anomalias estruturais.

Já Machado et al (2009), também citados em Cruz (2009), atribuem às origens de patologias em estruturas de madeira oriundas de três causas: ações de agentes biológicos, ações de agentes atmosféricos e anomalias estruturais.

Complementa-se que as manifestações patológicas em estruturas de madeira oriundas de anomalias estruturais no Brasil, também podem ser originárias de três principais causas: anomalias na concepção estrutural, falhas durante a execução, ausência e/ou falhas em manutenções. Diante da grande quantidade de fatores apresentados por renomados pesquisadores, organizam-se sucintamente na Tabela 2.1 os principais agentes de deteriorações da madeira.

Tabela 2.1. Principais tipos de agentes de deterioração da madeira.

Agentes de deterioração da madeira	
	Bactérias
	Fungos manchadores Fungos emboloradores Fungos apodrecedores Fungos de podridão parda ou cúbica Fungos de podridão branca ou fibrosa Fungos de podridão mole
Agentes bióticos	Insetos
	Térmitas isópteras (Cupins-de-madeira) Térmitas-de-madeira-seca Térmitas-de-madeira-úmida Térmitas-subterrâneos Térmitas-epígeos Térmitas-arborícolas Brocas-de-madeira Brocas que atacam árvores vivas Brocas que atacam árvores recém-abatidas Brocas que infestam a madeira durante a secagem Brocas de madeira seca Formigas-carpinteiras Abelhas- carpinteiras
	Perfuradores marinhos
	Moluscos Teredinidae Crustáceos Pholadidae Limnoria Sphaeroma terebrans
Agentes abióticos	Agentes Físicos
	Patologias de origem estrutural Instabilidade Remoção de elementos estruturais Fraturas incipientes Movimentos de nós e distorções Deformações, deslocamentos e flechas Presença de defeitos naturais Danos mecânicos Danos por animais silvestres Danos por vandalismo
	Agentes Químicos
	Corrosão em ligações Efeito da corrosão na madeira
	Agentes Atmosféricos ou Meteorológicos
	Ação de luz ultravioleta Intemperismo Danos por inchamento e retração da madeira Ações de vento nas estruturas Raios atmosféricos
	Danos devido ao fogo

Fonte: Tabela elaborada pelo Autor, com base nas sistematização das pesquisas bibliográficas.

Segundo Ritter e Morrell (1990), a madeira é extremamente resistente à deterioração biológica, denominada também em Lelis et al (2001) por biodeterioração, mas diversos organismos desenvolveram a capacidade de utilizar a madeira de tal maneira que alteram suas propriedades. Os principais organismos que atacam a madeira são as bactérias, fungos, insetos e os perfuradores marinhos. Highley e Scheffer (1989) e Ritter e Morrell (1990) descrevem que alguns destes organismos utilizam a madeira como fonte de alimento, enquanto outros a utilizam como habitat. Machado et al (2009) e Cruz (2009) consideram que a deterioração biológica é a causa mais frequente de anomalias em estruturas de madeira em Portugal.

Ainda segundo Ritter e Morrell (1990), embora o uso da madeira tratada quimicamente sob pressão em autoclave prolongue significativamente a Vida útil da madeira, a biodeterioração da madeira por apodrecimento ou decomposição [ingl.: decay] ainda é a principal causa de deteriorações em estruturas de pontes de madeira. E descreve que os principais agentes bióticos responsáveis pelo apodrecimento na fase de decomposição da madeira são os fungos apodrecedores e as bactérias. Já segundo Worrall (2013) para fins práticos, os fungos são os principais agentes apodrecedores da madeira.

Worrall (2013) define que o apodrecimento ou decomposição da madeira [ingl.: wood decay] é uma biodeterioração da madeira originária por atividades principalmente enzimáticas de microorganismos, e também considera o apodrecimento como o grande vilão entre as causas de deteriorações da madeira.

2.2.2.1 Biodeterioração

Segundo Lelis et al (2001), biodeterioração [ingl.: biodeterioration] é o termo empregado para designar alterações indesejáveis geradas pela ação, direta ou indireta, de seres vivos, nos materiais em uso pelo homem. Quando essa alteração é benéfica ao meio ambiente da natureza, ela é denominada de biodegradação [ingl.: biodegradation]. Em ambos os casos, os processos levam à decomposição por apodrecimento [ingl.: decay] do substrato, isto é, a uma redução do material aos elementos que o constituem. No entanto, a biodeterioração é um processo indesejável na engenharia de estruturas, pois pode ser prejudicial aos bens materiais e até mesmo à vida humana. Um exemplo de biodeterioração é o ataque de cupins em peças estruturais de madeira numa edificação, podendo até ocasionar ruínas parciais ou totais. Já a biodegradação é um processo desejável, a qualidade do meio ambiente e/ou do ecossistema, e por essa razão a é frequentemente utilizada pelo homem em seu benefício. Um exemplo de

biodegradação é a ação de microrganismos sobre resíduos industriais, diminuindo o tempo de permanência desses produtos no meio ambiente.

Segundo Lelis et al (2001), a madeira é susceptível a deterioração, particularmente à biodeterioração. Dentre os vários grupos de organismos capazes de causar danos à madeira, os principais são aqueles denominados xilófagos, pelo fato da madeira ser a sua principal fonte de alimento (*do grego: xylon= madeira; phagein= comer*). Lelis et al (2001) consideram que dentre todos organismos xilófagos, os de maior importância econômica no Brasil são os fungos no grupo dos microrganismos, os cupins e as brocas-de-madeira no grupo dos insetos. No caso de madeiras instaladas em ambiente marinho, têm-se ainda moluscos e os crustáceos, agrupados sob a denominação de perfuradores marinhos.

2.2.2.2 Condições favoráveis à origem de agentes bióticos

Os agentes bióticos conforme Ritter e Morrell (1990) citado em Calil Jr. et al (2006), necessitam de certas condições de agressividade ambiental, adequadas e favoráveis para sobrevivência, que incluem:

- ✓ umidade disponível;
- ✓ temperatura adequada;
- ✓ oxigênio;
- ✓ e fonte de alimento, geralmente a madeira.

Embora o nível de dependência desses parâmetros varie entre diferentes organismos, cada um precisa estar presente para que ocorra a biodeterioração. Quando qualquer um é removido, a madeira é preservada do ataque biótico (RITTER; MORRELL, 1990).

2.2.2.2.1 Umidade

Ritter e Morrell (1990); Bonamini (1995); Arriaga et al (2002); Calil Jr. et al (2006) e Machado et al (2009) descrevem que a madeira é um material higroscópico, que sofre alterações do seu teor de água em função das condições ambientais climáticas (umidade relativa do ar temperatura) que a circundam. O *teor de umidade* na madeira é expresso pela quantidade percentual de água relativamente à massa anidra da madeira, levando ao ponto que o teor de água na madeira saturada possa atingir até valores acima dos 100 %.

Cruz (2001) descreve que uma habitual fonte de manifestações patológicas na madeira reside no contato com a água ou teor de umidade ambiente elevado. É importante saber que a umidade, por si só, não degrada a madeira, mas potencializa o risco de deterioração desse material por determinados agentes biológicos, no sentido em que estes só atacam a madeira quando o seu teor de umidade atinge determinados valores. Especificamente, quando a madeira permanece em condições de umidade elevada por períodos longos, favorece o ambiente ao ataque por fungos ou por térmitas subterrâneas que dela se alimentam.

Segundo Ritter e Morrell (1990), embora muitos usuários de madeira utilizem para o fungo de podridão parda, o termo citado por *podridão seca* [ingl.: dry rot], esse termo induz ao engano, uma vez que deve conter umidade na madeira para ocorrer a maioria dos ataques biológicos. No entanto o teor de umidade na madeira é o principal determinante da taxa de tipos de organismos presentes que biodeterioram-na. Geralmente, abaixo do ponto de saturação nas fibras da madeira, não ocorre a biodeterioração por apodrecimento, apesar de que algumas espécies de fungos e insetos possam atacar a madeira em níveis de umidade muito baixos (RITTER; Morrell, 1990)^{p13-2}. Embora faça sentido manter a madeira seca, a fim de preservá-la de ataques por agentes biodeterioradores, em casos específicos de madeiras expostas, como por exemplo, certos elementos estruturais de pontes, muitas vezes é difícil de implementar esse conceito.

No entanto, a umidade na madeira conduz vários efeitos no processo de deterioração. Os fungos e insetos demandam diversos processos metabólicos. Conforme Ritter e Morrell (1990), para os fungos, a umidade também fornece um meio de difusão de enzimas que degradam a estrutura de madeira. Quando a água penetra na madeira, ocorre o inchamento da microestrutura até atingir o ponto de saturação das fibras em aproximadamente 30% do teor de umidade na madeira. Dessa maneira, o ponto de saturação, ou seja, a água livre armazenada nas cavidades celulares na madeira é potencial de fontes geradoras para diversos tipos de fungos apodrecedores de madeira. Assim é esperado que o inchamento associado com a água torne à celulose mais susceptível às enzimas de fungos, favorecendo a taxa de biodeterioração por apodrecimento. Machado et al (2009) descrevem que os fungos além de requererem um teor de umidade elevado na madeira, requerem também a presença de oxigênio, razão pela qual não atacam madeira permanentemente imersa em água. No entanto, Ritter e Morrell (1990) descrevem que em regiões de interface onde ocorrem o processo de molhagem e secagem ou a exposição contínua à umidade pode resultar na lixiviação de substâncias tóxicas naturais do cerne e/ou certos tipos de preservativos, reduzindo a resistência da madeira ao processo de biodeterioração por apodrecimento.

A variação no teor de umidade na madeira além de favorecer ao ataque de agentes bióticos no processo de biodeterioração, também pode influenciar na deterioração da madeira por agentes abióticos. Segundo Calil Jr. et al (2006) a umidade presente na madeira pode alterar as suas propriedades de resistência e elasticidade. Machado et al (2009) citam que a anisotropia do material lenhoso, aliado às tensões de secagem (consequência do diferencial entre a taxa de evaporação de água à superfície e a taxa de circulação de água no interior do elemento), provoca ainda o desenvolvimento de empenamentos, rachas e fendas. No entanto, Cruz (2001) considera que apesar das variações de umidade ambiente, e a consequente alteração no teor em água da madeira, provocarem variações dimensionais e de resistência mecânica das peças (as dimensões aumentam e a resistência diminui com o acréscimo de teor de umidade), trata-se de um efeito reversível. Ou seja, embora os ciclos de secagem e umidificação possam conduzir ao desenvolvimento de empenamentos, rachas e fendas, mas geralmente sem implicações na resistência mecânica, a madeira recupera as dimensões e a resistência inicial quando o seu teor de umidade retorna ao valor inicial.

Porém, Machado et al (2009) consideram ainda que o fenômeno de higroscopicidade da madeira é uma das causas mais frequentes das anomalias observadas em construções recentes em Portugal, e um exemplo corrente são os encanoamentos de peças de piso em madeira, e em casos das aplicações estruturais, os movimentos dos elementos estruturais refletem na necessidade de reaperto de conectores, na ocorrência de fenômenos de degradação física (empenamentos, rachas e fendas), que podem afetar o comportamento da estrutura. Além disso, o movimento da madeira devido à secagem (efeito de retração) em obra pode ser facilmente observado também em diversas estruturas antigas, em que o emprego de elementos estruturais de grande seção transversal no estado verde, resultaram em deformações com origem na rotação dos elementos nos apoios (MACHADO et al, 2009)^{p11}. No interior de edificações, o ataque da madeira por fungos apodrecedores surge com a presença de deficiências da construção, tais como infiltrações de água da chuva, em resultado de estruturas de madeira, de coberturas, ou caixilharias, mal concebidas ou mal conservadas, por elevação de água por capilaridade com origem no solo de fundação, tubulações com vazamentos, condensações, ausência de ventilação, etc.

Diante desses conceitos sucintamente descritos, em função da variação no teor de umidade na madeira, é facilmente perceptível a grande variabilidade de fatores e tipos de manifestações patológicas que podem estar relacionadas à deterioração da madeira.

2.2.2.2.2 *Temperatura adequada*

Segundo Ritter e Morrell (1990) a condição ideal para sobrevivência e desenvolvimento da maioria dos organismos biodeterioradores estão compreendidas em uma faixa de temperatura entre 70°F (21°C) a 85°F (29°C). No entanto, muitos desses organismos são capazes de sobreviver em uma ampla variação de intervalo. Em temperaturas abaixo dos 32°F (0°C), o metabolismo da maioria dos organismos retarda, ou produzem estruturas resistentes que induzem a um longo período desfavorável para a sobrevivência. E em temperaturas acima de 90°F (32°C) a atividade de ataque de organismos na madeira diminui rapidamente, pois o crescimento da maioria dos organismos declina, embora algumas espécies extremamente tolerantes possam desenvolver-se até 104°F (40°C). E à exposição prolongada acima desse nível de temperatura, geralmente por 75 minutos de exposição a 150°F (66°C) podem eliminar todos os fungos apodrecedores e a maioria dos organismos estabelecidos na madeira.

Para os casos das estruturas de pontes de madeira, a temperatura não é controlável, mas o inspetor deve perceber que a biodeterioração por apodrecimento é muito mais grave em regiões de climas quentes, que favorecem a taxa de atividade biológica tornando-a mais elevada. Segundo Ritter e Morrell (1990), esse fator em combinação com a precipitação pode ser utilizado, para desenvolver um índice climático que expressa temperatura e precipitação em uma determinada região, a fim de formular um índice de risco de biodeterioração. Embora esse indicador não possa ser responsável por pequenas variações nos padrões climáticos regionais, pode ser um bom indicativo de prevenção relativo ao risco de biodeterioração por apodrecimento.

2.2.2.2.3 *Oxigênio*

Com a exceção de bactérias anaeróbicas, todos os organismos necessitam de oxigênio para a respiração. Ritter e Morrell (1990) consideram que para os casos de estruturas de pontes de madeira, privando-os de oxigênio pode parecer uma estratégia lógica de controle de biodeterioração por apodrecimento, mas geralmente é impraticável em aplicações de pontes, pois a maioria dos fungos pode sobreviver em níveis muito baixos de oxigênio. Uma exceção se dá as estacas de madeira quando são totalmente submersas ou cravadas abaixo do lençol freático. Já as estacas de madeira em ambientes marinhos podem ser impermeabilizadas, envolvidas com materiais poliméricos ou concreto, de modo que os perfuradores marinhos sejam incapazes de realizar a troca de nutrientes e oxigênio com a água do mar e nas regiões de interface. Em muitos casos, as estacas de madeira não tratadas, cravadas em regiões de

água doce ocorrem biodeteriorações por apodrecimento na lâmina d'água, mas nas regiões subaquáticas permanecem íntegras onde o oxigênio está ausente.

2.2.2.2.4 *Fonte de Alimento*

Segundo Ritter e Morrell (1990) a maioria dos agentes bióticos que atacam a madeira utilizam-na como fonte de alimento. Segundo Arriaga et al (2002) os *Cerambycideos*, por exemplo, se alimentam do alburno da madeira (BASTOS, 2011), que como sabemos, é situado na região periférica do lenho. Nos casos em que a madeira é tratada com preservativos, a fonte de alimento é neutralizada, e infestação pode ocorrer apenas quando a camada de tratamento preservativo é insuficiente, ou que tenha sido removida, como por exemplo, em casos de rupturas, rachas ou fendas na peça. Se a peça de madeira exposta for de espécie naturalmente durável, inicialmente terá certo nível de resistência ao ataque, mas essa resistência será rapidamente reduzida pelas ações de intemperismo e lixiviação. Dessa maneira, Ritter e Morrell (1990) consideram que a manutenção com um tratamento preservativo eficiente é essencial para prevenir ataque biótico.

2.2.3 **Causas de deteriorações de estruturas**

Segundo Souza e Ripper (1998), *“ao se analisar uma estrutura "doente" é absolutamente necessário entender-se o porquê do surgimento e do desenvolvimento da patologia, buscando esclarecer as causas, antes da prescrição e consequente aplicação do remédio necessário”*. O conhecimento das origens da deterioração é indispensável, não apenas para que se possa proceder aos reparos exigidos, mas também para garantir que após reparada a estrutura não volte a se deteriorar.

O estudo das causas responsáveis pela implantação dos diversos processos de deterioração das estruturas é complexo, sendo objeto de estudo em constante evolução. Mesmo o agrupamento destas causas por similaridade, por exemplo, poderá ser extremamente discutível. De qualquer forma, mais recentemente surgiram duas classificações propostas por SOUZA e RIPPER (1998)^{p28}, por interagirem entre si (Tabela 2.2), e foram aqui adaptadas em uma abordagem referente às estruturas de madeira.

Tabela 2.2. Classificações das causas dos processos de deterioração em estruturas de madeira.

<ul style="list-style-type: none"> • Causas intrínsecas (inerentes às estruturas) • Causas extrínsecas (externas ao corpo estrutural) 	<p>Causas dos processos de deteriorações das estruturas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Falhas humanas: em concepção e projeto; durante a execução; no tipo de uso; em ausência ou erros em manutenção, etc. • Causas naturais inerentes ao próprio material • Ações externas: acidentes, ações atmosféricas (enchentes, ventos, etc.)
---	---	--

Obs.: Tabela reformulada pelo Autor, para as estruturas de madeira, adaptada do Quadro 1.2 de SOUZA e RIPPER (1998)^{p28}.

Resumidamente, apresenta-se na Tabela 2.3 as principais causas intrínsecas, que podem ser oriundas aos processos de deterioração em elementos estruturais de madeira.

Tabela 2.3. Causas intrínsecas aos processos de deteriorações em estruturas de madeira.

Causas intrínsecas (inerentes às estruturas)		
	Ausência ou falhas de Projetos Estruturais	
	Ausência de mão-de-obra qualificada e/ou falhas em práticas de construção	
Falhas humanas durante a construção	Utilização incorreta dos materiais de construção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resistências inferiores às especificadas ▪ Ausência de tratamento preservativo ▪ Falhas no processo de tratamento preservativo ▪ Solo com características diferentes
	Deficiências nas ligações	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipo de ligações diferentes das especificadas ▪ Diâmetros inferiores aos especificados ▪ Resistências inferiores às especificadas
	Deficiência no transporte	
	Inexistência de controle de qualidade	
Falhas humanas durante a utilização	Ausência de manutenções periódicas e/ou medidas preventivas	
	Manutenções corretivas inadequadas e/ou insuficientes	
Causas naturais	Ação de agentes bióticos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presença de umidade ▪ Temperatura adequada ▪ Oxigênio ▪ Fonte de alimento disponível
	Ação de agentes abióticos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Causas químicas ▪ Causas Físicas

Obs.: Tabela do Autor, reformulada para as estruturas de madeira, adaptada do Quadro 1.3 de SOUZA e RIPPER (1998).

Já as principais causas extrínsecas aos processos de deterioração em elementos estruturais de madeira estão indicadas na Tabela 2.4.

Tabela 2.4. Causas extrínsecas aos processos de deteriorações em estruturas de madeira.

Causas extrínsecas (externas ao corpo estrutural)	
Falhas humanas durante o projeto	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ausência de Projetos Estruturais ▪ Ausência de Profissional Especialista na Área ▪ Inadequações na escolha da Categoria de uso ao ambiente ▪ Falha na Concepção de Projeto e/ou Modelação estrutural inadequado ▪ Avaliações inadequadas das cargas e ações ▪ Detalhamentos inadequados e/ou insuficientes ▪ Ausência de sondagens de solo ▪ Incorreções nas interações solo-estrutura ▪ Falhas entre integrações dos projetos complementares
Falhas humanas durante a utilização	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alterações Estruturais ▪ Mudanças no tipo de utilização parcial ou total da edificação ▪ Sobrecargas excedidas ▪ Alterações nas condições do terreno e/ou fundações
Ações mecânicas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Choques de veículos ▪ Recalque de fundações ▪ Acidentes por ações imprevisíveis ▪ Abrasão mecânica
Ações atmosféricas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Intemperismo ▪ Incidência de luz ultravioleta (Insolação) ▪ Atuação constante de presença de água ▪ Variações de temperatura ▪ Ações de enchentes ▪ Ações de vento ▪ Descargas de raios atmosféricos
Ações químicas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acidentes com tombamentos de veículos ▪ Reações de tratamentos preservativos CCA e CCB em ligações e pinos metálicos não galvanizados
Ações biológicas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Presença de agentes bióticos na região e/ou em edificações vizinhas

Obs.: Tabela do Autor, reformulada para as estruturas de madeira, adaptada do Quadro 1.4 de SOUZA e RIPPER (1998).

3 CARACTERÍSTICAS VISUAIS DE AGENTES DETERIORADORES

Alguns aspectos químicos e anatômicos da formação da estrutura microscópica do lenho da madeira podem ser fundamentais para compreender a diagnose pelas características visuais de determinadas manifestações patológicas na madeira, que serão apresentadas mais adiante. Em razão da complexidade da formação da madeira o exame de sua constituição molecular toma por base as substâncias que a constituem. Sendo seres vivos e participando como um dos fatores fundamentais no equilíbrio biológico da natureza, as árvores são consideradas vegetais do mais alto nível de desenvolvimento (CALIL JR. et al, 2003). Em quase todos vegetais inclusive as árvores valendo-se da solução aquosa com baixa concentração de sais minerais a chamada seiva bruta retirada do solo pelas raízes (sistema radicular) e de gás carbônico (CO₂) do ar atmosférico, na presença de clorofila contida nas folhas utilizando calor e luz solar, ocorre a síntese de hidrato de carbono (CH₂O), monossacarídeo com elevado potencial de polimerização [(CALIL JR. et al, 2003); (DIAS et al, 2005)]. A equação mencionada por RAWITSCHER (1964) apud CALIL JR. et al (2003) descrevem o fenômeno:



Esta é a reação de fotossíntese, cujos catalizadores são os sais minerais, a clorofila, a luz e o calor. O oxigênio (O₂) liberado é proveniente de água (H₂O) retirada do solo. O hidrogênio remanescente combina-se com o gás carbônico, forma o CH₂O e regenera uma molécula de água. As reações de polimerização subsequentes originam os açúcares que, por sua vez, formam a maioria das substâncias orgânicas vegetais constituintes da estrutura anatômica da madeira (Figura 3.2). As mais importantes são a celulose, a hemicelulose (ou poliose) e a lignina, segundo Hellmeister (1973) e Oliveira (1997). Em sua composição química a madeira apresenta grande quantidade de carbono, fixado na celulose e lignina.

A madeira apresenta três componentes orgânicos principais, que são: celulose, hemicelulose e lignina. A participação de cada um desses elementos varia de acordo com a classificação botânica da árvore, como mostra a Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Composição orgânica das madeiras.

Comp. Orgânicos	CONÍFERAS	DICOTILEDÔNEAS
Celulose	48-56%	46-48%
Hemicelulose	23-26%	19-28%
Lignina	26-30%	26-35%

Fonte: HELLMEISTER (1983)

Segundo Foelkel (1977) a celulose é um polissacarídeo linear, de alto peso molecular, não solúvel em água, provavelmente o composto químico mais abundante no planeta. Trata-se do componente fundamental da estrutura celular da madeira. Apresenta cadeia longa e sem ramificações, caracterizando-se por regiões cristalinas em grande parte de seu comprimento, entrecortadas por zonas amorfas, com consideradas descontinuidades fragilizantes quando se avaliam os fenômenos de ruptura da madeira sob diferentes solicitações mecânicas.

A fórmula geral da celulose é $n(C_6H_{10}O_5)$, sendo esta um polímero constituído por várias centenas de glucoses. As paredes das fibras, vasos e traqueídes são formadas por celulose.

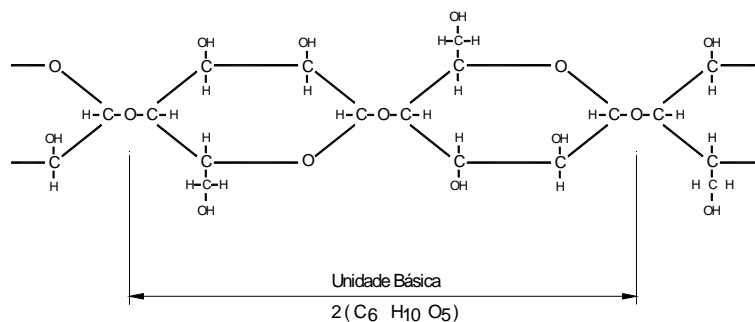


Figura 3.1. Unidade básica de celulose. Fonte: HELLMEISTER (1983)

Cada conjunto de celulose apresenta três oxidrilas que podem unir-se a três moléculas de água. Estas três moléculas de água e a celulose apresentam uma relação em peso molecular de 1:3 (54/162), dando uma indicação da porcentagem máxima de água de impregnação da celulose.

No que se refere à hemicelulose, deve ser observado que o termo não designa um único composto químico definido, mas sim um conjunto de componentes poliméricos presentes em vegetais fibrosos, possuindo cada componente, propriedades peculiares (OLIVEIRA, 1997). São polímeros amorfos, constituídos de uma cadeia central à qual se somam cadeias laterais. Além de atuarem como uma matriz, na qual estão imersas as cadeias de celulose, as hemiceluloses são os componentes mais higroscópicos que atraem moléculas de água das paredes celulares (FOELKEL, 1977). A associação de um grupo de cadeias de celulose envolvidas por moléculas de hemicelulose pode ser denominada por microfibrila.

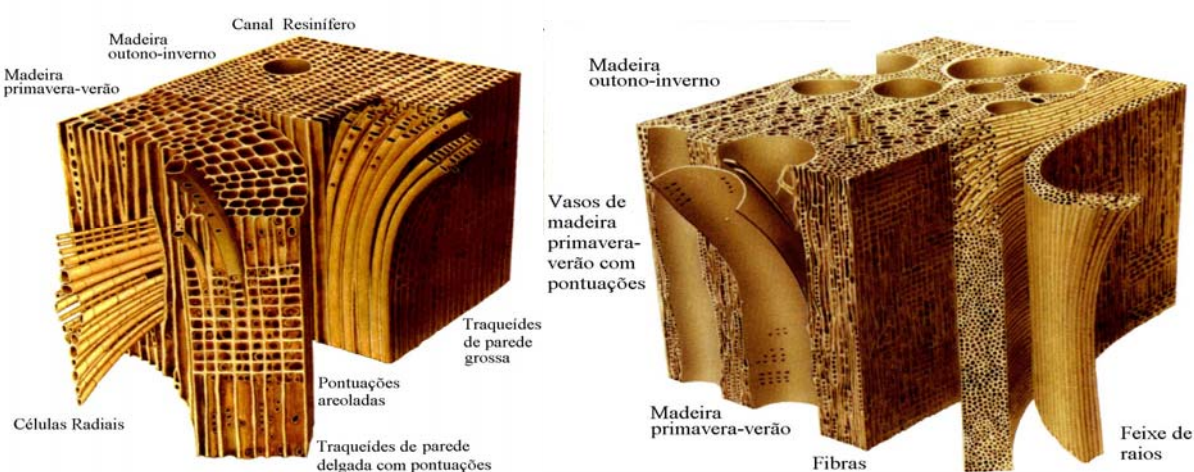
A lignina, segundo Ealton e Hale (1993) é definida como um polímero tridimensional

complexo, de elevado peso molecular, amorfo, que trabalha como material incrustante em torno das microfibrilas, conferindo a rigidez às paredes celulares dos elementos anatômicos, tornando-as resistentes a solicitações mecânicas.

O lenho da madeira é constituído principalmente por células de forma alongada apresentando vazio interno, mas tendo tamanhos e formas variadas, de acordo com a sua função e com a classificação botânica da árvore [(CALIL JR. et al, 2003); (DIAS et al, 2005)].

As coníferas (Figura 3.2a) são constituídas principalmente por células radiais (raios medulares) e traqueídes. Os traqueídes têm comprimento de 3 a 4 mm e diâmetro de 45 micra, e estão dispostos na direção da altura do tronco. Cumprem duas funções: são os responsáveis por transportar a seiva bruta e dar resistência e rigidez à madeira.

As folhosas (Figura 3.2b) são constituídas principalmente por fibras, parênquima, vasos e raios. Neste caso, as fibras, que têm comprimento entre 0,5 a 1,5 mm, são as responsáveis por conferir resistência e rigidez à madeira. Os vasos, com diâmetro de 0,02mm até 0,5mm, têm a função de transportar a seiva bruta. Ambos estão dispostos na direção da altura da árvore. As células radiais estão dispostas radialmente na seção do tronco da árvore, e têm a função de transportar a seiva elaborada para o interior do lenho, tanto no caso das coníferas como no caso das dicotiledôneas. Também armazenam material orgânico não utilizado na formação das células.



(a) Aspectos anatômicos das coníferas

(b) Aspectos anatômicos das folhosas (dicotiledôneas)

Figura 3.2. Estrutura microscópica do lenho da madeira. Fonte: TAYLOR (1978) apud DIAS et al (2005).

A intenção do Autor no decorrer desse capítulo, é fornecer informações fundamentais para o diagnóstico, em função das características visuais de agentes de deterioração da madeira, com intuito de contribuir nas identificações de manifestações patológicas em estruturas de

madeira, como subsidio para a metodologia no uso da Técnica de Inspeção Visual para avaliações em inspeções de estruturas de madeira. Para isso, as características visuais de agentes de deterioração da madeira são aqui divididas em:

- ✓ Características visuais de sinais de manifestações patológicas por agentes bióticos;
- ✓ Características visuais de sinais de manifestações patológicas por agentes abióticos.

Diante desse contexto, esse capítulo aborda de maneira sistematizada os fundamentos teóricos das manifestações patológicas oriundas às deteriorações em estruturas de madeira, a fim de identificar os agentes de deterioração da madeira, que são determinantes fundamentais para a complementação do Capítulo 4 de metodologias de inspeções para avaliações de elementos estruturais de madeira.

3.1 Características visuais de agentes bióticos

Os principais agentes bióticos de deterioração (biodeterioração) originários de patologias em elementos de madeira destacam-se as bactérias, os fungos, os insetos (térmitas-de-madeira, brocas-de-madeira, formigas-carpinteiras e abelhas-carpinteiras) e os perfuradores marinhos.

3.1.1 Bactérias

As bactérias são seres unicelulares e estão entre os microrganismos mais comuns no Planeta Terra. São importantes colonizadores de madeira não tratada em ambientes com umidade muito elevada, provocando aumento da permeabilidade e amolecimento da superfície da madeira. A biodeterioração por apodrecimento bacteriano normalmente é um processo extremamente lento, mas pode tornar-se grave em situações em que a madeira não tratada fica submersa por longos períodos de tempo. Diversas bactérias também são capazes de degradar certos tipos de preservativos e podem modificar as propriedades da madeira tratada de tal forma a torná-las mais susceptíveis a organismos menos tolerantes quimicamente [(RITTER; MORRELL, 1990); TEMTIS, 2008)]. Segundo Ritter e Morrell (1990), embora a perda significativa na durabilidade possa se desenvolver em madeira não tratada que permaneça saturada por longos períodos, a deterioração bacteriana parece não ser um perigo significativo para a madeira tratada sob pressão em autoclaves, que são normalmente utilizadas em elementos estruturais expostos à umidade constante, como por exemplo, em estruturas de pontes de madeira. No entanto, segundo Vatovec e Kelley (2007)

tem sido documentado que as bactérias são como capaz de causar danos significativos em estacas, mesmo em condições totalmente submersas.

Highley (1999), reescrito por Clausen (2010), consideram que geralmente a contaminação por bactérias têm pouco efeito sobre as propriedades da madeira, exceto quando exposta durante longos períodos imersas à água, algumas espécies podem ficar excessivamente retidas na madeira. Isto pode resultar em excesso de absorção de umidade retidas em adesivos, tintas, ou conservantes durante o tratamento ou uso. Esse efeito tem sido um problema no alburno em peças de madeira serrada ou no alburno em peças roliças de madeira folhosas ou em camadas externas das coníferas como pinus, em regiões submersas. Além disso, algumas espécies de bactérias podem causar perdas de resistência durante longos períodos de contaminação, principalmente em contato com solos de florestais nativas. Também existem evidências de que as bactérias em desenvolvimento podem atacar o verniz aderido ao pinus, em condições imersas ou pulverizadas, havendo possibilidade causar mudanças perceptíveis no caráter físico do verniz, incluindo perdas de resistência. Além disso, uma combinação em contaminações com diferentes tipos de bactérias e associadas com certas espécies de fungos, possuem a capacidade, por exemplo, em acelerar o processo de biodeterioração em vigas de madeira serradas tratadas, de torres de resfriamento.

Portanto, a maioria da madeira que fica exposta a água por um período considerável de tempo, provavelmente fica susceptível a contaminação por bactérias. Highley (1999) e posteriormente Clausen (2010) descrevem que em avaliações com toras e madeiras serradas imersas em água durante vários meses, se manifestaram a ação bacteriana, com odor característico azedo.

Em análises moleculares em amostras de madeiras imersas Nilsson e Björdal (2005) detectaram um grande número de diferentes espécies de bactérias presentes, inclusive várias espécies biodeterioradoras de madeira. Simpson e Ward (2001), assim como Anagnost (2011) e Temtis (2008), descrevem que diversas espécies de bactérias anaeróbias também podem contaminar madeira sob condições de umidade constante ou submersas. Abrami et al (2005); Klaassen et al (2005); Huisman (2005); Gelbrich (2005); Nilsson e Björdal (2005) realizaram estudos de caracterizações de ambientes contaminadas por bactérias biodeterioradoras de madeira (Figura 3.3), além de biodeteriorações por fungos, em avaliações de estacas de madeira em aterros históricos na Grã-Bretanha, Suécia, Alemanha, Holanda e Itália. A título de curiosidade, em Amsterdam e Rotterdam, devido à industrialização ocorreram rápidas expansões das cidades no início de 1875. Desse ano até 1960 foram utilizados grandes volumes de estacas de madeira. A capacidade, o comprimento e a posição das estacas foram

baseados em critérios técnicos, utilizando métodos empíricos de tentativa e erro, pois na época, não existiam sistemáticas investigações do solo e engenheiros geotécnicos. A Figura 3.3b apresenta o modo de ruptura de uma estaca de madeira biodeteriorada contaminada por bactérias.



a) Estacas em Amsterdam em bom estado.



b) Modo de ruptura por contaminação de bactérias.

Figura 3.3. Biodeterioração de estacas de madeira por bactérias. Fonte: ABRAMI et al (2005)

As bactérias de biodeterioração podem funcionar como base da cadeia alimentar de grandes colônias bacterianas (HUISMAN, 2005). A sintomatologia são manchas superficiais e amolecimento da madeira. As características visuais da sintomatologia dessa manifestação patológica podem ser observadas na Figura 3.4. No entanto visualmente é difícil identificar a madeira deteriorada por bactérias de biodeterioração, sem auxílio de ensaios biológicos em laboratório especializado, podendo ser confundido com biodeterioração por ataques de fungos apodrecedores, como será apresentado adiante.

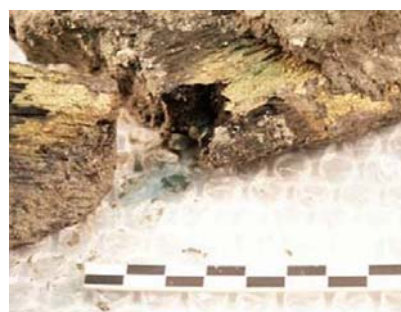


Figura 3.4. Características visuais de fragmentos de madeira biodeteriorada por bactérias. As colorações ouro brilhante evidenciam contaminações por sulfetos de ferro. Fonte: HUISMAN (2005).

3.1.2 Fungos

Os fungos são microrganismos vegetais simples, que degradam e utilizam a madeira como fonte de alimento (HIGHLEY; SCHEFFER, 1989). Os fungos locomovem-se através da madeira como uma rede de hifas filiformes microscópicas, que crescem em cavidades ou penetram diretamente na parede celular da madeira, Figura 3.6. Como as hifas alongadas, os fungos segregam enzimas que degradam a celulose, hemicelulose, ou lignina e absorvem o material degradado para completar o processo de digestão. Uma vez que o fungo obtém uma quantidade suficiente de energia a partir da madeira, produz um corpo de frutificação sexuada ou assexuada para distribuir os esporos reprodutivos e infectam peças de madeira próximas às contaminadas. Os basidiomas ou corpos de frutificação, conhecidos popularmente como cogumelos, variam a partir de esporos de uma única célula gerados no final das hifas, para germinar os corpos de frutificação perenes que produzem milhões de esporos, Figure 3.5. E quando detectados, a madeira já indica alto nível de biodeterioração por apodrecimento. Esses esporos são vastamente alastrados por insetos, ventos e outros meios encontrados na maioria das superfícies expostas (RITTER; MORRELL, 1990). Como resultado, todas as estruturas de madeira estão susceptíveis a infestações por fungos quando a umidade e outras condições ambientais favorecem o crescimento de fungos [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989); (RITTER; MORRELL, 1990); (ASTM STP 1351:2000); (ARRIAGA et al, 2002); (BRITO, 2004); (TEMTIS, 2008); (MARYNOWICZ, 2008); (MACHADO et al, 2009); (MARTINS, 2009); (ANAGNOST, 2011); (BASTOS, 2011); (CALIL JR., 2011); (ROSSOW, 2012); (FERREIRA, 2012)^{p55}; (BRANCO et al, 2012); (BRITO; CALIL JR., 2013)].

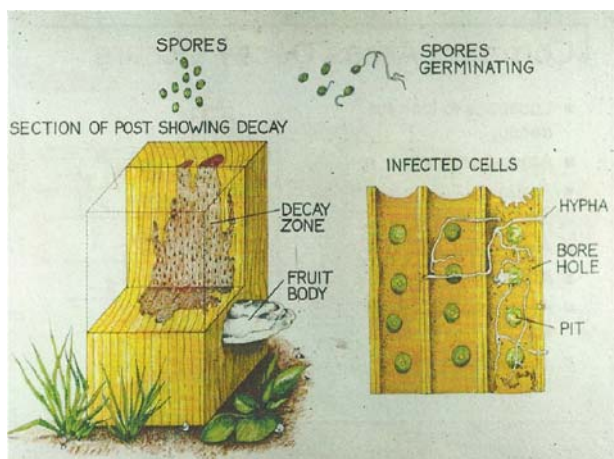


a)



b)

Figura 3.5. Características visuais de corpos de frutificações típicos de fungos. Os tumores na madeira variam consideravelmente em tamanho, forma, cor, e entre as espécies de fungos. Fonte: WOOD (2007) apud MARTINS (2009).



Legenda (tradução):

- ✓ Spores: esporos
- ✓ Spores germinating: germinação de esporos
- ✓ Decay zone: região de biodeterioração, por apodrecimento.
- ✓ Fruit body: corpo de frutificação
- ✓ Infected cells: células infectadas
- ✓ Hypha: hifas
- ✓ Bore hole: orifício
- ✓ Pit: cavidades

Figura 3.6. Ciclo de biodeterioração por apodrecimento [ingl.: Decay] por fungos apodrecedores (do topo à base). Os fungos começam como esporos minútos à germinação e crescem através da madeira. Uma vez que tenha sido obtida a energia suficiente, o fungo produz corpo de frutificação e esporos germinadores que se espalham e infectam outras madeiras. RITTER e MORRELL (1990) citado em BRASHAW (2012).

Martins (2009) descreve que os esporos podem permanecer por muitos anos nas edificações sem qualquer tipo de manifestação, resistindo à dissecação, aguardando por condições favoráveis ao seu desenvolvimento. Entre todas as condições favoráveis, o Teor de umidade é o principal responsável pelo desencadear dos fungos, podendo existir diversas causas possíveis para o aumento do teor de umidade, tal como infiltrações de água através do contato com o solo, mau estado de conservação de coberturas, infiltrações em canalizações, ventilações insuficientes ou inexistentes no interior da edificação, etc.

Ao longo da história, tem-se pesquisado sobre a biodeterioração da madeira, mas foi em 1878 que R. Hartig apud Ritter e Morrell (1990) descreveu com precisão a relação entre hifas fúngicas e biodeterioração da madeira. Ainda na atualidade, pesquisadores continuam descobrindo novas espécies e relações intrigantes entre os organismos que colonizam a madeira. Embora existam centenas de espécies de fungos, os fungos que atacam a madeira podem ser divididos em três tipos: os fungos emboloradores, fungos manchadores e fungos apodrecedores. Estes fungos são semelhantes em muitos aspectos, mas diferem substancialmente quanto aos seus efeitos sobre as estruturas de madeira.

3.1.2.1 Fungos emboloradores e fungos manchadores

Os fungos emboloradores [ingl.: mold fungi] e os fungos manchadores [ingl.: stain fungi] colonizam a madeira logo após o desbaste e continuam a proliferar enquanto o teor de umidade permanecer elevado, acima de aproximadamente 25% para madeiras macias. O principal efeito desses fungos é o de manchar ou descolorir a madeira (Figuras 3.7 e 3.8) [(RITTER; MORRELL, 1990); (ARRIAGA et al, 2002); (LOPES, 2007); (DRIEMEYER,

2009); (ANAGNOST, 2011); (BASTOS, 2011); (BRANCO et al, 2012)]. Estes dois tipos são considerados fungos não deterioradores e são de consequências práticas primárias, sobretudo onde as madeiras são produzidas, afetando praticamente a qualidade estética.

Os fungos emboloradores infectam a superfície da madeira, causando defeitos que geralmente podem ser removidos com escovação, lixamento ou aplainamento conforme demonstrado por Lelis et al (2001), Figura 3.7. Os fungos emboloradores são responsáveis por uma importante alteração na superfície da madeira conhecida popularmente como bolor. Na realidade, o bolor resulta da enorme produção de esporos, que possuem cores variadas de acordo com a espécie de fungo (Figura 3.7).

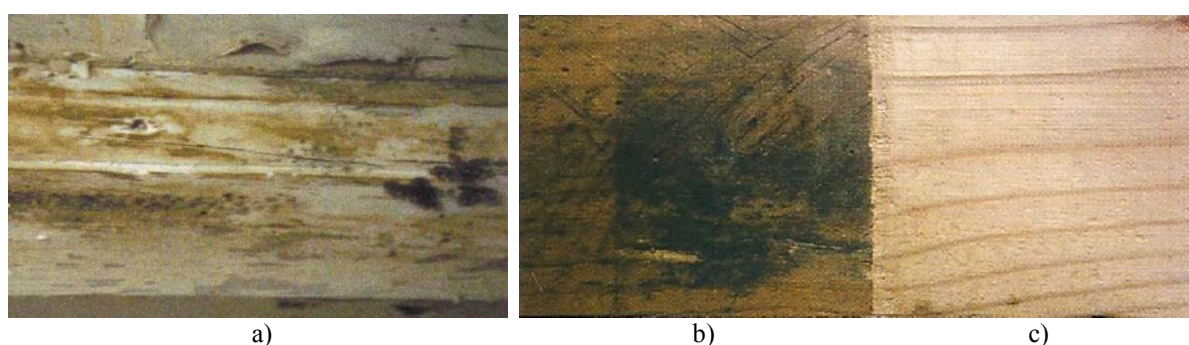


Figura 3.7. a) Características visuais de madeira ataca por fungos emboloradores, ARRIAGA et al (2002); b) aspecto macroscópico da superfície embolorada, Foto: Sérgio Brazolin, em LELIS et al (2001) IPT; c) superfície aplainada, a madeira apresenta-se aparentemente sadia, sem manchas, Foto: Sérgio Brazolin, em LELIS et al (2001) IPT.

No entanto, os fungos manchadores, segundo Ritter e Morrell (1990), podem causar preocupações mais sérias, pois além de penetrarem mais profundamente e descolorirem a madeira, sob condições ambientais favoráveis, alguns fungos manchadores também podem ser originários ao risco de biodeterioração na madeira, causando a diminuição de resistência e o aumentando da permeabilidade, além de manchar a madeira, geralmente rejeitada durante a classificação para usos estruturais. Lelis et al (2001) demonstram que os fungos manchadores provocam manchas profundas no alburno das madeiras, que resultam da presença de hifas pigmentadas ou de pigmentos liberados pelos fungos. Esse tipo de ataque, também conhecido como mancha azul ou fungos cromogêneos (MARTINS, 2009), é responsável por consideráveis prejuízos, principalmente de ordem estética (Figura 3.8b; c), em madeiras como, por exemplo, o *Pinus sp* da família *Pinaceae* (LELIS et al, 2001).



Figura 3.8. a) Características visuais de seção transversal de madeira atacada por fungos manchadores cromogêneos, ARRIAGA et al (2002); b) aspecto macroscópico de madeira atacada por fungos manchadores na superfície, Foto: Sérgio Brazolin, em LELIS et al (2001) IPT; c) superfície aplainada (observar as manchas azuladas causadas pelos fungos, Foto: Sérgio Brazolin, em LELIS et al (2001) IPT.

Segundo Ritter e Morrell (1990)^{p13-5}, os fungos emboloradores e os manchadores utilizam constituintes da madeira como alimento, e não degradam a parede celular. A maioria dessas espécies ataca somente o alburno. Embora esses fungos não prejudiquem a resistência da madeira, sua presença pode ser um indicativo de condições ambientais favoráveis para o aparecimento de fungos apodrecedores mais graves. O ciclo de proliferação de alguns fungos emboloradores e manchadores pode causar uma retirada lenta de toxinas naturais da superfície da madeira ou remoção de tratamentos preservativos, que podem dar origem a processos acelerados de ataque por fungos apodrecedores.

No entanto, segundo Botelho Jr. (2006), apesar dos fungos emboloradores e dos manchadores não apresentam um perigo significativo na perda de resistência da madeira, embora possuam uma insignificante ação de degradação mecânica, aumentam a higroscopicidade potencializando o risco de desenvolvimento de fungos apodrecedores na madeira, além do inconveniente de alteração estética também exposta por Lopes (2007). Dessa forma, constituem em um indicativo de potencial de risco a ataques biológicos futuros mais danosos. Uma vez que os fungos emboloradores apenas alteram a superfície da madeira, são facilmente removidos por limpezas superficiais. Segundo Lopes (2007), os fungos emboloradores são detectados pela presença de uma superfície com uma aparência de algodão transparente ou com tonalidades entre a coloração branca e preta.

3.1.2.2 Fungos apodrecedores

Os fungos apodrecedores [ingl.: decay fungi] necessitam de quatro requisitos básicos para o crescimento, na maioria desempenhados simultaneamente: à madeira como fonte de alimento, oxigênio, umidade disponível e temperatura adequada [(RITTER; MORRELL, 1990); (MARYNOWICZ, 2008); (ANAGNOST, 2011)]. Calil Jr. et al (2006) descrevem que

os fungos apodrecedores são os agentes patológicos mais comuns no Brasil. Como a maioria das regiões no Brasil são de clima tropical, e a madeira é um material higroscópico, a alta umidade cria um ambiente ideal para o desenvolvimento de fungos. No entanto, onde a média de umidade relativa é abaixo de 20%, não existe deterioração da madeira (CALIL et al, 2006)^{p59}. Calil Jr. et al (2006) consideram que as fontes geradores típicas de fungos apodrecedores incluem infiltrações em coberturas, escolhas inadequadas da Categoria de uso e detalhamentos inadequados em projetos, e alta umidade relativa do local. Os sintomas incluem a perda de resistência, amolecimento, desintegração e descoloração. Ritter e Morrell (1990) frisam que as deteriorações em peças de madeira expostas ao intemperismo, como as peças de madeira externas e as de pontes de madeira, por exemplo, são normalmente causadas por fungos apodrecedores.

Lelis et al (2001) descrevem que os fungos apodrecedores são responsáveis por profundas alterações nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, devido à progressiva destruição das moléculas que constituem suas paredes celulares. Os fungos apodrecedores são agrupados conforme o tipo de ataque à madeira, que se traduz em alterações em seus aspectos macroscópico e microscópico.

Para compreender como a madeira é deteriorada pelos fungos apodrecedores, faz-se necessário explicar a importância da madeira para os fungos. Sucintamente, Martins (2009) comenta que as explicações residem na própria constituição da madeira, em que o componente mais importante da sua constituição é a celulose, e esta consiste num polissacarídeo, ou seja, é um açúcar. A madeira, ao possuir açúcar, torna-se apetecível aos organismos sob um ponto de vista nutricional, visto estes necessitarem de nutrientes para sobreviver. A celulose é transformada em açúcar solúvel em água através de enzimas produzidas pelos fungos, o mesmo acontece com a hemicelulose. A lignina, outro composto essencial da constituição da madeira, não apresenta o mesmo valor nutricional que a celulose, visto ser mais difícil de degradar, para além de ser insolúvel em água. Existem alguns fungos que produzem enzimas que conseguem degradar a lignina de forma a sintetizá-la, como o caso das podridões brancas (do género *Basidiomicetos*), para além de outros organismos como é o caso de bactérias aeróbias, anaeróbias e de fungos anaeróbios [(CANEVA et al, 2008) apud (MARTINS, 2009)]. Os fungos apodrecedores podem levar à destruição total da madeira (DRIEMEYER, 2009). Na Figura 3.9 pode-se observar um exemplo de destruição celular pela ação dos fungos apodrecedores.

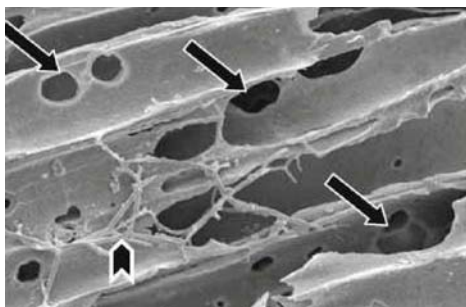


Figura 3.9. Imagem microscópica da destruição de componentes celulares por fungos apodrecedores.
Fonte: MARTINS (2009)

Segundo Martins (2009) os fungos apodrecedores ao alojarem na madeira favorecem a uma diminuição da resistência mecânica dependendo da duração do ataque, da durabilidade natural da madeira e da existência ou não de algum tratamento com produto preservativo, de acordo com a *Classe de Serviço* do Eurocode EC-5, em que a madeira está exposta. No entanto Martins (2009) descreve que do ponto de vista da conservação dos elementos de madeira, a identificação exata da espécie de fungos não é tão importante, visto que a identificação de qual o tipo de fungo pode-se avaliar o seu potencial destruidor, caracterizando assim o risco envolvido para os elementos existentes.

Highley e Scheffer (1989) classificam os fungos apodrecedores em dois tipos: fungos de podridão parda e os fungos da podridão branca.

Já Ritter e Morrell (1990) descrevem que esses fungos são agrupados em três principais tipos distintos na classificação de fungos apodrecedores baseadas na forma em que eles atacam e na aparência da madeira deteriorada, e os denominam em função da coloração e Arriaga et al (2002) e Machado et al (2009) consideram também na denominação o aspecto que apresenta a madeira atacada:

- ✓ fungos de podridão parda ou cúbica [ingl.: brown rot fungi];
- ✓ fungos de podridão branca ou fibrosa [ingl.: white rot fungi];
- ✓ fungos de podridão mole [ingl.: soft rot fungi].

Cruz (2011) reforça que nos casos de fungos apodrecedores, cujos efeitos são difíceis de quantificar com rigor a degradação biológica em relação seção transversal útil, considera prudente (embora conservador em alguns casos) desprezar a contribuição de toda seção afetada. A distinção entre a madeira biodeteriorada e a madeira são simplesmente suja ou com manchas de umidade deve ser claramente realizada, o que justifica a necessidade de acesso direto aos elementos e a utilização de métodos não destrutivos.

3.1.2.2.1 Fungos de podridão parda ou cúbica

No IPT, Lelis et al (2001) traduzem-nos por *fungos de podridão parda* [ingl.: brown rot fungi], pois como o nome indica, a madeira deteriorada por esse grupo de fungos apresentam características visuais de coloração parda-escura, ou acastanhada [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989); (RITTER; MORRELL, 1990); (ARRIAGA et al, 2002); (SÉTRA, 2006)^{p54}; (PRIETO et al, 2008)^{p33}; (MACHADO et al, 2009); (LOPES, 2007); (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p40}.

Highley e Scheffer (1989) descrevem que a biodeterioração típica por fungo de podridão parda pode ser reconhecida pela coloração e características físicas da madeira deteriorada. Highley e Scheffer (1989); Ritter e Morrell (1990) também citado em Lelis et al (2001); Ridout (1999); Arriaga et al (2002); Sétra (2006)^{p54}; Prieto et al (2008)^{p33} e Machado et al (2009) descrevem que a madeira em estágio avançado de biodeterioração causada por fungos de podridão parda, a madeira quando seca, além de alterações na coloração castanha escura à marrom, geralmente, aparenta retração anormal e inúmeras fendas cruzadas, paralelas e perpendiculares às fibras, e consistência quebradiça e friável, com aparência semelhante à superfície de uma madeira muito carbonizada (Figura 3.10). Ritter e Morrell (1990) descrevem que no período de 1700, cientistas examinaram diversas madeiras com podridão parda e afirmaram que as madeiras tinham sido carbonizadas, até que no final do período de 1800 as características visuais desses fungos foram associadas com o dano devido ao fogo.



a) Fonte: ARRIAGA et al (2002)



b) Fontes: SHUPE et al (2008); CLAUSEN (2010)



c) Foto: Sérgio Brazolin, em LELIS et al (2001) IPT

Figura 3.10. Características visuais de madeiras infectadas com fungos de podridão parda em estágio avançado de biodeterioração, que geralmente apresentam uma coloração escura, com uma superfície quebradiça, friável, que se assemelha a madeira carbonizada.

Em função da coloração e desses aspectos visuais característicos na madeira deteriorada, os pesquisadores da Espanha Arriaga et al (2002), e de Portugal Machado et al (2009) e Cruz (2009) respectivamente designaram-na como *fungo de podridão parda cúbica* ou *fungo de podridão castanha cúbica*.

O fungo de podridão parda apodrece principalmente atacando as frações de moléculas de celulose e hemicelulose da parede celular da madeira e modificam a lignina residual, provocando perdas de densidade em cerca de 70%. Em função da celulose proporcionar a resistência primária à parede celular, os fungos de podridão parda causam perdas de resistência substanciais nas fases muito iniciais de decomposição (ANAGNOST, 2011). Segundo Ritter e Morrell (1990) nessa fase, a madeira tem características visuais de madeira sã e geralmente com a densidade reduzida entre 1% a 5%, no entanto algumas propriedades, como a de resistência pode ser reduzida em até 60%. Machado et al (2009) e Cruz (2009) complementam que o desenvolvimento de fungos apodrecedores ocasionam com a perda de massa e de a resistência mecânica da madeira, podendo, em condições favoráveis à biodeterioração, levar à completa destruição dos elementos. “*O ataque inicial pode ser detectado pela presença de micélio, que é um conjunto de hifas emaranhadas do fungo sobre a superfície da madeira e por uma acentuada perda de resistência da madeira à penetração de um objeto cortante (faca, formão, punção, etc.)*”. Também apontam que a gravidade do dano ao ataque por esses fungos, nem sempre é tarefa fácil de quantificar, podendo haver perda de resistência significativa mesmo com perdas de massa pouco significativas. Segundo BASTOS (2011), normalmente quando esta é visível a madeira já sofreu uma perda de massa entre 10% a 20%, o que pode corresponder a um déficit de resistência superior a 80%.

Merino (1998) citado em Botelho Jr. (2006) complementam os fungos de podridão parda, são fungos de ordem *basidiomicetos*, aos quais se alimentam preferencialmente da celulose e hemicelulose das paredes celulares, deterioradas pelo processo de hidrólise. Arriaga et al (2002) descrevem que “*em função da matéria residual ser constituída principalmente por lignina, adquire uma coloração escura, que após a secagem, devido às alterações de volume, as regiões atacadas formam essa camada com fendas quebradiças cúbicas que se desagregam com muita facilidade em contato mecânico, dilacerando-a em fragmentos ou em casos extremos em pó*”.

Ritter e Morrell (1990) também citados em Sampaio da Costa (2009)⁴⁰, frisam que dentre os três principais tipos de fungos apodrecedores, os fungos de podridão parda estão entre os mais graves, devido ao seu modo de ataque. As enzimas produzidas por estes fungos migram ou difundem distantemente do ponto em que as hifas dos fungos crescem. Como resultado, as

perdas de resistência na madeira podem estender-se a um intervalo substancial a partir de regiões em que as biodeteriorações podem ser visivelmente detectadas.

Highley e Scheffer (1989) descrevem que as biodeteriorações por fungos de podridão parda são mais comuns em estruturas de madeira em áreas alagadas, como as de pontes, ancoradouros, decks, torres de resfriamento (MONTEIRO et al, 2012). A deterioração por fungo de podridão parda, em certos casos, pode não ser detectada em superfície de madeira protegida por tratamento preservativo ou em peças não tratadas submetidas intermitentemente por secagem que protejam a superfície. Exemplos de deteriorações internas são muito comuns em regiões de interfaces na linha de afloramento em bases de postes de eletrificação (FREITAS, 2009). Segundo Bastos (2011) esse tipo de podridão ocorre normalmente em regiões mal ventiladas e úmidas.

Rodrigues (2004) classifica ainda em três tipos de fungos de podridão cúbica:

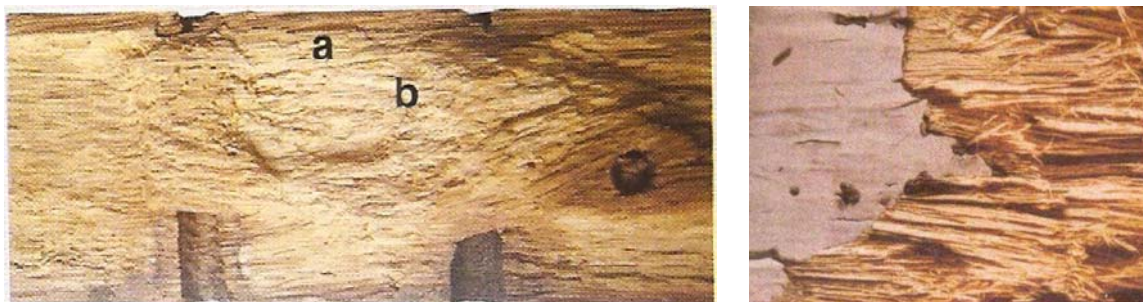
- ✓ Fungos de podridão cúbica seca: as hifas transportam umidade de madeiras atacadas para madeiras secas e sãs, permitindo-se a proliferação do fungo. Um exemplo deste fungo é o *Serpula lacrymans*.
- ✓ Fungos de podridão cúbica úmida: afetam as madeiras com umidades superiores entre 20% a 35% exteriores ou interiores, e são caracterizadas através de uma coloração escura na superfície. As espécies *Coniophora cerebella* e a *Poriavaillantii* F. degradam tanto as madeiras de resinosas como de folhosas.
- ✓ Fungos de podridão cúbica úmida e parda branca: são caracterizados por uma película superficial branca, geralmente descolorada e corroída que quando seca apresenta pequenas fissuras. Alimentam-se de celuloses e hemiceluloses da parede celular da madeira, degradam a parede celular secundária formando cavidades paralelas (de várias formas e tamanhos, sendo mais visíveis na madeira de outono que na de primavera devido à quantidade de substâncias nutritivas) à direção das microfibras da celulose. Quando o ataque é muito forte, a parede secundária desliga-se completamente da terciária (que também poderá ser danificada). O ataque deste fungo é executado por três fases: 1ª - diminuição inicial do peso da madeira; 2ª - penetração micelar passiva sem perda de peso; 3ª - diminuição relevante do peso da madeira. As consequências deste fungo são: o aumento da permeabilidade e diminuição da resistência à tração e compressão, bem como diminuição do peso. Um exemplo desse é o fungo *Coniophora puteana*.

3.1.2.2.2 Fungos de podridão branca ou fibrosa

Segundo Highley e Scheffer (1989) a madeira biodeteriorada por fungos de podridão branca ou fibrosa geralmente não sofre processos de retração. Lelis et al (2002) descrevem que a madeira atacada por este grupo de fungos perde seu aspecto lustroso e sua cor natural. Highley e Scheffer (1989) e Ritter e Morrell (1990) descrevem que os fungos de podridão branca, ou fibrosa, geram deteriorações que se assemelham a aparência normal da madeira, mas pode ser esbranquiçada ou com coloração castanha clara [(SÉTRA, 2006)^{p54}; (PRIETO et al, 2008)^{p33}; (BASTOS, 2011)²⁰], e em certos casos, com listras entre às fibras escuras, semelhantes a linhas de lápis escuros (linhas de faixa). Tipicamente em estágios avançados de biodeterioração por apodrecimento a madeira infectada não apresenta fendas e tem uma textura distintamente macia, com degradação que incidem separações individuais das fibras da madeira apesar da ausência de retrações anormais e com uma consistência esponjosa (Figura 3.11) [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989); (RITTER; MORRELL, 1990); (RIDOUT, 1999); (ARRIAGA et al, 2002)]. Ritter e Morrell (1990) descrevem que os fungos de podridão branca diferem dos fungos de podridão parda à medida que atacam os três componentes da parede celular da madeira, causando perda significativa em até 97% da densidade original. Na maioria dos casos, a perda de densidade pode ser associada à correlação de perda de resistência. As enzimas produzidas por fungos da podridão branca, normalmente permanecem perto das hifas em crescimento, e os efeitos da infestação não são tão evidentes nas fases iniciais de biodeterioração por apodrecimento. Anagnost (2011) complementa que os fungos de podridão branca degradam todos os componentes químicos estruturais da madeira incluindo a celulose, hemicelulose e lignina, embora, em alguns casos, a lignina possa ser preferencialmente removida (LELIS et al, 2002). Segundo descrito em Sampaio da Costa (2009)^{p39} sua atuação é mais prejudicial na degradação na lignina das paredes celulares, as quais são decompostas através de processos de oxidação.

Segundo Highley e Scheffer (1989) os fungos de podridão branca, ocasionalmente, podem ser encontrados em regiões de áreas alagadas em elementos estruturais de madeira em espécies de folhosas (dicotiledôneas).

Em função da coloração esbranquiçada e dos aspectos visuais fibrosos característicos na madeira deteriorada, pesquisadores da Espanha Arriaga et al (2002) designaram-na como *fungo de podridão branca ou fibrosa*, citado também em Lopes (2007); Sampaio da Costa (2009)^{p40}.



a) Foto: Sérgio Brazolin, em LELIS et al (2001) IPT

b) Fonte: ARRIAGA et al (2002)

Figura 3.11. Madeira infectada com fungos da podridão branca ou fibrosa. Em estágios avançados de biodeterioração por apodrecimento [ingl.: Decayed] a madeira apresenta coloração esbranquiçada ou com coloração parda clara, em certos casos, com fibras escuras. No corpo-de-prova (a) LELIS et al (2001) IPT comenta que a madeira tinha tratamento superficial, no entanto ocorreu fungo de podridão branca internamente.

3.1.2.2.3 Fungos de podridão mole

Segundo Ritter e Morrell (1990), os fungos da podridão mole são de um grupo recentemente descoberto que geralmente limitam seu ataque à camada superficial externa da madeira (Figura 3.12). Lelis et al (2001) e Anagnost (2011) complementam que esses fungos tem o ataque restrito a superfície da madeira, dificilmente penetrando além de 20 mm de profundidade, entretanto, a porção atacada da madeira pode se destacar com facilidade, expondo novas regiões a ação dos fungos.

Ritter e Morrell (1990) descrevem que os fungos de podridão mole geralmente atacam madeiras susceptíveis a molhagem contínua ou em condições de variações de umidade, e podem ocorrer em ambientes de baixa oxigenação situação que geralmente inibem o desenvolvimento dos fungos de podridão branca e parda. Já Lelis et al (2001) reforçam que a biodeterioração por esses fungos ocorre quando esta se encontra em ambientes com elevado teor de umidade e pouca disponibilidade de oxigênio. Quando úmidas, as peças de madeira com podridão mole apresentam sua superfície amolecida. Ao secar, esta superfície escurece e tende a apresentar pequenas fissuras paralelas e perpendiculares as fibras da madeira (Figura 3.12c) [(RITTER; MORRELL, 1990); (SÉTRA, 2006)^{p54}; (ARRIAGA et al, 2002); (LOPES, 2007); (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p40}]. Essas fissuras cruzadas são semelhantes aos casos da biodeterioração por fungos de podridão parda, mas geralmente se diferem pelas pequenas dimensões. Esses fungos degradam preferencialmente celulose e hemiceluloses. Uma característica microscópica do ataque desses fungos são as cavidades produzidas nas paredes das células da madeira (Figura 3.12b). Ritter e Morrell (1990) complementam que os fungos de podridão mole necessitam mais da adição de nutrientes exógenos para promover infestações. Esses nutrientes são muitas vezes, inadvertidamente fornecidos por fertilizantes

em solos agrícolas, resíduos de celulose em torres de resfriamento, e em diversas outras fontes de nutrientes. Um exemplo de biodeteriorações em peças de madeira em torres de resfriamento por fungos de podridão mole foi apresentado em Monteiro et al (2012). No entanto, segundo Ritter e Morrell (1990) embora possam ser encontrados em certas situações favoráveis, os fungos de podridão mole normalmente não estão associados com a perda significativa de resistência nos elementos estruturais de pontes de madeira.

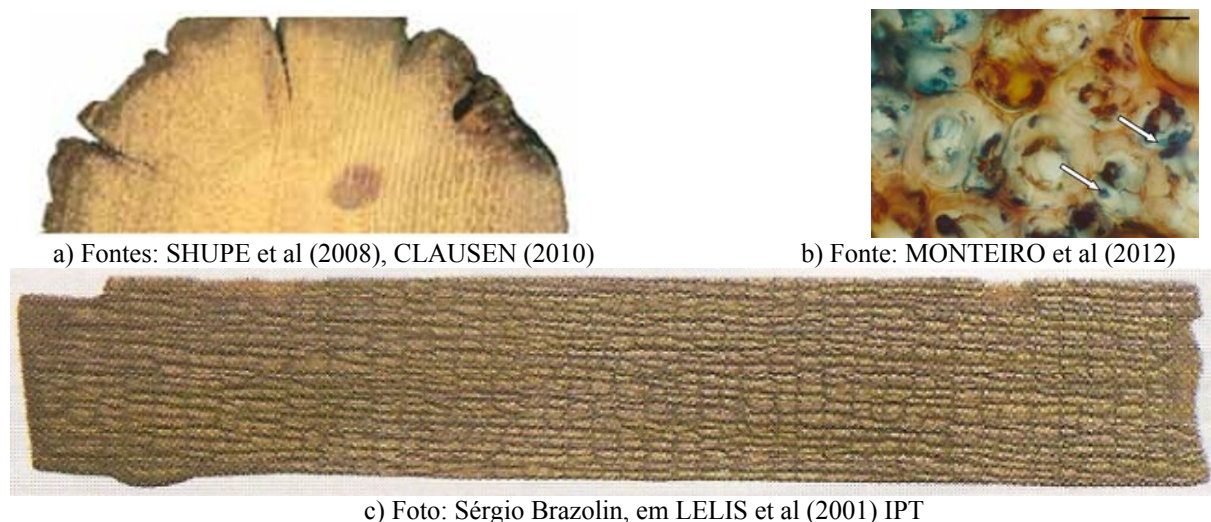


Figura 3.12. Características visuais de fungos de podridão mole. a) Observa-se em uma seção transversal de poste de madeira que em certos casos a profundidade de biodeterioração por fungos da podridão mole pode ser intensa. b) Microscopia da madeira de ipê em corte transversal. As setas indicam cavidades na parede celular das fibras, típicas do ataque de fungos de podridão mole (escala = 10µm). Fonte: MONTEIRO et al (2012). c) aspecto de camada extrema de madeira deteriorada por fungos de podridão mole.

Para fins de descrição do nível de deterioração em peças de madeira atacadas por fungos de podridão mole, Ritter e Morrell (1990) classificam em três estágios: inicial, intermediário e avançado. O estágio de biodeterioração por apodrecimento inicial ocorre na margem de avanço ou em regiões mais novas de infecção, em que o dano é difícil de detectar, pois não há sinais visíveis de ataque. No entanto, mudanças significativas nas propriedades da madeira podem ocorrer passando do estágio inicial de biodeterioração para o estágio intermediário, tornando-se a madeira macia, com descoloração e em certos casos, preservando pouca perda nas propriedades de resistência. Já no estágio avançado de biodeterioração por apodrecimento, a madeira praticamente perde a capacidade resistente, surgem deteriorações acentuadas com vazios, ou a madeira fica literalmente degradada. Detectar a biodeterioração no estágio inicial não é tarefa fácil, no entanto é o estágio mais importante para detecção em elementos estruturais, durante inspeções, pois nesse estágio, a biodeterioração pode ser mais eficientemente controlada para evitar danos mais graves em uma determinada estrutura.

3.1.3 Atividades de insetos

Segundo Ritter e Morrell (1990) os insetos estão entre os organismos mais comuns no Planeta Terra, e não é de se surpreender que inúmeras espécies desenvolveram a capacidade de usar a madeira como fonte de alimento e/ou habitat. Das 26 ordens de insetos, 6 causam danos na madeira, e são os principais agentes relacionados causadores de deterioração da madeira por insetos, destacando-se os cupins ou térmitas (*Isoptera*), brocas (*Besouros Coleoptera*) [(RITTER; MORRELL, 1990); (ELEOTÉRIO, 2000)^{p33}; (PEÑA et al, 2007); (FERREIRA, 2012)^{p58}], abelhas, vespas e formigas (*Hymenoptera*). Os ataques de insetos geralmente resultam em túneis ou cavidades na madeira, que em diversos casos retêm pó de madeira ou excrementos (fezes de insetos), próximos aos orifícios [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989); (RITTER; MORRELL, 1990); (ARRIAGA et al, 2002); (BRITO, 2004); (SÉTRA, 2006)^{p55}; (SHUPE et al, 2008)^{p10}; (MACHADO et al, 2009); (BRANCO et al, 2012)]. Segundo Highley e Scheffer (1989) a evidência de ataque de insetos pode ser caracterizada pela presença de orifícios, que variam em tamanho de acordo com o tipo de inseto. O acúmulo de pó de madeira ou de excrementos, depositados em regiões externas da peça de madeira, é um indicativo de sinal de ataque. Além da remoção substancial de elementos da microestrutura de madeira, os insetos também podem ser o ponto de partida para a geração de ciclos de fungos manchadores e apodrecedores favorecendo substancialmente a deterioração da madeira. Os insetos podem ainda transportar hifas de certos fungos para outros elementos estruturais de madeira. Conforme Calil Jr. et al (2006) no caso dos insetos a alta umidade não tão é essencial e o risco de infestação é grande. Alguns tipos de ataques de insetos indicam a necessidade do conhecimento de sua extensão, enquanto outros podem ser menos prejudiciais. Entretanto, é essencial a correta identificação.

A atividade de insetos é visualmente caracterizada principalmente pelos orifícios, pequenos grânulos ovalados ou dejetos em pó [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989); (RITTER; MORRELL, 1990); (ARRIAGA et al, 2002); (MACHADO et al, 2009); (BRITO; CALIL JR., 2013)c]. Geralmente, a “presença de atividade de insetos também pode indicar a presença de biodeterioração por fungos apodrecedores” (RITTER; MORRELL, 1990).

Vale destacar que segundo Souza e Ripper (1998) *“dois agentes bastante poderosos são os cupins de solo e as formigas. Esses insetos são agentes deterioradores tanto em estruturas de madeira, quanto também em estruturas de concreto e de alvenaria”. “Os cupins, além dos danos que causam às coberturas, portas, janelas e esquadrias, ao se instalarem em paredes e lajes (inicialmente através dos condútes de eletricidade), destroem os tijolos, para construir*

os cupinzeiros, o que, no caso de edifícios em alvenaria estrutural ou dotado de lajes pré-fabricadas, provoca a diminuição da capacidade resistente da estrutura, ocasionando o surgimento de trincas”. Já quanto “as formigas, elas tem como costume afogar a terra sob fundações superficiais, especialmente em edificações de pequeno porte, provocando, com isto, recalques diferenciais, que podem danificar seriamente a estrutura e resultam em trabalho de recuperação bastante onerosos”.

3.1.3.1 Térmitas Isopteras

As térmitas também conhecidas popularmente por cupins são insetos sociais, isto é, formam colônias compostas por diferentes categorias de indivíduos. Estão presentes principalmente nas regiões tropicais do mundo e apresentam uma grande variedade de hábitos (LELIS et al, 2001). Segundo Ritter e Morrell (1990), existem mais de 2.000 espécies de térmitas distribuídas em áreas onde a temperatura média anual é superior a 50°F (10°C). Em certos casos, em regiões de clima frio, o uso de aquecedores criados pelo homem, também aumentam a capacidade de sobrevivência de cupins favorecendo a proliferação. As térmitas atacam diversas espécies de madeira, mas o cerne de algumas espécies além da alta densidade e certas substâncias naturais, apresentam certa resistência ao ataque. As térmitas são insetos sociais, organizados em um “Ciclo de Vida” hierárquico (Figura 3.13) que executam funções específicas [(RITTER; MORRELL, 1990); (CTBA, 1996); (BENOIT, 1997); (LELIS et al, 2001); (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p42}; (BASTOS, 2011)]. O líder da colônia é uma rainha cujo único propósito é pôr ovos. A rainha fica protegida por soldados e é nutrida e alimentada por operários, que também constroem o ninho e causam danos à madeira. Como todos os indivíduos, as térmitas requerem certas condições de sobrevivência, incluindo alto Teor de umidade na madeira, a celulose da madeira como fonte de alimento adequada, um alto nível de dióxido de carbono e oxigênio. As colônias de térmitas variam em tamanho desde centenas a milhões de indivíduos, ou mais.

A celulose é o alimento básico dos cupins e aqueles que atacam a madeira, no Brasil, são denominados cupins xilófagos. A maioria das famílias de térmitas não causam prejuízos, pois são espécies que se alimentam de madeira já parcialmente ou intensamente apodrecida, de partes mortas de vegetais sobre o solo e de gramíneas (LELIS et al, 2001). A celulose é uma substância de difícil digestão para a maioria dos seres vivos, incluindo os cupins. Para torná-la assimilável para o organismo, são necessárias outras substâncias, enzimas celulolíticas, que a maioria dos cupins não tem ou não produz em quantidade suficiente. Contudo, a utilização da

celulose por esses insetos e possível devido à associação com microrganismos simbiotes, protozoários flagelados e bactérias, que vivem no seu trato digestivo e que realizam a totalidade ou a maior parte da digestão da celulose. Algumas espécies alimentam-se de vegetais parcialmente decompostos por fungos que eles cultivam em locais específicos do ninho, os chamados jardins de fungos (LELIS et al, 2001).

A sociedade das térmitas é formada por três castas: a dos reprodutores e outras duas formadas por indivíduos estéreis: a dos operários e a dos soldados [(LELIS et al, 2001); (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p42}; (BOTELHO JR., 2006); (BASTOS, 2011)]. Os soldados são ausentes em algumas espécies e em outras os operários são apenas funcionais, isto é, não constituem uma casta definida; as funções de operário são, nesses casos, realizadas por indivíduos da linha reprodutiva quando ainda imaturos, os chamados *pseudergates* (LELIS et al, 2001). Os reprodutores são as únicas formas aladas dos cupins. Eles aparecem periodicamente na colônia e são chamados de ninfas, quando ainda imaturos, e de siriris ou aleluias quando adultos. Prontos para a reprodução, eles abandonam o ninho, em revoada, para formar novas colônias [(LELIS et al, 2001); (BASTOS, 2011)]. Após o vôo, machos e fêmeas se encontram, pareiam e procuram um local para iniciar a colônia. A cópula ocorre somente após eles terem se instalado no local escolhido para a nova colônia. O casal fundador de uma colônia é chamado de casal primário ou real. Algumas espécies de térmitas podem desenvolver reprodutores de substituição quando o casal real, ou um dos seus membros, morre. Esses reprodutores desenvolvem-se geralmente a partir de ninfas (LELIS et al, 2001).

A Figura 3.13 apresenta o esquema generalizado do *Ciclo de Vida* desses insetos. Trata-se de um esquema largamente reproduzido em publicações, por ser bastante didático, contudo bem simplificado. Como esquema básico do *Ciclo de Vida* é válido para todas as térmitas, entretanto, a diferenciação de castas nesses insetos é muito mais complexa. Tomando como exemplo apenas a casta dos soldados, a formação desses indivíduos, cuja diferenciação passa, obrigatoriamente, pelo estágio de soldado-branco ou pré-soldado, não mostrado naquele esquema, implica em uma grande transformação, tanto na morfologia e fisiologia do inseto quanto no seu comportamento. Além disso, muito embora os soldados sejam, quase sempre, oriundos de operários, a diferenciação desses indivíduos não é igual entre as diferentes espécies. Por exemplo, em uma espécie onde os operários são todos, para ambos os sexos, de um só tipo morfológico (monomórficos), os soldados são, portanto, de ambos os sexos; em outra espécie onde os operários são, conforme o sexo, de dois tipos morfológicos (dimórficos) e os soldados se desenvolvem de apenas um dos tipos, todos esses soldados são, portanto, de

um único sexo. Há ainda outras situações além dessas, o que mostra que não há um modelo de diferenciação de castas que sirva para todas as térmitas (LELIS et al, 2001).

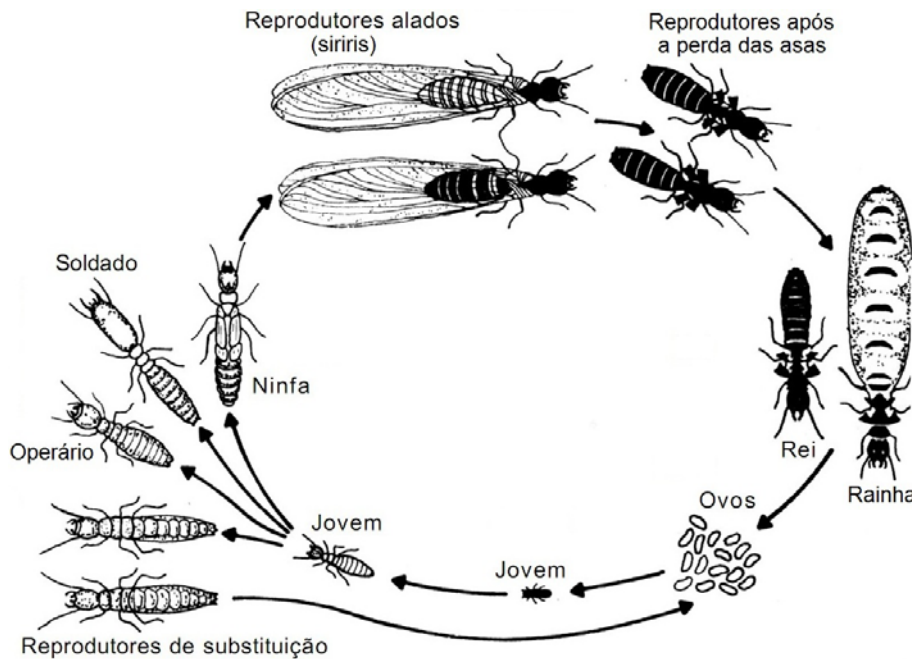


Figura 3.13. Esquema geral do ciclo de vida das térmitas (cupins). Fontes: KOFOID (1934), BERTI F. (1993), modificado em LELIS et al (2001) IPT.

Segundo Lelis et al (2001) a casta dos soldados é a responsável pela defesa da colônia (Figura 3.14). Para desempenhar essa função eles possuem uma cabeça mais resistente, mandíbulas robustas e/ou uma secreção que é lançada contra o inimigo, através de um orifício na região dorsal da cabeça. A casta dos operários é a categoria mais numerosa da sociedade (Figura 3.14), e são os responsáveis por todos os trabalhos da colônia, tais como: construção e reparos do ninho, bem como cuidado e alimentação dos jovens e das outras castas. São os operários, portanto, que atacam a madeira.

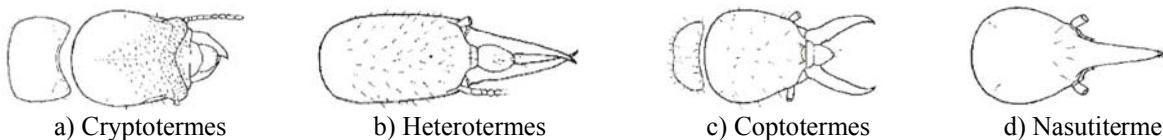


Figura 3.14. Características das cabeças de soldados de térmitas: vista superior. Fonte: CONSTANTINO (1998).

Segundo Ritter e Morrell (1990) as térmitas que atacam a madeira dividem-se em cinco famílias, no entanto considera as espécies de térmitas mais associadas a deteriorações na madeira são: as térmitas-de-madeira-seca; as térmitas-subterrâneas; e as térmitas-de-madeira-úmida.

Lelis et al (2001) descrevem que no Brasil, as térmitas *Termitoidaes* são encontradas pelo menos quatro famílias representativas distintas de cupins: *Kalotermitidae*, *Rhinotermitidae*,

Serritermitidae e Termitidae. No entanto, as térmitas são frequentemente agrupadas conforme seus hábitos de nidificação. Assim, Lelis et al (2001) descrevem que as térmitas são designadas em função do local onde a colônia se estabelece, denominadas em:

- ✓ Térmitas-de-madeira
 - Térmitas-de-madeira-seca [ingl.: Drywood Termites]: *Familia Kalotermitidae*
 - Térmitas-de-madeira-úmida [ingl.: Dampwood Termites]: Também da *Familia Kalotermitidae*:
- ✓ Térmitas-de-solo
 - Térmitas-subterrâneas [ingl.: Subterranean Termites]: *Familia Rhinotermitidae*
 - Térmitas-epígeos [ingl.: Higher Termites]: *Familia Termitidae*
- ✓ Térmitas-arborícolas.
 - Térmitas-arborícolas [ingl.: Higher Termites]: também da *Familia Termitidae*

Segundo Eleotério (2000)^{p18}, além das características morfológicas para a identificação até gênero, o padrão de arquitetura dos ninhos também tem auxiliado a sistemática visto que algumas espécies possuem padrões de construção bastante peculiares, que em conjunto com outras características, permitem a sua identificação com maior segurança. Lelis et al (2001) consideram cupins-de-madeira aqueles cuja colônia se desenvolve inteiramente dentro da madeira. Os representantes típicos desse grupo são os cupins da família Kalotermitidae. Suas colônias são pouco populosas, se comparadas com as outras famílias de cupins, não ultrapassando algumas centenas de indivíduos. O ataque desses cupins é facilmente reconhecido pelos resíduos (fezes), de forma bem característica, que lançam para fora da madeira atacada (Figura 21). Conforme o Teor de umidade da madeira, esses cupins são ainda divididos em cupins-madeira-seca e cupins-de-madeira-úmida. Já os cupins-de-solo como o próprio nome diz, esses cupins são aqueles que desenvolvem sua colônia no solo. Eles estão divididos em duas espécies, conforme o local onde sua colônia é estabelecida: cupins-subterrâneos e cupins-epígeos. Em ambos os casos, atingem a fonte de alimento através de túneis escavados no solo ou construídos sobre a sua superfície (LELIS et al, 2001). Outra maneira de detectar a existência de térmitas pode ser pela identificação de indivíduos alados, que poderão alertar para a presença de térmitas (MACHADO et al, 2009). Como também existem formigas aladas, o inspetor deve conhecer as características visuais, que são facilmente distinguíveis das térmitas. A presença das térmitas também pode ser verificada através da existência de grânulos resistentes no interior da madeira semelhante à massa de barro (SÁNCHEZ, 2001).

Os danos provocados pelas térmitas podem ser devastadores, podendo até levar os elementos de madeira ao colapso. Na grande maioria das vezes os danos não são visíveis externamente, e geralmente, quando são identificáveis, já estão situações de níveis de deterioração mais graves, como grandes perdas de seção, originando perda de capacidade resistente (MARTINS, 2009). Os túneis e/ou galerias formados pelas térmitas geralmente são construídas na direção paralela às fibras (Figura 3.15), ficando ocultos por uma fina camada de película de madeira muito superficial [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989); (ARRIAGA et al, 2002); (REGINATTO et al, 2004); (MACHADO et al, 2009); (MARTINS, 2009); (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p42}; (BASTOS, 2011)].

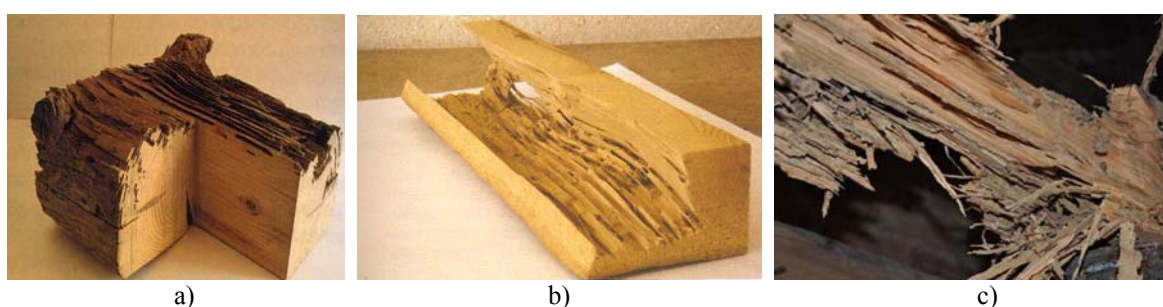


Figura 3.15. Características visuais de diagnóstico de deteriorações em madeira resultantes de ataque por térmitas: a) ataque externo, SÁNCHEZ (2001); b) ataque interno, ARRIAGA et al (2002); c) seção de viga de madeira quase completamente deteriorada por ataques de térmitas, LABERNIA (2010) *apud* VILCHES et al (2011).

Cruz (2011) descreve que a avaliação de seção residual no caso de ataques por térmitas-subterrâneas geralmente é mais complexa e difícil, dada à forma peculiar mais irregular como essas constroem as galerias internamente nos elementos de madeira, muitas vezes sem que se dê pelo ataque mais externo nas faces, na camada superficial, em estágios muito avançados de deterioração.

3.1.3.1.1 *Térmitas-de-madeira-seca*

Segundo Ritter e Morrell (1990), as térmitas-de-madeira-seca [ingl.: Drywood Termites], também conhecidas popularmente por cupins-de-madeira-seca, são da família *Kalotermitidae*, diferem dos cupins-subterrâneos e dos cupins-de-madeira-úmida na sua capacidade de atacar a madeira extremamente seca em torno de 5% a 6% de Teor de umidade. Os cupins de madeira seca atacam madeira que não estejam em contato com o solo e longe de qualquer fonte de umidade visíveis. A madeira deteriorada por esses cupins possuem em grande quantidade de túneis lisos livres de resíduos de excrementos ou detritos, que em avançado estágio de deterioração ficam ocultos por uma fina camada de película de madeira muito superficial (REGINATTO et al, 2004). Além disso, não existem variações no ataque entre

madeira de inverno e de verão. Os cupins de madeira seca, com frequência limpam seus ninhos pelos orifícios de aberturas até a superfície, arrastando os resíduos, para fora dos ninhos, e os rejeitam em pontos localizados, geralmente abaixo da madeira infestada. Embora estes orifícios sejam selados, segundo Arriaga et al (2002), a presença de resíduos de excrementos (fezes) com características visuais de grânulos ovalados, secos, (Figura 3.16), abaixo ou nas proximidades de um orifício de extravasão, evidenciam um bom sinal indicativo de madeira atacada por cupins em atividades, a ser observado durante inspeções. Há relatos em que o uso de fungicidas em caso de infestações tem sido eficaz. No entanto, são insetos resistentes que apresentam grande dificuldade de prevenção (RITTER; MORRELL, 1990).

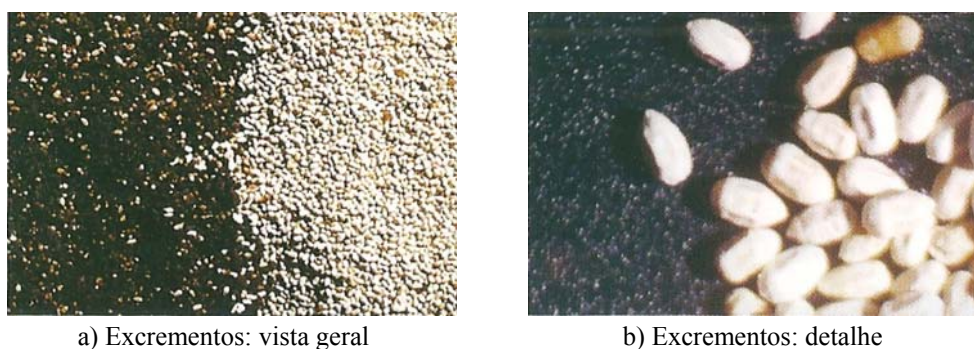


Figura 3.16. Características visuais de diagnóstico de resíduos de excrementos (fezes) em grânulos ovalados de cupins-de-madeira-seca: vista geral e detalhe. Fotos: Antônio Tadeu de Lelis e Sérgio Brazolin, em LELIS et al (2001) IPT.

Já Lelis et al (2001) consideram cupins-de-madeira-seca aqueles cuja colônia se desenvolve em madeiras com Teor de umidade abaixo de 30%, ou seja, nas condições normais do uso da madeira no Brasil, e o representante típico deste grupo é a espécie *Cryptotermes brevis*, espécie amplamente distribuída pelo mundo todo (Figuras 3.17 e 3.18) [(ELEOTÉRIO, 2000)^{p20}; (BOTELHO JR., 2006)]. E em geral, infestações os cupins-de-madeira-seca são encontradas em diversas áreas geográficas no Brasil.

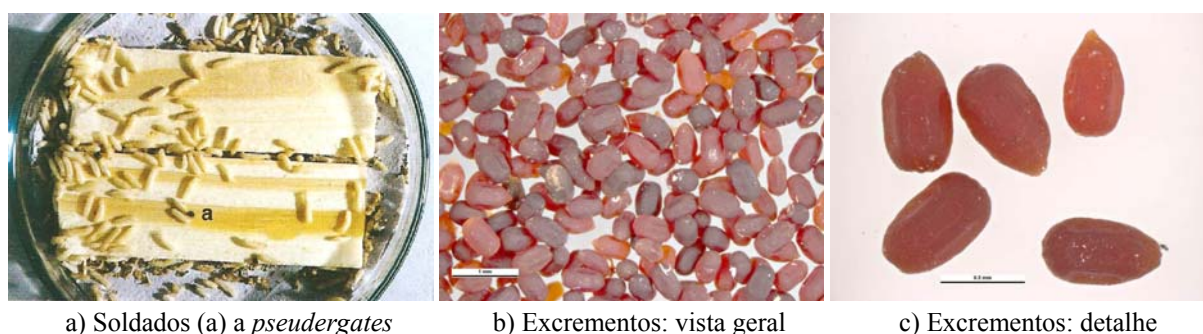


Figura 3.17. Características visuais de diagnóstico de térmitas isopteras da família *Kalotermitidae* grupo de espécie *Cryptotermes brevis*: Vista Geral. a) Foto: Álvaro C. Kopezynski em LELIS et al (2001) IPT; b) Fonte: WALKER (2006)



Figura 3.18. Características visuais de diagnóstico de térmitas isópteras da família *Kalotermitidae* grupo de espécie *Cryptotermes brevis*: vista detalhada. Traço escala 1 mm. Fonte: WALKER (2006)

3.1.3.1.2 *Térmitas-de-madeira-úmida*

As térmitas-de-madeira-úmida são também conhecidas popularmente no Brasil por cupins-de-madeira-úmida. Segundo Ritter e Morrell (1990) assim como os cupins-subterrâneos, as espécies de cupins-de-madeira-úmida [ingl.: dampwood termites] necessitam de material lenhoso com umidade muito saturada para sobrevivência, e seu ataque é frequentemente associado com o apodrecimento. Esses insetos podem causar problemas em madeiras recém-cortadas, postes, e toda a madeira não tratada em contato com o solo. Os túneis construídos pelos cupins-de-madeira-úmida são relativamente grandes, mas como as espécies de cupins-subterrâneos, tendem a evitar o ataque em madeiras de verão [ingl.: summerwood]. Os túneis geralmente contêm pequenas quantidades de resíduos com características visuais de grânulos ovalados (fezes), mas as madeiras aparentam mais limpas do que as atacadas pelas espécies de cupins-subterrâneos, e também eliminam os grânulos fecais para o exterior da madeira atacada (ELEOTÉRIO, 2000)^{p25}. O ataque de cupins-de-madeira-úmida pode ser impedido ou interrompido por remoção da fonte de umidade ou por utilização de madeira tratada com preservativos em situações que as peças de madeira estejam em contato com o solo. Já Lelis et al (2001) consideram as térmitas-de-madeira-úmida aquelas cujas colônias se desenvolvem em madeiras com teor de umidade mais elevado, acima de 30%. No Brasil, o gênero *Neotermes* (Figura 3.19), também da família *Kalotermitidae*, é um representante desse grupo; entretanto, não têm importância econômica, sendo mais frequentemente encontrados em partes já doentes de árvores vivas. Não é o caso, por exemplo, do gênero *Zootermopsis* da família *Termopsidae* (Figura 3.20), encontrado nos Estados Unidos, onde chega a causar danos importantes nas edificações.



a) Soldado (vista dorsal)

b) Soldado (vista lateral)

c) Alado (vista lateral)

Figura 3.19. Características visuais de diagnóstico de térmitas isópteras da família *Kalotermitidae* grupo de gênero *Neotermes insularis*: vista detalhada. Traço escala 1 mm. Fonte: WALKER (2006)



a) Soldado (vista dorsal)

b) Soldado (vista lateral)

c) Alado (vista lateral)

Figura 3.20. Características visuais de diagnóstico de térmitas isópteras da família *Termopsidae* grupo de gênero *Zootermopsis angusticollis* da Costa do Pacífico: vista detalhada. Traço escala 1 mm. Fonte: WALKER (2006)

3.1.3.1.3 *Térmitas-subterrâneas*

As térmitas-subterrâneas [ingl.: subterranean termites], popularmente conhecidas no Brasil por cupins-de-solo, são da família do *Rhinotermitidae* (ELEOTÉRIO, 2000)^{p27}. Segundo Ritter e Morrell (1990), nos Estados Unidos atacam praticamente todas as espécies de madeiras disponíveis. No entanto necessitam de fonte de umidade e constroem seus ninhos no solo [(ARRIAGA et al, 2002); (REGINATTO et al, 2004); (MACHADO et al, 2009)]. Esses cupins desenvolveram a capacidade de atacar a superfície da madeira, construindo túneis de barro (cavernas tubulares) para transportar a madeira, e para os protegerem da luz e da umidade [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989); (REGINATTO et al, 2004); (BOTELHO JR., 2006)]. O Brasil, por ser um país de clima tropical e umidade relativa do ar anual elevada, as térmitas-subterrâneas estão presentes em grande parte do território nacional. A madeira danificada por térmitas-subterrâneas apresentam inúmeros túneis em madeiras de primavera [ingl.: springwood], no entanto, não existem orifícios de saída para a superfície, que possam indicar a presença de térmita. Em vários casos, um toque acentuado com ferramenta pontiaguda na superfície da madeira irá revelar se a profundidade de ataque permanece apenas numa fina camada superficial de madeira, ou em regiões mais profundas. Os túneis de cupins-

de-solo são preenchidos com uma mistura de excrementos e detritos e têm uma aparência suja (Figuras 3.21; 3.24).

Segundo Ritter e Morrell (1990), uma variedade de térmitas-subterrâneas, conhecidos como cupins-de-formosa (*Coptotermes formosanus*) recentemente migraram para várias regiões do Sudeste dos Estados Unidos. A presença dessa espécie é motivo de preocupação em função de sua capacidade de atacar a madeira tratada com preservativo, e as grandes dimensões de suas colônias e seu hábito de nidificação, pode ocasionalmente ocorrer em madeira úmida fora do contato com o solo.

No entanto, nem todas as térmitas-subterrâneas são xilófagas, contudo, aquelas que se alimentam de madeira são consideradas como os que mais danos causam às edificações, Figura 3.21 (LELIS et al, 2001). Na linguagem aplicada, os cupins popularmente conhecidos como cupins-subterrâneos pertencem à família *Rhinotermitidae*. No Brasil são encontrados principalmente o cupim *Coptotermes havilandi*, espécie introduzida no país, proveniente do sudeste asiático, e espécies do gênero *Heterotermes*. Para fins práticos, a grande diferença entre esses dois gêneros é que o ninho de *Coptotermes* é uma estrutura bem definida, enquanto que o de *Heterotermes* é difuso, resumindo-se a um sistema de galerias no solo e nas madeiras. Muito embora sejam conhecidos como cupins-subterrâneos, esses cupins, pelo menos confirmado para *Coptotermes havilandi* podem estabelecer uma colônia fora do solo, geralmente em espaços perdidos das edificações, a condição em que haja água e alimento nas proximidades. Nas edificações, os cupins-subterrâneos utilizam os mais diversos espaços para atingir seu alimento e o ataque de uma colônia, portanto, atinge diferentes peças de madeira em diferentes pontos da edificação.



Figura 3.21. Cupins da espécie *Coptotermes havilandi* (*Rhinotermitidae coptotermitinae*): a) Grupo de operários e soldados; Fonte: COSTA-LEONARDO (2000) LELIS et al (2001) IPT. b) Madeira coberta por operários, soldados e, no centro, uma rainha primária não fisogástrica, provenientes de um ninho; c) Pré-soldado e um soldado. FERRAZ (2000) Apud LELIS et al (2001) IPT.

Segundo HADLINGTON (1987) apud WALKER (2005), para os cupins-subterrâneos da família *Rhinotermitidae coptotermitinae*, gênero *Coptotermes frenchi* (Figuras 3.22; 3.23;

3.24), a identificação de espécies é baseada no soldado, no entanto, deve ser feito por um especialista, pois os soldados possuem características variáveis que também devem ser baseadas na localidade, hábitos de nidificação e dimensões do soldado. Pode ser confundida com *Coptotermes acinaciformis* e *C. lacteus*. Distinguir as três espécies é uma tarefa difícil, por isso deve ser feito por e especialista. Como um guia, os soldados dos *Coptotermes acinaciformis* são maiores (5,0 - 6,5 mm + - 0,8 mm) do que soldados de *C. frenchi* (4,0 - 5,0 mm + - 0,4 mm) e *C. lacteus* (4,40 + - 0,4 mm). Assim como, a cabeça em vista dorsal para o *C. frenchi* e *C. lacteus* é "em forma de pera" em comparação com uma forma um pouco "retangular" para *C. acinaciformis*. Na Figuras 3.23 e 3.24 são apresentados características visuais de danos causados por cupins subterrâneos. Os inspetores devem observar a existência de excrementos (fezes) e acumulações de detritos nos túneis (Figura 3.24), para avaliar se essas espécies encontram-se em atividades.



Figura 3.22. Características visuais de diagnóstico de térmitas isópteras da família *Rhinotermitidae* *coptotermitinae*, gênero *Coptotermes frenchi*. Fonte: HADLINGTON (1987) apud WALKER (2005).



Figura 3.23. Características visuais de diagnóstico de térmitas-subterrâneas: a) esquema geral simplificado do sistema de habitat de colônia de térmitas-subterrâneas, BENNETT (2010). b) características visuais de peça de madeira deteriorada por térmitas-subterrâneas da família *Rhinotermitidae* *coptotermitinae*, gênero *Coptotermes frenchi*, HADLINGTON (1987) apud WALKER (2005).

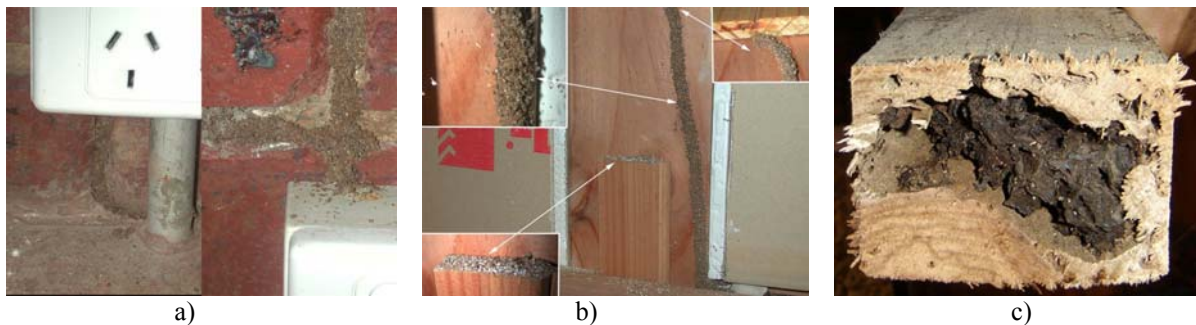


Figura 3.24. Características visuais de diagnóstico de túneis de solo de térmitas-subterrâneas: a) e b) família *Rhinotermitidae* *coptotermatinae*, gênero *Coptotermes frenchi*. Fonte: HADLINGTON (1987) apud WALKER (2005); c) deterioração interna na madeira por térmitas-subterrâneas, DRIEMEYER (2009)⁴⁵.

3.1.3.1.4 *Térmitas-epígeos*

Cupins-epígeos são aqueles cujos ninhos encontram-se no solo e parte dele aflora a superfície. No Brasil, as espécies que constroem esse tipo de ninho pertencem à família *Termitidae* e seus cupinzeiros são popularmente conhecidos como murunduns (Figura 3.25). Há espécies xilófagas e não xilófagas. No Brasil, os cupins mais conhecidos desse grupo, mas que não causam problemas às edificações são os pertencentes ao gênero *Cornitermes*, encontrados frequentemente em campos de pastagens (LELIS et al, 2001).

A título de curiosidade a Figura 3.25b retrata o cupinzeiro “*Cathedral termite mound*”, é uma colônia de cupins *Nasutitermes triodiae*, da família de *Termitidae* com aproximadamente 5 metros de altura e estima-se mais de 50 anos de existência, localizada no Litchfield National Park, território norte da Austrália, situada nas coordenadas GPS 12° 59' 29.14" S, 130° 34' 35.25" E.



a) Foto: OLIVEIRA (2013)



b) Foto: BREW (2009)

Figura 3.25. Características visuais de cupinzeiros de cupins-epígeos. a) cupinzeiro no pantanal do Brasil; b) colônia de cupins *Nasutitermes triodiae*, da família de *Termitidae*, “*Cathedral termite mound*” na Austrália.

3.1.3.1.5 *Térmitas-arborícolas*

Os chamados cupins-arborícolas são aqueles cujo ninho situa-se acima do solo, sobre algum suporte, geralmente uma árvore, por isso leva essa denominação (Figuras 3.26; 3.27)

[(AMARAL, 2002); (MENEGHETTI, 2003)]. Algumas espécies do gênero *Nasutitermes* (família *Termitidae*, subfamília *Nasutitermitinae*) frequentemente atacam madeiras de edificações no meio urbano e rural (LELIS et al, 2001). No meio urbano, os cupins-arborícolas podem ser encontrados também em pontos altos das edificações, como forros e estruturas de coberturas. A Figura 3.27a exemplifica um caso em que o ninho circunda um poste de madeira, e a umidade concentrada pode favorecer à biodeterioração por apodrecimento nessa região, como pode ser observado pela mancha com características visuais de fungo embolorador.

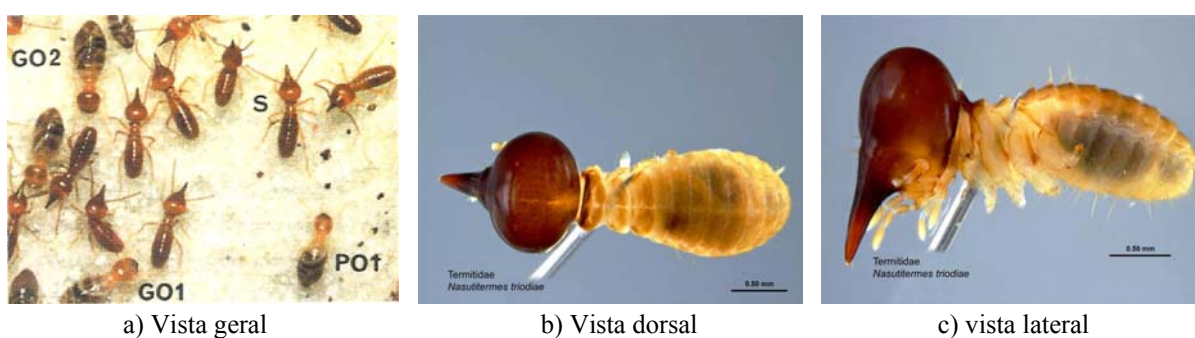


Figura 3.26. Características visuais de diagnóstico de cupins da Família *termitidae*: a) *Nasutitermes lujae*, *Termitidae nasutitermitinae*: PO1 - pequeno operário 1; CO1 - grande operário 1; GO2 - grande operário 2; S – soldado, Fonte: LEFEUVE (1991) apud LELIS et al (2001) IPT. b) e c) família *Termitidae* grupo de espécie *Nasutitermes triodiae*: vista detalhada. Traço escala 1 mm. Fonte: GIBSON e McCaffrey (2009).



a) Ninho cupins-epígeos



b) Ninho de cupins-arborícolas

Figura 3.27. Características visuais de cupinzeiros. a) Ninho cupins-epígeos (murundum) do *Comitermes sp.* (*Termitidae nasutitermitinae*), Foto: Arquivo IPT/DPF/APM apud LELIS et al (2001) IPT.; b) Ninho de cupins-arborícolas do *Nasutitermes Globiceps* (*Termitidae nasutitermitinae*); Foto: Antonio Tadeu de Lelis apud LELIS et al (2001) IPT. No entanto, os inspetores devem tomar devida atenção em ataques dessas térmitas em regiões de interface na linha de afloramento em bases de postes, por exemplo, pois com o aumento do Teor de umidade pode favorecer a biodeterioração por fungos apodrecedores.

3.1.3.2 Brocas-de-madeira

Sob a denominação popular de *brocas-de-madeira* [do português de Portugal: caruncho], encontra-se num grupo de insetos composto por milhares de espécies. As brocas-de-madeira são diferentes grupos de famílias pertencentes a ordem dos *Coleópteros* e representam a maior ordem entre os insetos, evidenciadas principalmente em nove famílias de besouros (*Anobiidae*; *Bostrichidae*; *Brentidae*; *Buprestidae*; *Cerambycidae*; *Lyctidae*; *Lymexylidae*; *Platypodidae*; *Scolytidae*) que podem causar danos substanciais à madeira. Diversas dessas famílias de brocas atacam apenas árvores vivas ou madeiras recém-cortadas. No entanto devem ser abordadas, pois segundo Ritter e Morrell (1990), suas cavidades e orifícios na madeira, quando detectados durante as inspeções, apresentam características visuais que geralmente podem ser confundidas com regiões de ataque de insetos em atividade.

O *Ciclo de Vida* de *brocas-de-madeira* se completa com uma metamorfose, composta pelos estágios de ovo, larva, pupa e adulto (Figura 3.28) [(RITTER; MORRELL, 1990); (RIDOUT, 1999); (LELIS et al, 2001)]. O ataque por *brocas-de-madeira* se inicia quando a fêmea adulta deposita seus ovos na madeira. Desses ovos eclodem as larvas que irão se alimentar daquele substrato ate atingirem a fase adulta. A fase larval é a mais longa da vida do inseto e a principal responsável pelos danos causados à madeira. Ao final da fase larval, o inseto inicia uma fase denominada *pupa*, onde ocorre a metamorfose, ou seja, a transformação em adulto. Uma vez transformados em adultos, Os insetos perfuram a madeira e saem para o meio externo. Fora da madeira, machos e fêmeas se encontram, acasalam, e as fêmeas voltam a depositar seus ovos na mesma peça de madeira ou em outra. De modo geral, a época em que os adultos saem da madeira é quando mais facilmente e percebido o ataque. Geralmente, nas proximidades de orifícios, encontram-se acúmulos de *pó-de-serragem*, também denominado *resíduo* ou *pó-de-broca*, que é resultante da escavação feita pelo adulto para sair da madeira [(LELIS et al, 2001); (PAYNE, 2006)].



Figura 3.28. Etapas do *ciclo de vida* de um Coleóptero: Fonte: ROSS (1965) apud LELIS et al (2001).

Desde a árvore viva até a madeira em uso, diferentes grupos de brocas atacam a madeira nas diferentes fases do seu beneficiamento. A respeito da enorme variedade de espécies, pode-se, de uma maneira prática, agrupar as brocas em quatro grandes grupos conforme seus hábitos, os quais estão estreitamente relacionados com o Teor de umidade da madeira e, portanto, com as fases de seu beneficiamento. Essa classificação simplificada considera o hábito mais frequente dentro de cada grupo, o que não exclui a ocorrência de brocas atacando madeiras em condição diferente daquela preferida pela maioria de seu grupo (LELIS et al, 2001).

As três principais famílias de brocas-de-madeira, que pretende-se aqui dar ênfase, são a *Anobiidae*, a *Bostrichidae*, e a *Lyctidae*. Esses insetos podem causar sérios danos na madeira seca e representam um problema particular em museus, onde artefatos de madeira podem passar despercebidos por longos períodos (RITTER; MORRELL, 1990). No campo, o *Anobiidae* e *Bostrichidae* atacam a madeira úmida de ramos mortos, mas também podem atacar madeiras de construção não tratadas. O dano é agravado por adultos emergentes que reinfestam a mesma peça de madeira. Os *Lyctidae* são encontrados em madeiras de lei em todo o planeta e madeira pode ser atacada em teores de umidade acima de 8%. Suas larvas atacam a madeira, formando uma série de pequenos túneis repletos de excrementos em pó (Figura 3.41). Tanto as larvas quanto os besouros empurram os excrementos para fora dos túneis na madeira. Como retiram as fezes sob a madeira afetada, em inspeções visuais, esse pode ser um bom sinal indicativo de infestação por essas brocas. A utilização de tratamentos com preservativos ou de selagem da superfície da madeira podem prevenir a infestação por brocas *Lyctidae*. Para os casos de estruturas de pontes, Ritter e Morrell (1990) consideram que o ataque por esses besouros podem tornar-se um problema em pontes mais antigas, construídas com madeiras não tratadas.

Para a avaliação de seção residual em casos de ataques por *brocas-de-madeira* Cruz (2011) descreve que a redução da resistência do elemento deriva de uma perda de seção, a qual se limita frequentemente à camada periférica do alburno, Figura 3.29. Muitas vezes de pequena espessura, cuja profundidade pode também ser averiguada com auxílio de técnicas não destrutivas. Em certos casos, isso permite assumir a mesma redução de seção para todos elementos da estrutura, e seguidamente realizar uma inspeção mais refinada de elementos especialmente mais deteriorados, ou cuja importância ou nível de risco o justifiquem. Nos casos de deteriorações por brocas grandes, Machado et al (2009) e Cruz (2009) descrevem que é possível ouvir o ruído característico das larvas alimentando-se da madeira. E em função da maior dimensão das larvas, pelo relativamente longo *ciclo de vida*, e ainda pelo fato de

atacar madeiras com grande porcentagem de alburno, geralmente suas infestações são consideradas com *alto nível de risco*.



a) deterioração por carunchos pequenos b) deterioração por carunchos grandes c) Seção residual

Figura 3.29. Características visuais de diagnóstico de deteriorações em madeira resultantes de ataque por brocas-de-madeira. Fontes: a) e b) MACHADO et al (2009), CRUZ (2009); c) E estimativa para a avaliação de seção residual da seção transversal proposto por CRUZ (2011).

3.1.3.2.1 Brocas que atacam a árvore viva

As brocas que atacam a árvore viva estão representadas particularmente por brocas da família *Cerambycidae*. A figura 3.30 apresenta características visuais de diagnóstico de madeira atacada por de broca *Cerambycidae*, *Saperda carcharias*. Entretanto, uma importante espécie dessa família, a *Hylotrupes bajulus*, ataca madeira seca e constitui-se em sérios problemas nos países do hemisfério norte. No Brasil, essa espécie é encontrada mais frequentemente nos Estados da Região Sul (Figura 3.31). Para os inspetores, o conhecimento dessas brocas é importante para casos de necessidade de realizar inspeções em árvores vivas em perímetros urbanos, a fim de garantir a segurança dos usuários (LELIS et al, 2001).



a) larva b) pupa c) jovem d) adulto e) dorsal ad. f) seção longitudinal. g) seção transversal

Figura 3.30. Características visuais de diagnóstico de madeira atacada por de broca *Cerambycidae*, *Saperda carcharias*, broca caulinar. Fontes: HROMÁDKO (2011); ATLAS of Insects. (1976); LELIS et al (2001).

No entanto, dos *Cerambycidae* os besouros longos hospedeiros [ingl.: long homed beetles] incluem uma série de deterioradores de madeira que geralmente têm antenas mais longas do que seus corpos, e atacam madeira sob todas as condições, dependendo da espécie, e podem

causar danos substanciais. Algumas espécies, como as brocas *Glycobius speciosus* e *Saperda calcarata say*, atacam apenas as árvores vivas, que acabam reduzindo o valor comercial da madeira. Outras espécies atacam peças recém-cortadas, e rapidamente degradam a madeira. Uma broca-de-madeira-verde agressiva na deterioração é a broca *Ergates spiculatus neomexicanus casey*, cujas larvas produzem túneis de quase uma polegada de diâmetro, e os besouros variam entre 45 mm a 60 mm de comprimento, com a uma forma de corpo alongado. Embora essa larva possa completar o seu desenvolvimento em madeira serrada, não reinfesta em madeira seca (RITTER; MORRELL, 1990).

Além dos besouros longos hospedeiros que atacam árvores vivas ou recém-abatidas, existem outras espécies de *Cerambycidae* que causam danos também na madeira em serviço [(RITTER; MORRELL, 1990); (BOTELHO JR., 2006)]. A broca *Parandra brunnea Saussure*, por exemplo, no passado, foi um hospedeiro comum em postes de madeira não tratadas, utilizados para linhas telefônicas nos Estados Unidos, e foi associada à deterioração interna extensa, no entanto, a utilização de madeira tratada com preservativo tem diminuído a incidência dessa espécie. Outra espécie a *Hylotrupes bajulus*, é uma das brocas de madeira mais destrutivas e prefere madeira de coníferas seca (Figura 3.31). As larvas medem entre 20 mm a 30 mm de comprimento (PRIETO et al, 2008)^{p26}. Segundo Ritter e Morrell (1990) a broca *Hylotrupes bajulus* foi relatada por causar danos a estruturas de madeira ao longo da costa sudeste dos Estados Unidos, no entanto não causou graves problemas em outras regiões. Geralmente, as infestações por essas brocas (escaravelhos) podem ser prevenidas utilizando madeira tratada com preservativos. No ataque por brocas grandes, é normal ouvir um barulho característico (roer) no interior da madeira devido à atividade da larva [(BOTELHO JR., 2006); (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p42}; (MACHADO et al, 2009); (CRUZ, 2009)].

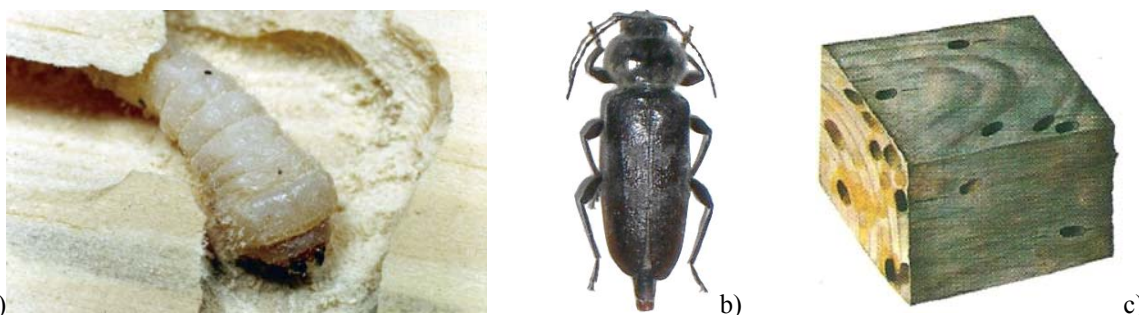


Figura 3.31. Características visuais de diagnóstico de ataque por *Cerambycidae*, *Hylotrupes bajulus*, broca-de-madeira-seca: a) larva, USDA (2002); a) adulto, VITALI (2014); c) características visuais de madeira atacada por *Hylotrupes bajulus*, ATLAS of Insects. (1976).



a) aspecto externo dos orifícios de saída

b) galerias em madeira degradada p/ *H. bajulus*

Figura 3.32. Características visuais de diagnóstico de madeira atacada por *Hylotrupes bajulus* (continuação).
Fonte: ARRIAGA et al (2002)

A *Buprestidae*, também denominada por broca-cabeça-chata [ingl.: flat-headed] ou brocas-metálicas-de-madeira [ingl.: metallic wood borers] é quase inteiramente dependente das árvores para completar seu ciclo de vida (KIMOTO; DUTHIE-HOLT, 2006). Essas brocas causam danos significativos atacando árvores vivas, deixando danos que possam ser evidentes em madeira ou outros produtos engenheirados de madeira. Os *Buprestidae* colocam seus ovos na superfície da casca ou em lesões nas árvores, e a eclosão das larvas penetram na madeira em diferentes profundidades. Ao longo de seu *ciclo de vida*, entre 1 e 3 anos, as larvas constroem túneis extensivos na madeira, deixando galerias hermeticamente acondicionadas com excrementos. As larvas em fase final da pupa e os adultos trituram o seu caminho através de um orifício de saída é ovalado em forma de “D”. Segundo Ritter e Morrell (1990), além das espécies que atacam as árvores vivas, uma espécie, a *Buprestid ouro* [ingl.: *Golden buprestid*] (*Buprestis aurulenta*), é capaz de atacar madeiras coníferas em serviço. A *Buprestis aurulenta* provoca sérios danos em postes, onde seu ataque está muitas vezes associado com extensa biodeterioração por apodrecimento (Figura 3.33). As larvas de *Buprestid Ouro* são extremamente resistentes a condições ambientais secas e se tem relatos de que essas colônias podem sobreviver em madeira seca por mais de 50 anos.

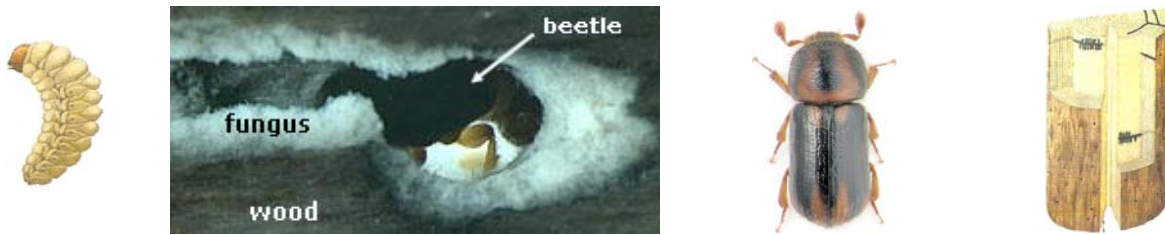
a) larva *Golden buprestid*a) besouro adulto *Golden buprestid*

Figura 3.33. Características visuais de diagnóstico de *Golden buprestid*: a) larva, JURC (2001); b) *Golden buprestid* adulto ao lado de um orifício de entrada na superfície. O túnel desses insetos em madeira de espécies ocidentais e são frequentemente associados com deteriorações internas, RITTER e MORRELL (1990).

3.1.3.2.2 Brocas que atacam a árvore recém-abatida

As árvores recém-abatidas, nessa etapa, a madeira contém ainda um elevado Teor de umidade e alguns grupos de brocas são particularmente atraídos pelas substâncias químicas liberadas pela madeira. São representantes típicos dessas brocas as famílias *Scolytidae* e *Platypodidae* (Figuras 3.34 e 3.36). A principal característica desse grupo é a associação de inúmeras espécies com fungos manchadores, por isso estão associadas a elevados Teores de Umidade na madeira.

O *Scolytidae* ataca seguido ao abate da madeira, enquanto a casca permanece intacta, produzindo orifícios e proporcionando um caminho propício ao início de ataque de fungos manchadores. Como resultado, a madeira perde suas características estéticas, e conseqüentemente diminui seu valor comercial. A maioria dos *Escolitídeos* estão confinados na camada cambial na madeira, e o dano é relativamente pequeno, no entanto, algumas espécies, tais como o *Escaravelho Ambrosia*, penetram em profundidades maiores e os adultos transportam os fungos manchadores para o interior da madeira (manchas esbranquiçadas na Figura 3.35). Os escaravelhos adultos perfuram a madeira para desovar e depositam uma pequena quantidade de material fúngico em cada ovo. O fungo cresce dentro da estrutura da madeira e as larvas consomem a madeira para obter a nutrição fúngica (Figura 3.35). Os Besouros ambrosia são de difícil controle. Embora a técnica de picoteamento e raspagem nas toras seja uma medida preventiva eficaz, as superfícies expostas ao ar ficam susceptíveis à reinfestação. A imediata remoção da casca parece ser a solução mais prática para a limitação dos danos causados por esse besouro, no entanto esse procedimento de remoção favorece mais rapidamente ao aparecimento de fungos manchadores e apodrecedores, a menos que a madeira seja rapidamente processada e seca (RITTER; MORRELL, 1990). Algumas dessas espécies de brocas atacam árvores vivas e, sendo os fungos prejudiciais à árvore, esses insetos são responsáveis por enormes danos, particularmente em florestas homogêneas (LELIS et al, 2001). As lesões em árvores vivas podem gerar regiões com infecção por fungos apodrecedores, resultando em deterioração e até a morte da árvore (PIERCE, 2013).



a) larva b) Fungo no interior da galeria c) adulto ~ 3,5mm comp. d) madeira atacada

Figura 3.34. Características visuais de diagnóstico de madeiras atacadas por de broca-de-madeira *Escolitídeo*, *Trypodendron lineatum*. Fontes: a) d) ATLAS of Insects... (1976); b) HULCR (2014); c) MAKAROV (2002).



a) ciclo de vida *Ambrosia*



b) Sinais de deteriorações na madeira seca

Figura 3.35. Características visuais de diagnóstico de deteriorações em madeira seca por *Escaravelho Ambrosia* de madeira verde. As galerias são livres de resíduos e a área do orifício da madeira circundante é manchada de escura manchada. Fontes: a) HULCR et al (2014); b) RITTER e MORRELL (1990).



a) Adulto: vista dorsal



b) Adulto: vista Lateral



c) Corte Longitudinal



d) Corte Transversal

Figura 3.36. Características visuais de diagnóstico de madeiras atacada por de broca-de-madeira *Coleoptera Curculionidae platypodinae Platypus cylindrus*. Escala 1mm. Fontes: a) b) WALKER, K. (2006); c) d) ATLAS of Insects (1976).



a) *Platypus* sp.: larva/pupa



b) *Parallelus*: vista dorsal



c) *Parallelus*: vista Lateral

Figura 3.37. Características visuais de diagnóstico de madeiras atacada por de broca-de-madeira: a) deterioração na madeira com larva e pupa *Platypus* sp., HULCR (2013); b) *Platypus parallelus*, HINKLEY E WALKER (2013). Escala 1mm.

Outras espécies que atacam toras de madeira recém-cortadas são as brocas *Brentidae* e a *Lymexylidae*. As larvas destes besouros constroem extensas galerias na madeira e causam redução considerável na qualidade da madeira serrada. Os efeitos da *Brentidae* e da *Lymexylidae* podem ser minimizados através da remoção de detritos de madeira, que serviriam áreas de reprodução, pela técnica de picoteamento e raspagem nas toras antes do processamento, ou no descasque das toras, logo no abate. Essa espécie não é capaz de sobreviver na madeira seca uma vez removida a casca, embora o dano não possa ser eliminado. Os danos superficiais causados por esses escaravelhos são geralmente estéticos, não afetando a resistência da madeira (RITTER; MORRELL, 1990).

3.1.3.2.3 Brocas *Bostrichidae* que infestam a madeira durante a secagem

A madeira em fase de secagem apresenta teores médios de umidade e o principal grupo de brocas que a infesta são os representantes da família *Bostrichidae* (Figura 3.38). Essas brocas, como também algumas espécies de *Cerambycidae*, podem completar seu desenvolvimento na madeira seca, na razão pela qual podem ser encontradas nas edificações (LELIS et al, 2001). A larva tem o corpo levemente em forma de C, na cor branca-amarelada e em média possuem entre 2 a 60 mm de comprimento. O adulto tem a forma tipicamente alongada cilíndrica e moderadamente convexa e levemente achatada (Figuras 3.38b; 3.38c). O tamanho varia de 2 a 50 mm de comprimento, mais menos do que 20 mm de largura (CLINE et al, 2011).

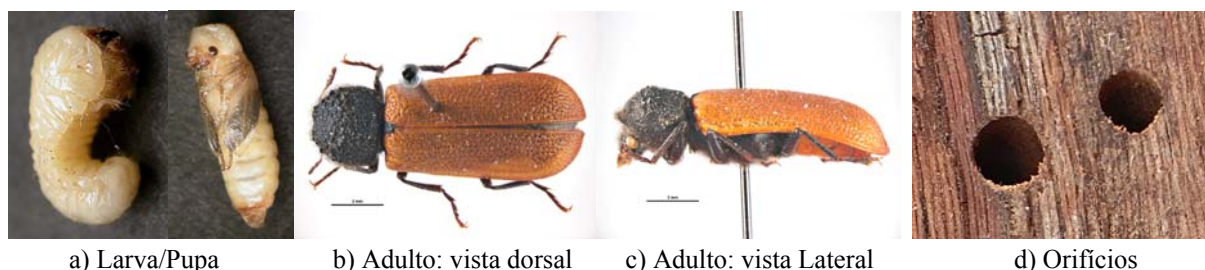


Figura 3.38. Características visuais de diagnóstico de madeiras atacada por de broca-de-madeira *Coleoptera Bostrichidae bostrichinae bostrichini bostrichus capucinus*. Escala 1mm. Fontes: a) REIBNITZ (2014), b) c) WALKER (2006), CYMOREK (1979).

3.1.3.2.4 Brocas-de-madeira-seca *Anobiidae* e *Lyctidae*

A madeira seca, aqui considerada como aquela que apresenta teor de umidade abaixo de 30%, que é a condição da maioria das madeiras em uso pelo homem. No entanto, além de atacarem madeiras úmidas, os insetos das famílias *Anobiidae* e *Lyctidae* são as principais brocas que atacam madeiras secas. Esses dois grupos de brocas por serem eles os mais frequentemente encontrados nas edificações, serão tratados aqui com mais detalhes.

Os besouros da família Anobiidae apresentam hábitos alimentares variados, podendo atacar sementes e caules de várias plantas, produtos manufaturados de origem vegetal ou animal, madeira, livros, etc. Espécies dos gêneros *Anobium* [(BOTELHO JR, 2006); (BASTOS, 2011)] (Figura 3.39) e *Trycorinus* são os representantes mais frequentemente encontrados atacando madeiras, enquanto que em livros e outros materiais gráficos são encontradas principalmente brocas dos gêneros *Falsogastrallus* e *Trycorinus* (LELIS et al, 2001). As características visuais de diagnóstico de madeira atacada por Anobiidae são apresentadas na Figura 3.40.



a) larva

b) jovem: vista Lateral

c) adulto: vista dorsal

Figura 3.39. Características visuais de diagnóstico de *Anobiidae*, *Anobium punctatum*. Escala 1mm. Fontes: a) larvas possuem entre 4 e 6 mm, PRIETO et al (2008)^{p22}; b) O adulto possui ente 3 a 4mm de comprimento. MARRIS (2013), CLUNIE (2014) HICKIN (1968); c) BORGES (2008).



a) madeira deterioradas

b) galerias e orifícios

c) resíduo (fibras de serragem)

Figura 3.40. Características visuais de diagnóstico de madeira atacada por *Anobiidae*. Fonte: ARRIAGA et al (2002)

Para depositar os ovos, a fêmea desses insetos procura geralmente na madeira bruta, não polida, pequenas frestas ou antigos orifícios de emergência, ou ainda substratos relativamente moles ou felpudos (MARYNOWICZ, 2008). A fêmea deposita, em média, 30 ovos, e as larvas eclodem entre 14 e 18 dias. A fase larval dura aproximadamente um ano, a de pupa, cerca de três semanas e a fase adulta, em torno de um mês.

Dentre as espécies xilófagas há algumas que preferem madeiras antigas, razão pela qual são frequentemente encontradas atacando acervos de museus. As razões para essa preferência não estão de todo esclarecidas, havendo fortes indícios de que, com o passar do tempo, a madeira, modificando-se quimicamente, torna-se, menos repelente ou mais atrativa, para esses insetos.

Diferentemente dos *Anobídeos*, a família *Lyctidae* é essencialmente xilófaga. O amido, principal fonte de alimento desses insetos, é encontrado principalmente na região de alburno de madeiras do grupo das folhosas (dicotiledôneas). Madeiras ricas em amido, como é o caso da virola (*Virola sp.*, família *Myristicaceae*), são preferidas pelos *Lictídeos* (LELIS et al, 2001). Dentre as brocas-de-madeira, Os lictídeos são os que toleram Os mais baixos teores de umidade, tendo sido registrada sua presença em madeiras com umidade de 7%.

As espécies de Lictídeos mais frequentes no Brasil são as dos géneros *Lyctus* e *Minthea* (Figura 3.41). O ataque de lictídeos é facilmente reconhecido pelo resíduo muito fino, semelhante a talco, que é expelido pelo orifício de emergência do adulto. A fêmea deposita os ovos no lume dos vasos da madeira, que antes é testada quanto à quantidade de amido. Portanto, a quantidade de amido, o número de vasos e o diâmetro do lume são fatores fundamentais para determinar a susceptibilidade de uma madeira ao ataque de *Lictídeos* (LELIS et al, 2001).

A duração do ciclo de vida é muito variável. Em condições favoráveis de temperatura, umidade e qualidade nutritiva da madeira, o ciclo de vida pode ser apenas de quatro meses.

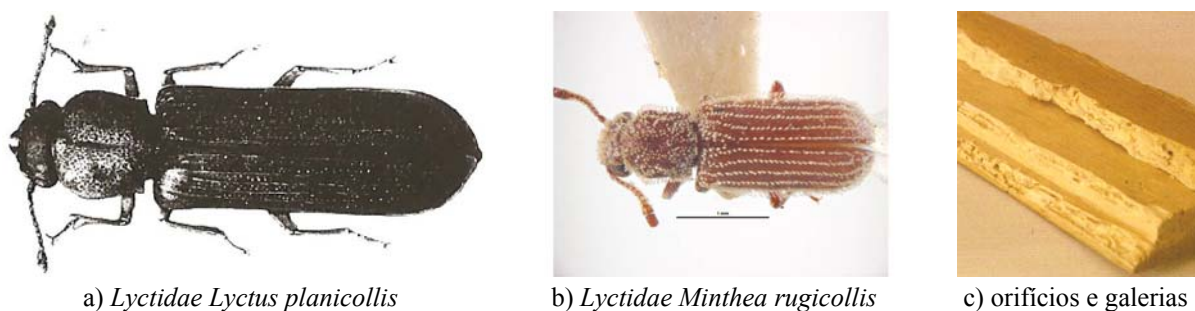


Figura 3.41. Características visuais de diagnóstico de madeira atacada por *Lyctidae*: a) *Lyctidae lyctus planicollis*, GERBERQ (1957), LELIS et al (2001); b) *Lyctidae minthea rugicollis*, WALKER, K. (2005); c) Características visuais de orifícios e galerias em madeira deteriorada por *Lyctidae* ARRIAGA et al (2002).

3.1.3.3 Formigas, abelhas e vespas



As Formigas, abelhas e vespas são coletivamente incluídas na ordem *Hymenoptera*. Vários elementos insetos dessa ordem podem atacar a madeira, no entanto, as discussões aqui são limitadas às formigas-carpinteiras e abelhas-carpinteiras, em função desses dois grupos atacarem madeiras em serviço.

3.1.3.3.1 Formigas-carpinteiras

As formigas-carpinteiras [ingl.: carpenter ants] (*Formicidae*) diferem dos insetos previamente discutidos, porque esses insetos usam a madeira para abrigos ao invés de alimentos [(RITTER; MORRELL, 1990); (HIGHLEY, 1999)^{p13-13}; (ELEOTÉRIO, 2000)^{p33};

(SHUPE et al, 2008)^{p11}; (CLAUSEN, 2010)^{p14-13}]. São insetos sociais com uma organização complexa que gira em torno de uma rainha. Para sustentar a colônia e criar operários, as formigas-carpinteiras jovens devastam grandes distâncias no ninho para obter alimento, que podem consistir de secreções de insetos, insetos, e alimentos com fonte de açúcares. À medida que a colônia da rainha original cresce, com os seus eventuais 100.000 elementos, os operários ampliam gradualmente o ninho, causando danos graves internos na madeira. Muitas colônias preferem habitar em madeiras acima do ponto de saturação das fibras e estão frequentemente associadas ao apodrecimento interno (RITTER; MORRELL, 1990). A madeira deteriorada por formigas-carpinteiras é caracterizada pela presença de túneis limpos, isentos de excrementos, que são essencialmente limitados ao lenho inicial macio, e se estendem paralelamente ao longo das fibras (Figura 3.43c) [(RITTER; MORRELL, 1990); (SHUPE et al, 2008)^{p11}]. À medida que os operários atacam a madeira, retiram grande quantidade de excrementos fibrosos, depositando-os na base da peça atacada. Esses excrementos depositados podem fornecer um sinal facilmente identificável como indicativo de infestação. As formigas-carpinteiras são frequentemente confundidas com os térmitas (cupins), no entanto existem vários métodos fáceis para distinguir os ataques entre essas duas espécies (Tabela 3.2).

Tabela 3.2. Características de diferenciação entre térmitas e formigas- carpinteira.

Características	Térmita	Formiga-carpinteira
Alado	 2 pares de asas de tamanhos iguais	 2 pares de asas de tamanhos desiguais
Segmentos corporais	Tamanho igual, sem constrições	Tamanho variável, com constrições.
Antenas	Levemente arqueadas	Cotoveladas
Operários adultos	Coloração creme Raramente é visto fora do ninho	Coloração escura Pode ser visto frequentemente fora do ninho
Cintura	Larga	Estreita
Fonte de alimento	Digerem madeira.	Digerem açúcares e outros insetos
Danos na madeira	Galerias com excrementos	Galerias sem excrementos

As formigas carpinteiras normalmente atacam as madeiras não tratadas, existindo uma preferência por madeiras macias, ou por madeiras previamente atacadas por fungos apodrecedores. As infestações de determinadas espécies podem ocorrer em árvores recém-abatidas, em postes danificados, em árvores vivas, em troncos, e em madeira estrutural no interior de edificações (MARTINS, 2009).



a) Formiga-carpinteira alada fêmea b) Formiga-carpinteira operária c) Aspecto dos resíduos
 Figura 3.42. Características visuais de diagnóstico de formigas-carpinteiras. Fonte: OGG (2014).



a) Formigas-carpinteiras operárias b) Tronco de árvore deteriorado c) Aspectos visuais
 Figura 3.43. Características visuais de diagnóstico de galerias e danos provocados por formigas-carpinteiras. Fontes: SCHARF (2007), MARTINS (2009).

Atualmente, estima-se que existam cerca de 18.000 espécies de formigas no mundo, sendo que o Brasil apresenta 2.000 espécies identificadas e, destas, somente 1% é considerada praga, sendo cerca de 50 espécies adaptadas ao ambiente urbano. As espécies do gênero *Camponotus* ssp., de hábito normalmente noturno (com exceções), geralmente fazem ninhos em cavidades no solo, madeiramentos, árvores vivas ou mortas, atrás de batentes de janelas ou portas, vigamentos de telhado, rodapés, assoalhos, fendas em paredes, dentro de gavetas e forros de madeira, possuindo ninhos satélites ou secundários, ligados ao ninho principal. As espécies mais comuns em território nacional são *Camponotus atriceps* (*C. abdominalis*), *C. rassus*, *C. rufipes*, *C. arboreus*, e *C. fuscocinctus*. Entretanto, as espécies de *Camponotus* mais encontradas na arborização urbana em São Paulo são *C. atriceps*, *C. crassus*, *C. rufipes*, *C. sericeiventris* e *C. rengerii* (ZORZENON et al, 2011).

As formigas carpinteiras de um modo geral nidificam (formam ninhos) nos mais variados ambientes, colonizando galhos e troncos de árvores vivas ou mortas, solo, cupinzeiros abandonados, madeiramentos em decomposição e de construção de casas, praticamente em todos os materiais fabricados em madeira (ZORZENON et al, 2011). Apesar da escavação de madeiramentos ou aproveitamento de aberturas existentes nelas para o feitiço dos ninhos, essas formigas não se alimentam de celulose, procurando preferencialmente por substâncias contendo carboidratos (açúcares, néctar, etc.) podendo muitas vezes interagir mutualisticamente com cochonilhas, pulgões e cigarrinhas a procura de substâncias

adocicadas secretadas por insetos sugadores), proteínas (insetos, aves mortas, etc.), gorduras, dentre outros alimentos (ZORZENON et al, 2011). Uma pesquisa realizada pelo Instituto Biológico em área na cidade de São Paulo, durante 8 anos, em mais de 1.600 árvores viárias de 52 espécies diferentes, identificou espécies nativas e exóticas de maior e menor susceptibilidade à infestação por formigas carpinteiras (ZORZENON et al, 2011).

3.1.3.3.2 Abelhas-carpinteiras

Assim como as formigas-carpinteiras, as abelhas-carpinteiras [ingl.: Carpenter Bees] utilizam a madeira apenas para abrigo e ninho. Para isso, as abelhas-carpinteiras (*Xylocopa* sp.) constroem túneis paralelos às fibras, principalmente em espécies de madeiras coníferas, abrindo galerias entre 13 cm a 45 cm de profundidade por 0,7 cm a 1,3 cm de diâmetro (Figura 3.44), podendo ter ramificações (MARTINS, 2009). As abelhas-carpinteiras são notavelmente semelhantes aos zangãos, porém com uma leve diferenciação na coloração. Ataques por esses insetos são raros, mas segundo Ritter e Morrell (1990), quando a infestação ocorre, os danos podem ser graves. Os adultos desses insetos depositam seus ovos em galerias (túneis) internas na madeira e em células individuais, abastecidas com alimento para criação das larvas em crescimento. Os adultos podem emergir e reinfestar a madeira. Ritter e Morrell (1990) relatam que esses insetos também podem atacar madeiras tratadas com retenções inorgânicas a base de arsênio em regiões de interface na linha de afloramento acima do solo.

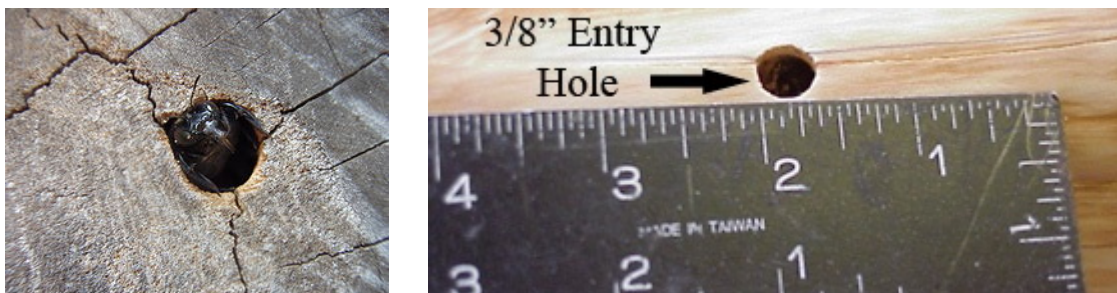


Figura 3.44. Os diâmetros de orifícios abelha-carpinteira variam entre de 0,7cm a 1,5cm. Fonte: MARTINS (2009)



Figura 3.45. Características visuais de Orifícios de abelhas-carpinteira e aberturas de galerias (Túneis) paralelas às fibras produzidas por ataque abelhas-carpinteiras, ATM (2010).

Conforme citado em Marchi e Alves-dos-Santos (2013) as abelhas-carpinteiras do gênero *Xylocopa latreille*, conhecidas popularmente no Brasil como mamangavas, estão presentes na maioria dos continentes, predominantemente nos trópicos, subtropicais e nas áreas mais quentes das regiões temperadas (HURD; MOURE, 1963) e são conhecidas mais de 700 espécies, das quais 50 ocorrem no Brasil [(HURD, 1978); (SILVEIRA et al, 2002); (MOURE, 2008)]. De acordo com Schrottky (1902) a esse gênero pertencem as máximas abelhas, pois são abelhas grandes e robustas, como se trata do único gênero da *Xylocopini* [(SILVEIRA et al, 2002); (MICHENER, 2007)]. A maioria das espécies é solitária ou facultativamente social e constroem ninhos em madeira morta, ramos ou em cavidades de bambu, frequentemente agregados [(HURD; MOURE, 1963); (SAKAGAMI; LAROCA, 1971); (CAMILLO; GARÓFALO, 1982); (CAMILLO et al, 1986); (GERLING et al, 1989); (MARCHI; MELO, 2010); (PEREIRA; GARÓFALO, 2010)]. Algumas espécies também nidificam em escapos florais e outras partes vivas de árvores [(HURD, 1978); (SILVEIRA, 2002); (VIANA et al, 2002); (RAMALHO et al, 2004)].

Marchi e Alves-dos-Santos (2013) ainda descreveram que a *Xylocopa (Neoxylocopa) augusti* é um exemplo de abelha-carpinteira que nidificam em madeira morta ou em ramos secos de árvores vivas. De acordo com Hurd e Moure (1963), exibem certa preferência por mourões de cercas. Um ninho de *X. augusti* foi encontrado num mesmo tronco contendo ninhos ativos de *X. frontalis* e *X. hisurtissima* (HURD; MOURE, 1961). Sakagami e Laroca (1971) descreveram a arquitetura dos ninhos desta espécie e observaram que as fêmeas fecham a entrada dos seus ninhos com seu metassoma quando perturbadas, assim como *X. frontalis* e *X. grisescens*. Marchi e Alves-dos-Santos (2013) registraram as principais espécies de abelhas-carpinteiras *Xylocopa* no Estado de São Paulo.



Figura 3.46. Características visuais de diagnóstico de abelhas-carpinteiras: a) os danos por abelhas-carpinteiras em madeira podem ser graves, quando ocorrem infestações. Essas abelhas constroem túneis longos de grandes diâmetros paralelos às fibras para depositar seus ovos, e podem resultar em perdas significativas de área de seção transversal; b) larvas e pupa, KAAE (2013); c) abelha-carpinteira adulta, MARTINS (2009).

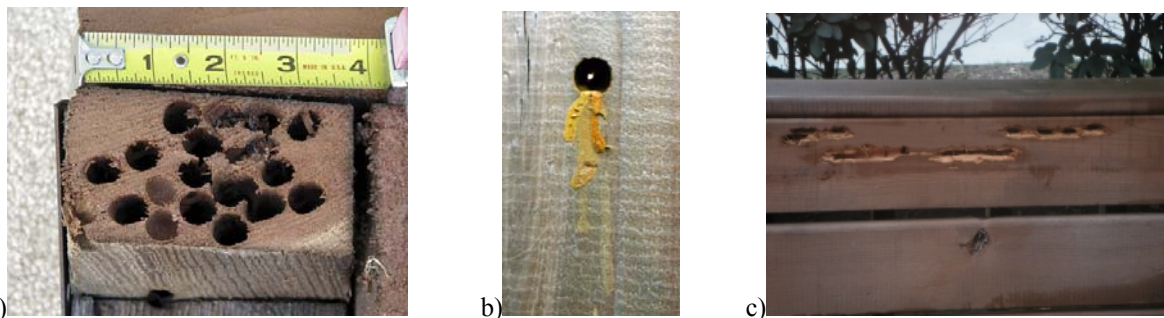


Figura 3.47. Características visuais para identificação de ataque de abelhas-carpinteiras: a) orifícios internos na madeira; b) orifício e excrementos fecais de abelhas carpinteiras em pilar de madeira. Foto: TOBYOTTER; c) aspectos visuais deterioração externa em viga após ataque de abelhas-carpinteiras e com aberturas na madeira por pássaro pica-pau para capturar a larva, GIBB (2010).

Segundo Marchi e Alves-dos-Santos (2013) os ninhos da espécie *Xylocopa (Neoxylocopa) brasilianorum* ocorrem em madeira morta. Uma descrição precisa da arquitetura do ninho foi apresentada por Sakagami e Laroca (1971). Em Morretes, Paraná, fêmeas de *X. brasilianorum* construíram ninhos entre dezembro de 2006 e fevereiro de 2007. A maioria dos ninhos se encontrava na parte inferior do substrato e apresentaram o orifício de entrada em torno de 110 mm. Neste local, fêmeas de *X. frontalis* utilizaram o início de escavação de *X. brasilianorum*. Um dos ninhos foi fundado em um ramo seco de araucária próximo a uma agregação de ninhos de *X. frontalis*. Já o hábito de nidificação de *X. suspecta* foi estudado na região de Ribeirão Preto [(CAMILLO; GARÓFALO, 1982); (GERLING et al, 1989); (CAMILLO et al, 1986); (PEREIRA, 2002); (CAMILLO, 2003)]. Assim como para *X. grisea* e *X. frontalis*, as fêmeas de *X. suspecta* utilizam bambus além de madeira morta e seca, como substrato para nidificação, sem especificidade em relação ao substrato utilizado. O diâmetro da entrada dos ninhos variou de 10 a 12 mm [(CAMILLO, 2003); (PEREIRA; GARÓFALO, 2010)].

3.1.4 Perfuradores marinhos

Quando as subestruturas de madeira estão localizadas em águas salgadas ou salobras, geralmente podem ocorrer danos graves com ataques e infestações de perfuradores marinhos também conhecidos por brocas marinhas [ingl.: marine borers] [(RITTER; MORRELL, 1990); (ARRIAGA et al, 2002); (SHUPE et al, 2008); (PRIETO et al, 2008); (DRIEMEYER, 2009); (BRANCO et al, 2012)]. Os principais perfuradores marinhos que causam danos na madeira são classificados em pelo menos três grupos com base na sua morfologia e padrão de ataque de madeira (Figura 13-15): *Teredinidae* [ingl.: shipworms], *Pholadidae* e *Limnoria*. Ritter e Morrell (1990) descreveram que coletivamente, esses organismos causam mais de US \$ 250 milhões em danos anuais, mas seu dano é muitas vezes deixado de lado, pois geralmente ocorrem em áreas isoladas durante períodos de tempo relativamente longos. As

impressionantes perdas a curto prazo, tais como a perda de US \$ 25 milhões na Baía de São Francisco durante a década de 1920, evidenciaram a importância de pesquisas desses organismos em ambientes marinhos e estimulou o interesse no seu controle, Hill e Kofoid (1927) apud Ritter e Morrell (1990). Thompson et al (2007) descrevem que diversos perfuradores-marinhos, inclusive o teredo do Atlântico (*Teredo navalis*), introduzido em 1913 pelas embarcações, resultou em 3,1 bilhões dólares (em dólares de hoje) em danos a estruturas de madeira na Baía de São Francisco entre 1919 e 1921 (Figura 3.48).



Figura 3.48. Danos causados por perfuradores marinhos em estruturas de madeira na Baía de São Francisco entre 1919 e 1921. Fonte: THOMPSON et al (2007)

3.1.4.1 Teredinidae

Os *Teredinidae* [ingl.: shipworms] são espécies de moluscos vermiformes longos, denominados popularmente por teredos, que causam danos no interior de madeira submersa, e evidenciam apenas em um pequeno orifício na superfície como indício de seu ataque [RITTER; MORRELL, 1990]; (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p44}]. Como os *Pholadidae*, o “Ciclo de Vida” inicial dos teredos são originários de pequenas larvas nadadoras, que posteriormente se estabelecem na fase da vida sedentária de habitar no interior de madeiras submersas, tais como estacas, troncos, cascos de embarcações de madeira. Segundo, no período de 1700, os capitães de navios de exploração, quando detectavam essa fase do ciclo de vida de teredos nos cascos, navegavam com seus navios de madeira infestados em águas de rio de água doce, pois os teredos aderentes à madeira se desprendem com a falta de salinidade (RITTER; MORRELL, 1990).

Segundo Rosenberg (2010), possivelmente a origem dos *Teredos Navalis* foi no nordeste do Oceano Atlântico, no entanto não é fácil de estabelecê-la, pois são comumente encontrados ao longo das costas na grande maioria dos continentes. Ritter e Morrell (1990) destacam duas principais espécies de teredo [ingl.: shipworms]: o *Teredo navalis* e o *Bankia setacea*. Essas espécies diferem em sua morfologia, os *Teredos navalis* podem medir na idade adulta entre 9 cm a 18 cm de comprimento e 1,3 cm de diâmetro, já os *Bankia setacea* podem medir entre

59 cm a 71 cm de comprimento e 2 cm de diâmetro. Geralmente, o *Teredo navalis* tem uma maior tolerância à baixa salinidade e podem sobreviver mais a montante em diversos estuários, enquanto o *Bankia setacea* é mais resistente às variações de temperaturas.

Os teredos se instalam na madeira, a partir do topo de suas cabeças, que possuem duas pequenas conchas rígidas, utilizadas para raspar a madeira, construindo túneis com um revestimento branco característico (Figura 3.49). Os teredos alargam gradualmente o diâmetro do túnel no interior da madeira, mas o orifício inicial de entrada, raramente é superior a 1,5 mm de diâmetro. Para segurança de sua toca na madeira, os teredos estendem seus pares de sífões na água circundante. Estes sífões funcionam como troca de nutrientes, oxigenação, e excreção de dejetos. A qualquer sinal de perigo, os sífões são retraídos e o orifício de superfície é coberto por uma concha protetora rígida, que abriga o molusco contra ataques. Essa concha oferece também a condição de sobrevivência para os teredos por um período de 7 a 10 dias, em situações da madeira exposta fora da água. A pequena dimensão do orifício na superfície e a presença da concha torna a detecção da intensidade do ataque de teredos interno na madeira, pouco confiáveis em inspeções visuais, no entanto, detecções acústicas oferecem perspectivas para as detecções de infestações antes da ocorrência de danos substanciais (RITTER; MORRELL, 1990). As características visuais de diagnóstico de danos internos na madeira causada por teredos são apresentadas nas Figuras 3.49; 3.50.



Figura 3.49. Características visuais de diagnóstico de teredos: orifícios, túneis, carcaças. Os túneis estendem-se por toda a seção transversal e são geralmente cobertos com carcaças brancas de cálcio.

Fontes: USDA/APHIS (2011), IFAÖ (2009), MARTINS (2009).



Figura 3.50. Características visuais de diagnóstico de danos internos na madeira causada por teredos.
Fontes: IFAÖ (2009), WARREN apud MARTINS (2009).

3.1.4.2 Pholadidae

Pholadidae são espécies de moluscos de água salgada [ingl.: clamlike] que perfuram a madeira, utilizando-a como abrigo e filtram o alimento da água circundante [(RITTER; MORRELL, 1990); (LEAL, 2011); (WOOSTER, 2009)]. O *ciclo de vida* inicia como pequenas larvas, que nadam livremente, até aderirem em superfícies de madeiras adequadas, que se estabelecerem permanentemente na madeira. Os *Pholadidae* crescem até aproximadamente 2,5 centímetros de comprimento e deixam um orifício de entrada na superfície de madeira de aproximadamente 6 mm de diâmetro. Como os *Pholadidae* penetram internamente em orifícios na madeira, as superfícies da madeira eventualmente enfraquecem e tendem a romper com as ações frequentes das ondas. Os danos internos geralmente são identificáveis pelas características visuais de perfurações dos orifícios em forma de pêra (Figuras 3.51 e 3.52). Eventualmente, a área da seção transversal da peça de madeira diminui, favorecendo a um ponto crítico de falha. A espécie, *Martesia striata*, causa grandes danos à madeira em regiões com classes de agressividade de ambientes marinhos tropicais. O ataque pode ser evitado com tratamento da madeira com óleo creosoto, no entanto, outros organismos biodeterioradores da madeira, em ambientes tropicais são resistentes ao tratamento com óleo creosoto, assim, Ritter e Morrell (1990) recomendam um tratamento duplo com óleo creosoto e com arsênico inorgânico [ingl.: waterborne]. *Certas espécies de Pholadidaes perfuradores de rochas também causam danos às estruturas de concreto.*



a) *Pholadidae Martesia striata* adulto ~ 65 mm b) *Pholadidae Martesia cuneiformis* adulto ~ 18 mm
 Figura 3.51. Características visuais de diagnóstico de ataque por *Pholadidae*. Fotos: LEAL (2011).



Figura 3.52. Características visuais de diagnóstico de danos madeira interna causada por *Pholadidae*. Esses perfuradores-marinhos geralmente entocam em camadas na superfície da madeira e são caracterizados por perfurações em forma de pêra, RITTER e MORRELL (1990). Foto: WOOSTER (2009).

3.1.4.3 Limnoria

Limnoria, *Gribbles*, conhecidos popularmente como piolhos do mar (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p44}, são crustáceos móveis que diferem dos teredos e dos *Pholadidae* na sua capacidade de locomover-se de um pedaço de madeira para outro durante o seu *ciclo de vida* [(RITTER; MORRELL, 1990); (MARTINS, 2009)]. Existem pelo menos 20 espécies *Limnoria* que atacam a madeira em águas marinhas. Segundo Ritter e Morrell (1990) duas dessas espécies são capazes de atacar apenas a madeira não tratada, mas as outras espécies, como a *Limnoria tripunctata*, ataca madeira tratada com óleo creosote, como foi detectado em águas no sul de San Francisco, na costa oeste, e em toda a costa leste dos Estados Unidos. Exemplos da espécie foram removidos madeira tratada com óleo creosote e o preservativo pôde literalmente ser expelido de seus corpos, que continuavam atacando a madeira. Essa notável resistência tem deixado pesquisadores fascinados e ao mesmo tempo frustrados, no intuito de desenvolver uma explicação plausível para esse fenômeno. As *Limnorias* causam danos na madeira com perfurações de túneis de pequeno diâmetro com aproximadamente 3 mm, em regiões superficiais na madeira. Embora o dano aparentemente seja mínimo, a remoção contínua de camadas de madeira enfraquecida pelas ações das ondas expõem continuamente as camadas sucessivas da madeira ao ataque. A área da seção transversal do

elemento pode ser reduzida eventualmente a tal ponto em que a estrutura deteriorada deva ser substituída. Um sinal clássico de ataque por *Limnoria* é o formato visual da peça em forma de ampulheta, quando severamente atacada nas regiões de interface das marés, na linha de afloramento (Figura 3.53). No entanto, o ataque pode se estender até as bases, nas regiões de linha de afloramento de areia [ingl.: mud line] das estacas de fundações, se as condições de oxigênio e salinidade forem adequadas (RITTER; MORRELL, 1990).

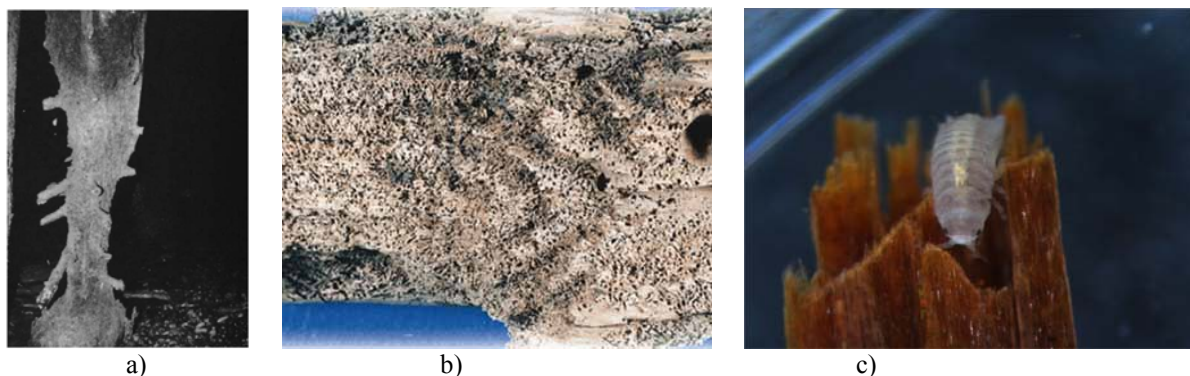


Figura 3.53. a) Danos *Limnoria* de uma estaca de madeira, evidenciado pela forma de ampulheta característico em zonas de interfaces em variações de marés, RITTER e MORRELL (1990); b) características visuais de diagnóstico de orifícios em madeira deteriorada por *Limnoria*, UBC (2009), MARTINS (2009); c) *Limnoria*, SCANLON (2013).

3.1.4.4 *Sphaeroma terebrans*

Segundo Ritter e Morrell (1990), a preocupação relativamente nova para os pesquisadores norte americanos, em deteriorações de madeira em águas semitropicais é o *Sphaeroma terebrans* (Figura 3.54), um nativo crustáceo móvel dos manguezais encontrado na Flórida. Esta espécie apresenta maior resistência aos preservativos de madeira a base de cobre, tornando um fator preocupante para regiões de água quente.



Figura 3.54. Características visuais de diagnóstico de ataques e orifícios em madeira deteriorada por *Sphaeroma terebrans*. Fonte: MASTERSON (2008).

Nas Tabelas 3.3 e 3.4 são apresentadas as principais características de sinais visuais de manifestações patológicas por agentes bióticos, com Potencial de Risco de Biodeterioração.

Tabela 3.3. Características de sinais visuais de manifestações patológicas por agentes bióticos, com Potencial de Risco de Biodeterioração.

Manifestação patológica	Características visuais
<p>Manchas de umidade por infiltrações [ingl.: Water staining]</p> <p><i>“O inspetor deve estar atento para quaisquer indicações de pontos intuitivos ou de sinais visuais de manchas de infiltrações. Os sinais visuais podem aparecer como marcas d’água, manchas leve de lama ou manchas com variações na coloração, RITTER e MORRELL (1990). As manchas de umidade na madeira, geralmente decorrentes de infiltrações, são sinais visuais que sempre devem ser consideradas como “Alto Potencial de Risco de Biodeterioração”, pois geralmente são regiões favoráveis à proliferação de fungos apodrecedores”.</i></p>	 <p data-bbox="1018 674 1374 705">Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)c</p>
<p>Presença de manchas ou descolorações</p> <p><i>“A presença de manchas ou descolorações [ingl.: Staining or discoloration] diferenciadamente podem ser indicativos de que os elementos estruturais de madeiras tenham sido submetidos a infiltrações e/ou apresentem teores de umidade elevados, potencialmente adequados para a biodeterioração e/ou para o apodrecimento [Highley e Scheffer (1989), RITTER e MORRELL (1990), ROSSOW (2012)]. As manchas de corrosão também podem ser bons indicativos de infiltrações, RITTER e MORRELL (1990)”.</i></p>	 <p data-bbox="1074 1005 1315 1037">Fonte: ROSSOW (2012)</p>
<p>Presença de corpos de frutificação e/ou hifas</p> <p><i>“Os corpos-de-frutificação [ingl.: Fruiting bodies] podem evidenciar como indicativo de ataque de fungos apodrecedores, no entanto, não indicam a quantidade ou a extensão da deterioração [HIGHLEY e SCHEFFER (1989) e RITTER e MORRELL (1990), ROSSOW (2012)]. Alguns fungos produzem corpos de frutificação depois de ocorrido pequenas dimensões de biodeterioração, enquanto outros se desenvolvem apenas depois que a biodeterioração já está extensa. Segundo RITTER e MORRELL (1990), pelo motivo dos corpos de frutificação não serem comuns em estruturas de pontes de madeira, por exemplo, certamente o surgimento desses organismos, em elementos estruturais de madeira, indicam problemas graves de deterioração quando estão presentes”.</i></p>	 <p data-bbox="1074 1400 1315 1431">Fonte: ROSSOW (2012)</p>
<p>Presença de crescimento de plantas e/ou musgos</p> <p><i>“O crescimento de plantas e/ou musgos esverdeados ou escuros em fendas, rachas, fissuras, ou acumulações de solo sobre elementos estruturais, podem ser indicativos de que a madeira adjacente, geralmente na região de apoio ou nó de ligação desprotegida, que esteja com Teor de umidade relativamente elevado, são sinais de manifestações patológicas com grande potencial de risco de biodeterioração por fungos apodrecedores, quando expostas por um longo período de tempo, RITTER e MORRELL (1990); CRUZ (2001)”.</i></p>	 <p data-bbox="1018 1731 1374 1762">Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)a</p>

Tabela 3.4. Características de sinais visuais de manifestações patológicas por agentes bióticos, com Potencial de Risco de Biodeterioração (continuação).

Manifestação patológica	Características visuais
<p>Depressões superficiais</p> <p><i>“Faces afundadas ou depressões superficiais [ingl.: Sunken faces] localizadas, que apresentem camada superficial fina removida, podem indicar fundamentais sinais visuais de potencial de risco de biodeterioração por apodrecimento, HIGHLEY e SCHEFFER (1989); RITTER e MORRELL (1990); BRASHAW et al (2012); ROSSOW (2012)]. Na região de superfície de elementos estruturais, podem desenvolver camadas de deterioração ou vazios, formando uma camada de depressão fina intacta ou parcialmente intacta, na superfície de madeira, RITTER e MORRELL (1990)”.</i></p>	 <p>Fonte: BRASHAW et al (2012)</p>
<p>Biodeterioração por apodrecimento em topo de estacas e/ou colunas</p> <p><i>“No topo de estacas de apoio, colunas, etc., o capuz de proteção de topo, em regiões de apoio da superestrutura geralmente provê de uma superfície horizontal que retém detritos e escoamentos de água do tabuleiro. As fibras de extremidade nas peças de madeira devem sempre ser consideradas com alto potencial risco de biodeteriorações, pois são mais susceptíveis à retenção de água. As ligações internas em capuz e fendas que retêm água e detritos tornam-as regiões críticas. Água no capuz que esco para as ligações pode resultar em biodeteriorações internas substanciais, por apodrecimento, com pouca evidência de danos externos, RITTER e MORRELL (1990); BIGELOW et al (2007). A podridão no interior da madeira, típica em topo de estacas, geralmente decorrentes de falhas no processo de tratamento preservativo em autoclaves, e/ou quebras da barreira de tratamento em cortes efetuados “in loco” sem tratamento posterior, HIGHLEY e SCHEFFER (1989); RITTER e MORRELL (1990)”.</i></p>	 <p>Fonte: BIGELOW et al (2007)</p>
<p>Biodeterioração por apodrecimento em superfícies de extremidade das fibras</p> <p><i>“As superfícies de extremidade das fibras [ingl.: end-grain surfaces] devem ser consideradas como “Alto Potencial de Risco de Biodeterioração” por apodrecimento, pois absorvem à água muito mais rapidamente do que as superfícies laterais das fibras [ingl.: side-grain], RITTER e MORRELL (1990). Uma superfície exposta, desprotegida, ou a sucessão inadequada de trabalhos, por exemplo, em perfurações cortes ou entalhes em madeira após ter sido tratada em autoclave, resulta em superfícies de madeira não tratadas, que ficam expostas, favorecendo ao ataque de agentes bióticos, RITTER e MORRELL (1990), BIGELOW et al (2007)”.</i></p>	 <p>Fonte: BIGELOW et al (2007)</p>
<p>Excrementos de Insetos: resíduos de grânulos ovalados</p> <p><i>“A identificação de orifícios com resíduos de grânulos ovalados podem indicar excrementos, que evidenciam insetos em atividade, e quando identificados, geralmente são sinais visuais de manifestações patológicas com Alto Potencial de Risco de Biodeterioração. E a presença de atividade de insetos também pode evidenciar a presença de biodeterioração por apodrecimento, RITTER e MORRELL (1990); ARRIAGA et al (2002)”.</i></p>	 <p>Fonte: ASKNATURE (2014)</p>

3.2 Características visuais de agentes abióticos

Embora a deterioração da madeira seja tradicionalmente vista como um processo biológico, a madeira também pode apresentar manifestações patológicas por agentes abióticos. Estes agentes são geralmente de atuação lenta, mas podem tornar-se importantes em locais específicos. Agentes abióticos (não vivos) nos casos das pontes de madeira incluem os condicionantes de agentes físicos (HIGHLEY; SCHEFFER, 1989) por danos mecânicos por abrasão ou por impacto, à ação de luz ultravioleta, a corrosão do metal de ligações, e agentes químicos como ácidos e bases fortes, Ritter e Morrell (1990) também citados em Calil Jr. et al (2006). Segundo Arriaga et al (2002)^{p69}, as principais causas de origem dos agentes abióticos podem favorecer aos danos nas peças de madeira são, pelas ações de agentes atmosféricos (radiação solar e chuva) e danos devido ao fogo. Ritter e Morrell (1990) descrevem que em muitos casos, os danos oriundos por agentes abióticos podem ser confundidos com ataque de agentes bióticos, com isso a ausência de sinais visíveis de fungos, insetos e perfuradores marinhos, além da aparência geral da madeira, também podem possuir sinais de alerta da natureza ao dano. Além das causas propriamente destrutivas, os agentes abióticos também podem danificar o tratamento preservativo, expondo madeira não tratada a ataques de agentes bióticos [(RITTER; MORRELL, 1990); (CALIL JR. et al, 2006)].

Resumidamente os principais tipos dessas manifestações patológicas destacam-se: as patologias de origem estrutural (fases de projeto, construção e/ou manutenção); remoção de madeira em manutenções inadequadas; anomalias em ligações; movimento de nós e distorções; instabilidade; deslocamentos; fissuras; fendas; rachas; fendilhados; fendilhamentos; fraturas incipientes; ações de agentes atmosféricos (como à chuva e a luz ultravioleta, descargas atmosféricas, vento, etc.), danos devidos ao fogo, e em casos extremos danos por animais silvestres.

3.2.1 Deteriorações pela ação de agentes físicos

Os danos físicos podem ser originários de sobrecarga, o que provoca a deformação excessiva de elementos estruturais ou mesmo falha. Quando os elementos de madeira são carregados além da sua capacidade em um longo período de tempo, as fibras tornam-se permanentemente alongadas num processo denominado por fluência ou deformação lenta (HIGHLEY; SCHEFFER, 1989)^{p5}.

Os principais tipos de deteriorações pela ação de agentes físicos destacam-se as patologias de origem estrutural (instabilidade, remoção de elementos estruturais, fraturas incipientes,

movimentos de nós e distorções, deformações, deslocamentos e flechas, presença de defeitos naturais), os danos mecânicos, danos por animais silvestres e os danos por vandalismo.

3.2.1.1 Patologias de origem estrutural

Além das degradações que as estruturas de madeira podem apresentar, como resultado de muitos anos de serviço, muitas vezes muito além da Vida útil prevista, utilização inadequada, ações de sobrecargas acidentais, falta de manutenção ou alterações intencionais no uso e/ou ampliações na estrutura original, muitas vezes podem conduzir a resultados desastrosos, poderão igualmente existir defeitos devidos a falhas em projetos estruturais, envolvendo a concepção inadequada e/ou ainda falhas na escolha e seleção de materiais durante a execução da estrutura, além de casos de falhas em manutenções corretivas [(MACHADO et al, 2009); (CRUZ, 2009); (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p48}; (DRIEMEYER, 2009)^{p47}; (CRUZ, 2011); (BRANCO et al, 2012)].

Uma execução inadequada das ligações, exemplo esse considerado corriqueiro por diversos pesquisadores, quer ao nível da geometria dos entalhes, na forma inadequada, na ausência de contato entre elementos, por exemplo, quer ao nível na deficiência em aplicação com chapas e conectores metálicos, em elementos subdimensionados ou em ausência, além do insuficiente espaçamento entre as distâncias dos conectores e as extremidades de topo dos elementos de madeira, constituem exemplo de deficiências, devendo-se levar em consideração as respectivas implicações para o comportamento estrutural [(MACHADO et al, 2009); (CRUZ, 2009); (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p48}; (DRIEMEYER, 2009)^{p47}; (CRUZ, 2011); (BRANCO et al, 2012)]. Segundo Calil Jr. et al (2006), Brito (2010), Calil Jr. e Brito (2010) em algumas situações, a falha de uma conexão poderá ser responsável pelo colapso da estrutura. Como exemplo desta situação, pode ser citado o caso comum de coberturas em duas águas com estrutura em treliças, nos quais se tem a presença de ligações fundamentais: o nó de apoio, a emenda do banzo inferior e o nó de cumeeira. O comprometimento de uma dessas ligações pode levar ao colapso da estrutura treliçada.

Outro fator muito importante é ausência de sistemas de contraventamentos em elementos estruturais, também considerado como uma deficiência muito comum, e deve ser corrigida. Caso seja negligenciado e ou insuficiente, podem permitir movimentos das ligações desses elementos estruturais, em função de aplicações de ações, principalmente às horizontais (devidas à ação do vento), podendo levar até mesmo à ruptura seja do elemento estrutural, seja da ligação. Também é ressaltado como exemplo, casos de apoios com dimensões

insuficientes nas extremidades das treliças, ou ainda deficiências em ligações entre os elementos estruturais de montantes e diagonais com os banzos, nos pontos dos apoios, que também tendem a favorecer movimentações dos nós das ligações, em função de aplicações de ações horizontais nos topos dos pilares e/ou das paredes que as suportam [(MACHADO et al, (2009); (CRUZ, 2009)].

Excentricidades em aplicações de cargas também são exemplos de anomalias muito comuns em estruturas existentes, normalmente ocasionadas por instalações de tubulações e/ou equipamentos não previstos no projeto original, no entanto, pode ser um fator de intervenção. Outro exemplo muito comum são as anomalias oriundas de erros de concepção de projeto e/ou execução, nas regiões de apoio de treliças em função de fixações de engastamentos inadequados, com pequenas dimensões das extremidades dos banzos inferiores fixados nas paredes associadas a uma distância excessiva entre o apoio e o nó do banzo superior. Além de que nas treliças tradicionais de coberturas, a região da ligação de apoio (suporte) entre o banzo inferior e o banzo superior é onde atuam as maiores concentrações de forças pontuais na estrutura e é simultaneamente à região mais vulnerável, favorável ao Alto Potencial de Risco de Biodeterioração por fungos apodrecedores, devido à sua localização geralmente próxima aos beirais de coberturas (Figura 5.55). Outra situação de excentricidade comum é a situação em que não existe a coincidência do ponto de aplicação de carga das terças com os nós da estrutura [(MACHADO et al, 2009); (CRUZ, 2009)].

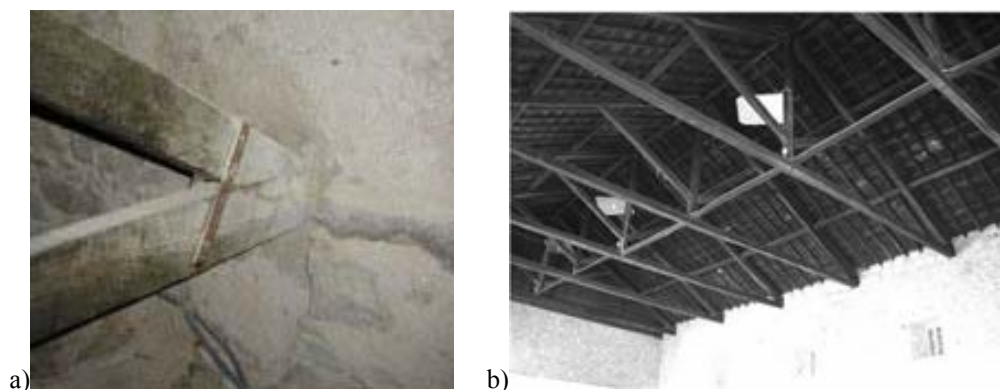


Figura 3.55. Erros de concepção de apoio muito comuns: a) excentricidade na ligação da condição de apoio incorreta, banzo superior com o banzo inferior, e em muitos casos com dimensão insuficiente, além do fator de “Alto Potencial de Risco de Biodeterioração” nessa região e na condição em que está submetida. b) excentricidades em função de condições de apoios incorretos e/ou com dimensões insuficientes. Fontes: MACHADO et al (2009), CRUZ (2009).

Machado et al (2009) e Cruz (2009) referem-se ainda à existência de situações, mas felizmente pouco frequentes, em que a concepção e a realização da estrutura, e muitas vezes

passada sucessivas intervenções, manifestam-se a um elevado nível de improviso, tornando virtualmente impossível a sua interpretação estrutural e a respectiva avaliação da segurança.

Diante dos exemplos sucintamente expostos e corriqueiros de agentes físicos patológicos em estruturas de madeira com origem estrutural, o Autor descreve que geralmente esses fatores são oriundos de:

- ✓ Falhas em concepções durante projeto arquitetônico;
- ✓ Falhas na concepção estrutural do projeto;
- ✓ Falhas na escolha do modelo de análise estrutural;
- ✓ Falhas em concepções de ligações;
- ✓ Falhas e/ou ausência nas interferências na integração entre os projetos complementares;
- ✓ Falhas inerentes aos materiais;
- ✓ Falhas na execução da obra;
- ✓ Falhas em manutenções corretivas;

Na sequencia serão descritas simplificadaamente os principais tipos de deteriorações em estruturas de madeira oriundas de agentes físicos.

3.2.1.1.1 *Instabilidade*

Uma das temáticas que tem sido muito estudada na atualidade na *Engenharia de Estruturas* é a *Estabilidade das Estruturas*, tradicionalmente vista como a que engloba o conjunto de conceitos que, ao serem aplicados ao projeto das estruturas numa análise global, e local de seus elementos em particular, tornam estas estruturas estáveis, isto é, apropriadas para serem utilizadas segundo as necessidades que as originaram. A estabilidade de uma barra pode ser definida como a tendência natural desta em se manter ou recuperar sua posição original apesar das perturbações que as atinjam. Isto é sua capacidade em manter um estado de equilíbrio estável, recuperando-se dos fenômenos de alteração induzida à sua condição inicial. Este conceito de estabilidade, entretanto, vem sendo aprimorado, de forma a poder exprimir o que o seu nome implica, pois não é mais suficiente que a estabilidade se preocupe apenas com o dimensionamento das seções dos elementos estruturais, e desses elementos numa análise global (ALVIM, 2009). Atualmente, um ponto básico que vem sendo incorporado ao conceito de estabilidade é o da “durabilidade estrutural”, pois de nada serve que uma estrutura seja estável apenas por um período de tempo tão curto que a torne economicamente inviável. Diante desta visão, a primeira preocupação da “Estabilidade das Estruturas” deve estar relacionada com a “Patologia das Estruturas”, pois do estudo dos

defeitos e dos sintomas das manifestações patológicas das estruturas de madeira, muitas vezes podem estar relacionados com as falhas de concepção, de análise, de construção e de utilização destas estruturas. No entanto, a instabilidade geralmente pode ser observada em deslocamentos laterais excessivos ou em movimento de pórtico, usualmente causado por danos, corte ou falta de barras de contraventamento (CALIL JR. et al, 2006).

Os tipos de instabilidade mais comuns em estruturas de madeira são: instabilidade local (instabilidade lateral em vigas, e flambagem em pilares) e instabilidade global da estrutura.

As análises de estabilidade local de elementos estruturais podem ser avaliadas por critérios da NBR 7190. Já para análises de estabilidade global em estruturas de madeira, a maioria dos softwares comerciais utilizam modelos computacionais *P-Delta*.

3.2.1.1.2 Remoção de elementos estruturais

Tem sido muito comum encontrar estruturas de coberturas de madeira danificadas pela remoção de suas partes (Figura 3.56) para instalação de utilidades, em reformas, ou decorrentes de manutenções com concepções incorretas, além de outras atividades de carpintaria [(MACHADO et al, 2009); (CRUZ, 2009); (CRUZ, 2011); (BRITO e CALIL JR., 2012); (BRANCO et al, 2012)]. Assim como cortes ou remoções de vigas ou peças de elementos estruturais tracionados. A redução da seção transversal de vigas e transversinas também podem diminuir sua capacidade resistente (CALIL JR. et al, 2006).



a) remoção parcial do banzo inferior

b) remoção total banzo inferior

c) Remoção parcial banzo superior

Figura 3.56. Erros grosseiros em manutenções corretivas, com corte remoções parciais e total de elementos estruturais principais (banzas de treliças), em intervenções anteriores, resultandos de deformações excessivas. Fontes: a) b) BRANCO et al (2012); c) MACHADO et al (2009); CRUZ (2009); CRUZ (2011)

3.2.1.1.3 Fraturas incipientes

As fraturas incipientes, geralmente ocorrem decorrentes de acidentes ou ignorância como, por exemplo, com uso de sobrecargas excessivas. Felizmente são bastante raras, entretanto podem não ser fáceis de serem detectadas e em caso de suspeita, deve ser solicitada a presença de um especialista (CALIL JR. et al, 2006).

3.2.1.1.4 Movimento de ligações e distorções

As ligações entre elementos estruturais, também conhecidas no meio técnico, como conexões, sempre devem ser consideradas como pontos fundamentais na segurança de estruturas de madeira. Em certos casos, a falha de uma conexão poderá ser responsável pelo colapso da estrutura. Como exemplo dessa situação, pode-se citar o caso comum de telhados em duas águas de coberturas com sistema estrutural de treliça, em que se tem a presença de ligações fundamentais como: o nó de apoio, a emenda do banzo inferior e o nó de cumeeira. O comprometimento de uma dessas ligações pode levar ao colapso da estrutura treliçada [(CALIL et al, 2003); (BRITO, 2010); (CALIL e BRITO, 2010)].

As ligações, quando montadas em elementos estruturais com madeira verde e expostas para secar *in loco*, podem resultar em retrações, fissuras, distorções ou outras formas de rupturas locais. As cavilhas de madeiras muito rígidas, entalhes e/ou ligações com concepções inadequadas podem se deslocar ou até mesmo romper (Figura 3.75) [(ARRIAGA et al, 2002); (MACHADO et al, 2009)]. A retração e/ou a falta de detalhamento de projeto ou inexistência de conectores não são problemas incomuns em estruturas de madeira ainda jovens, [(CALIL JR. et al, 2006); (ARRIAGA et al, 2002); (MACHADO et al, 2009); (BRANCO et al, 2012)].

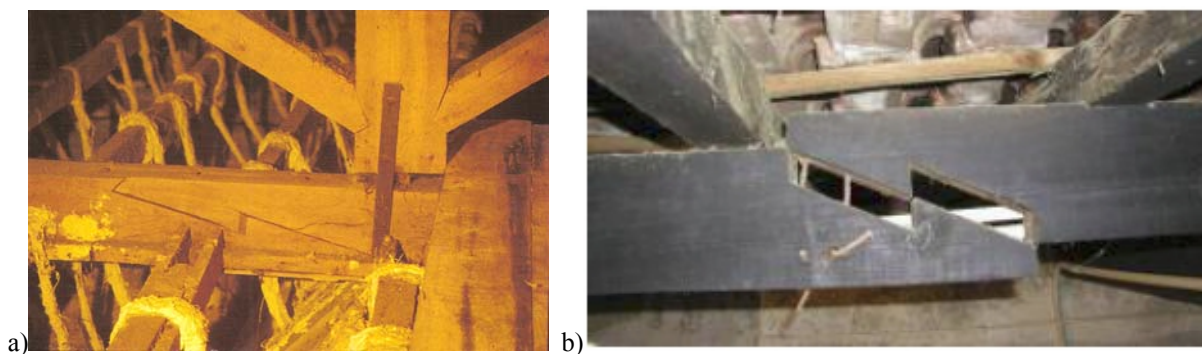


Figura 3.57. Exemplos de características visuais de danos em ligações: a) fendilhamento ou provável ruptura na madeira em uma ligação de emenda de banzo inferior, com reforço inadequado com chapa metálica, ARRIAGA et al (2002); b) desencaixe de uma emenda em banzo de treliça em função de erro de concepção de ligação, MACHADO et al (2009).

3.2.1.1.5 Deformações, deslocamentos e flechas

As deformações, deslocamentos e flechas podem indicar excessivo carregamento, que necessita de correção com manutenções adequadas [(ARRIAGA et al, 2002); (CALIL JR. et al, 2006); (MACHADO et al, 2009); (ALVIM et al, 2011); (BRANCO et al, 2012)]. Em estruturas antigas o deslocamento pode ser oriundo do efeito da fluência ou secagem a partir de uma condição de madeira verde. Isso pode ou não, conduzir a problemas estruturais

(CALIL JR. et al, 2006). Na Figura 3.58 são apresentados exemplos de deformações, flechas e deslocamentos, detectadas nas avaliações de segurança estrutural por Alvim et al (2002) e Alvim et al (2011) na estrutura da cobertura do sistema *Hauff* do *Ginásio Poliesportivo do Pacaembu*, São Paulo, SP.

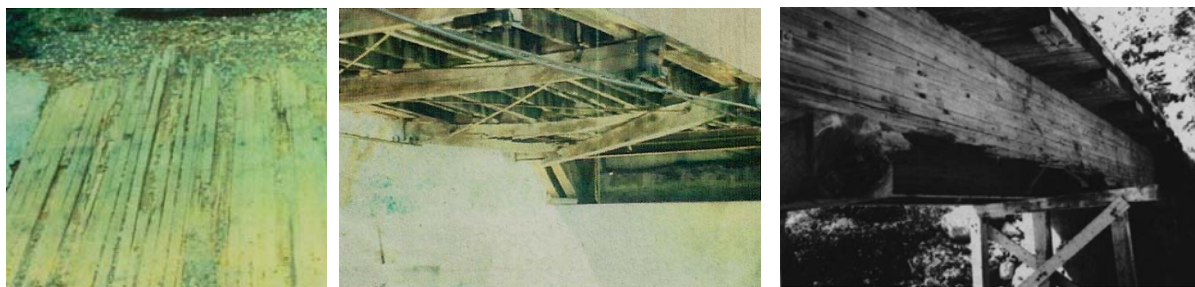


Figura 3.58. Deformações excessivas em treliças causadas por deslizamento de ligações entre a força e o momento aplicado: deslocamentos de apoios, flechas excessivas no meio dos vãos das treliças, efeitos da instabilidade lateral dos arcos. Fonte: ALVIM et al (2011)

3.2.1.1.6 Danos mecânicos

Para os casos de estruturas de pontes de madeira, os danos mecânicos [ingl.: Mechanical Damage] são provavelmente os agentes abióticos mais significativos de deterioração física, segundo Ritter e Morrell (1990) e Calil Jr. et al (2006). Esse dano é originário por vários fatores e variam consideravelmente os seus efeitos sobre a estrutura. O dano mecânico mais comum em superfícies de rolamento nos tabuleiros de pontes de madeira e guardas de rodas, é o de abrasão mecânica, que é a provocada pelo atrito dos pneus dos veículos, que originam degradação com desgastes superficiais, e pode levar a redução da seção efetiva da peça de madeira. As deteriorações devido à abrasão mecânica favorecem a penetração e retenção da água pela quebra da barreira química de tratamento preservativo e/ou poças entre as fendas expressivas, que conduzem à biodeterioração por apodrecimento [(RITTER; MORRELL, 1990); (BIGELOW et al, 2007); (BRASHAW et al, 2012)].

Os danos mecânicos mais graves em estruturas de pontes de madeira podem ser ocasionados por longa exposição a sobrecargas de veículos (Figura 3.59b), recalques de fundações, além de danos mecânicos decorrentes de detritos ou blocos de gelo (em regiões com nevasca) em canal de fluxo (Figura 3.59c), durante enchentes ocasionais decorrentes de altos índices pluviométricos [(RITTER; MORRELL, 1990); (BRASHAW et al, 2012); também citado em (CALIL JR. et al, 2006)].

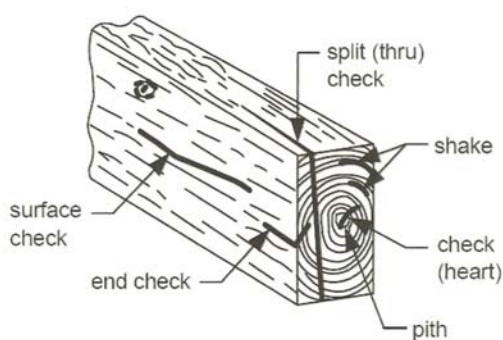


a) abrasão mecânica b) ruptura de viga transversina de ponte c) danos mecânicos em enchentes

Figura 3.59. Características visuais de diagnósticos oriundos de danos mecânicos: a) deterioração superficial por efeito de abrasão mecânica em tabuleiro laminado de ponte, BRASHAW et al (2012). b) ruptura de uma viga transversina suporte de tabuleiro de ponte, BRASHAW et al (2012). c) Danos mecânicos graves em uma ponte de MLC causado pelo fluxo de detritos durante níveis de alto fluxo de água em enchente, RITTER e MORRELL (1990).

3.2.1.1.7 Presença de defeitos naturais

Segundo Calil Jr. et al (2006), um dos defeitos naturais [ingl.: Natural Defects] são as fissuras, que tipicamente resultam da secagem ao ar livre, quando a madeira é instalada ainda verde *in loco*. Embora preocupantes, as fissuras têm pequena importância estrutural. Em estruturas antigas, podem permanecer presentes por décadas e somente serem observadas em deslocamentos. Ocasionalmente, se as fissuras são de grande extensão, por exemplo, mais profundas que a metade da espessura da peça; em uma posição crítica em relação aos conectores; ou em uma barra necessitando de proteção ao fogo, os reparos devem ser realizados. Na Figura 3.60 Brashaw et al (2012) apresentam os principais defeitos naturais que devem ser observados em elementos estruturais de madeira durante inspeções visuais, pois em certas situações, podem favorecer à biodeterioração por apodrecimento.



Legenda (tradução):

- ✓ nó [ingl.: knot]
- ✓ racha [ingl.: shake]
- ✓ fenda no cerne [ingl.: check heart]
- ✓ fenda de borda em extremidade [ingl.: end check]
- ✓ fenda [ingl.: split (through) check] fenda que atravessa a peça em espessura, oriunda de defeito natural
- ✓ fenda superficial [ingl.: surface check]
- ✓ medula na peça [ingl.: pith]

Figura 3.60. Características de diagnóstico para identificação dos principais defeitos naturais em elementos de madeira. Fonte: BRASHAW et al (2012) [Cortesia do Dr. Xiping Wang]

O **nó** [ingl.: knot] fica localizado na região de implantação de um galho que foi incorporada em uma peça de madeira. Na madeira, os nós são classificados por sua forma, dimensão, qualidade e ocorrência. Para os casos de peças de madeira novas, um nó vermelho

evidencia que o galho estava vivo quando a madeira foi cortada, um nó escuro indica que o galho estava morto no momento do corte da madeira (CARREIRA, 2003).

A **racha** [ingl.: shake] é uma separação longitudinal do tecido lenhoso da madeira, que ocorre predominantemente entre os anéis anuais de crescimento (CARREIRA, 2003); NBR 8456:1984; (BRASHAW et al, 2012), geralmente originária do resultado de defeitos naturais de secagem da madeira (Figura 3.62a).

A **fenda no cerne** [ingl.: check heart] como o próprio nome diz, é a fenda que ocorre apenas na região do cerne.

Segundo Brashaw et al (2012) **fenda** [ingl.: Check] é uma separação longitudinal do tecido lenhoso que normalmente atravessa os anéis anuais de crescimento cortando-os, e geralmente é originária do resultado de defeitos naturais de secagem [ingl.: seasoning].

Carreira (2003) traduz por **fendilhado** [ingl.: seasoning check], pequenas fendas superficiais que aparecem nas extremidades das peças devido à secagem da madeira.

No entanto, assim como a definição na ASTM D 9-12 considera-se mais apropriada a definição para **fendilhado** (Figura 3.61a) às pequenas **fissuras** superficiais que aparecem nas extremidades das peças, originária do resultado de defeitos naturais de secagem da madeira, tendo em vista a definição de **fenda** [ingl.: check] por Brashaw et al (2012).

A **fenda de borda em extremidade** [ingl.: end check] pode ser caracterizada pela separação longitudinal do tecido lenhoso que ocorre apenas na borda (APA EWS, 2006) na extremidade da peça, geralmente originária do resultado de defeitos naturais de secagem.

A **fenda superficial** [ingl.: surface check] pode ser caracterizada por uma pequena separação do tecido lenhoso, em geral alinhada longitudinalmente e perpendiculares aos anéis de crescimento, geralmente originária do resultado de defeitos naturais de secagem da madeira (Figura 3.61b).



a) fendilhados e fendas de borda em extremidade, em topo de pilaretes

b) fendas longitudinais superficiais

Figura 3.61. Características visuais de diagnóstico de fendas em elementos estruturais de madeira, geralmente originários de defeitos naturais de secagem. Fontes: a) fendilhados, BRASHAW et al (2012); b) Fendas típicas em longarinas externas devido às ações de agentes atmosféricos e luz solar direta, BIGELOW et al (2007).

Segundo Brashaw et al (2012) **fendilhamento** [ingl.: split] é uma separação longitudinal na extremidade de uma peça, que atravessa a mesma em toda sua espessura, ou seja, de uma superfície adjacente até à superfície oposta, em função do efeito de separação das células da madeira por efeito físico de rasgamento, geralmente por cisalhamento (Figura 3.62a) [(APA EWS, 1999); (APA EWS, 2006); (BRASHAW et al, 2012); (FERREIRA, 2012)^{p58}]. Já Carreira (2003) traduz esse termo inglês **through check, split** por **fenda** e descreve que é uma fenda longitudinal na extremidade de uma peça e que atravessa a mesma em espessura, não definindo a origem da fenda.



a) fendilhamento em topo de pilarete, na linha de parafusos

b) rachas em topo de pilarete de defesa

Figura 3.62. Características visuais de diagnóstico de: (a) fendilhamentos, que atravessam a peça em toda sua espessura, geralmente originários de esforços de cisalhamento; (b) características visuais de rachas, geralmente originárias de defeitos naturais, em extremidades de elementos estruturais de madeira. BRASHAW et al (2012).

No entanto, considera-se apropriada a tradução do termo **split** por **fendilhamento**, ou seja, é uma separação longitudinal do tecido lenhoso na extremidade de uma peça, que atravessa a mesma em toda sua espessura, ou seja, de uma superfície adjacente até à superfície oposta, em função do efeito de separação das células da madeira, **originária pela ação do efeito físico de rasgamento**, em uma ou mais linhas de corte, geralmente oriunda de esforços de cisalhamento, superiores aos de projeto, principalmente em regiões de ligações com pinos, muito próximos dessa extremidade.

Já o termo **split (through) check** traduzido por **fenda** como sendo uma separação longitudinal do tecido lenhoso na extremidade de uma peça, que atravessa a mesma em toda sua espessura, ou seja, de uma superfície adjacente até à superfície oposta, cortando os anéis anuais de crescimento, e que geralmente é **originária do resultado de defeitos naturais de secagem da madeira**.

Essas definições foram também acrescentadas na proposta do glossário de termos técnicos no item 8 desse trabalho.

Portanto, na maioria dos casos dos elementos estruturais de madeira conífera, o inspetor pode recorrer a metodologias das regras de classificação visual, recomendadas pelas normas Internacionais ASTM D 245-93, atual ASTM D 245-06 (2011) e SPIB (1994), além dos critérios de classificação visual de Carreira (2003), para avaliar o *Potencial de Risco de Gravidade dos Defeitos Naturais* presentes na peça estrutural em análise. Segundo Carreira (2003), “*fora da zona crítica, em elementos fletidos, e em elementos carregados axialmente, as fendas e as rachas anelares de defeitos naturais, geralmente têm pouco ou nenhum efeito nas propriedades de resistência e não são limitadas por essa razão*”. Pode ser aconselhável limitá-las em algumas aplicações por questão estética, ou para prevenir a penetração de umidade e conseqüente favorecimento ao apodrecimento. Segundo Santos (2009) a norma Internacional UNE 56544:2003 também pode ser apropriada para esse fim.

3.2.2 Deterioração pela ação de agentes químicos

A madeira é um material que resiste relativamente bem aos ataques de agentes químicos. Por isso, muitas vezes a madeira é utilizada na indústria química para produção de elementos químicos e para armazenamento desses mesmos produtos (SAMPALIO da COSTA, 2009)^{p46}. No entanto, em casos isolados, a presença de ácidos ou bases fortes, pode causar danos à madeira (HIGHLEY; SCHEFFER, 1989). As bases fortes atacam a hemicelulose e lignina, deixando a madeira com coloração esbranquiçada. Os ácidos fortes atacam a celulose e hemicelulose, ocasionando perda de peso e resistência. O dano da madeira ocasionado por ácido é de cor escura e sua aparência é semelhante à de uma madeira danificada por fogo [(RITTER; MORRELL, 1990); (CALIL JR. et al, 2006)]. Segundo Ritter e Morrell (1990) não é comum a degradações químicas fortes em estruturas de madeira de pontes, a menos que ocorram vazamentos decorrentes de acidentes por transporte de produtos químicos em caminhões tanque.

3.2.2.1 Corrosão nas ligações

A corrosão de elementos metálicos utilizados em conjunto com a madeira é uma questão importante no que diz respeito à garantia da Vida útil de uma determinada estrutura de madeira (BRANCO et al, 2012). Quando embutidos na madeira, os elementos metálicos ficam sujeitos à corrosão devido à presença de água e oxigênio na estrutura celular da madeira, assim como a reações químicas entre seus constituintes (NAPPI et al, 2012), além da composição química de certos produtos preservativos, que pode gerar o efeito de corrosão em elementos metálicos (RITTER; MORRELL, 1990). Brito e Calil Jr. (2013) durante inspeções,

detectaram o efeito de corrosão em mais de 3.000 parafusos, de ligações entre elementos estruturais de madeira das treliças da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, Figura 3.63.



Figura 3.63. Corrosão de parafusos metálicos na região interna à madeira, nas ligações dos elementos estruturais de madeira de *Eucalyptus citriodora* tratada com CCA, do módulo m13 das treliças da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, detectados na inspeção detalhada realizada em 9 de agosto de 2013. Fotos: BRITO (2013).

3.2.2.2 Efeito da corrosão na madeira

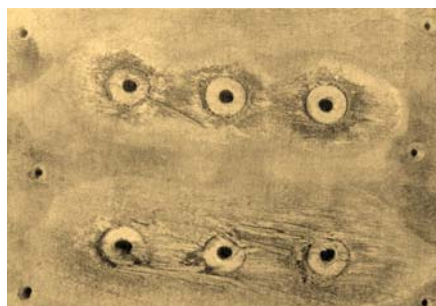
A degradação da madeira por corrosão metálica é frequentemente negligenciada como causa de deterioração em pontes. Este tipo de degradação pode ser significativo em certas condições de agressividades ambientais, como em particular as situações em ambientes marinhos onde a água salgada e a salinidade da maresia estão presentes, e aceleram o processo de degradação. Esse efeito também pode ocorrer em proximidades de determinadas regiões industriais. A corrosão se inicia quando a umidade na madeira reage com o ferro de um conector metálico, desprendendo íons que deterioram as paredes das células da madeira. À medida que a corrosão progride, o conector metálico torna-se uma célula eletrolítica com um polo ácido (ânodo) e um polo alcalino (cátodo). Embora as condições no cátodo não sejam severas, a acidez no ânodo causa a hidrólise da celulose e reduz drasticamente a resistência da madeira na zona afetada. A madeira atacada apresenta características visuais de coloração escura e de aparência macia (Figura 3.64). Em muitas espécies de madeira a descoloração também ocorre onde há contato do aço com o cerne [(RITTER; MORRELL, 1990); também citados por (CALIL JR. et al, 2006)].

Além da deterioração na madeira ocasionada por corrosão, em condições de teor de umidade elevado associado a esse dano podem favorecer ao aparecimento de fungos apodrecedores. À medida que a corrosão progride, a toxicidade dos íons metálicos e o baixo pH na madeira eventualmente eliminam o ataque por fungos, embora o apodrecimento possa continuar a uma certa distância nas proximidades da região afetada. O efeito da corrosão do metal pode ser limitado com a substituição por conectores galvanizados ou não ferrosos [(RITTER; MORRELL, 1990); também citados por (CALIL JR. et al, 2006)]. Segundo Ritter e Morrell (1990), a composição química de certos produtos preservativos também pode gerar

esse efeito de deterioração. Destaca-se que nas inspeções da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, observou-se a degradação na madeira com fendilhamentos onde a água penetra e devido a expansão do volume do parafuso pelo efeito da corrosão, Figura 3.63.



a) Manchas na madeira por corrosão



b) Deterioração na madeira por corrosão

Figura 3.64. Danos químicos na madeira, causados por corrosão de parafusos metálicos, em regiões circunvizinhas de furos. Fontes: a) SHUPE et al (2008); b) HIGHLEY e SCHEFFER (1989); RITTER e MORRELL (1990).

3.2.3 Deterioração pela ação de agentes atmosféricos ou meteorológicos

As deteriorações por ações de agentes atmosféricos afetam os elementos estruturais aplicados em ambientes internos ou externos de estruturas abrigadas ou não (MACHADO et al, 2009). A sua ação resulta, dependendo do grau de exposição, numa deterioração física com aparecimento de fendas, empenamentos, remoção de material lenhoso; e/ou química com alterações nos constituintes da lignina [(MACHADO et al, 2009), (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p45}, (DRIEMEYER, 2009)^{p46}; (BRANCO et al, 2012)]. Embora a deterioração provocada pelos agentes atmosféricos de radiação ultravioleta, umidade relativa, temperatura do ar, precipitação e vento, geralmente não causem problemas significativos estruturalmente, quando comparados com o risco de deterioração oriunda de agentes biológicos ou ação do fogo, os agentes atmosféricos podem favorecer indiretamente às condições ambientais propícias a origem de agentes biodeterioradores.

O intemperismo [ingl.: weathering], oriundo da ação de agentes atmosféricos, sobretudo da combinação das ações da incidência da luz solar e das chuvas, provocam alterações na coloração e na textura da madeira, geralmente com variação em tonalidades acinzentadas, assemelhando-se à madeira envelhecida (Figura 3.65) [(CRUZ, 2001); (MACHADO et al, 2009); (BRASHAW et al, 2012)]. Essas alterações, que consistem numa decomposição química dos arranjos da madeira pela ação da radiação de luz ultravioleta, e eventualmente associada pela alteração da camada degradada por efeito da chuva, que segundo Cruz (2001), corresponde a uma deterioração meramente superficial, sem grandes consequências além da

aparência estética. No entanto, se não tratada à superfície, pode favorecer à biodeterioração por apodrecimento [(RITTER; MORRELL, 1990); (BIGELOW et al, 2007)].

3.2.3.1 Degradação pela ação de luz ultravioleta e intemperismo

Uma das causas mais visíveis dessa ação de deterioração na madeira por raios ultravioleta [ingl.: ultraviolet light degradation] da luz solar é a degradação química da lignina, na camada superficial da madeira (Figura 3.65). A degradação por luz ultravioleta causa escurecimento em madeiras tipicamente claras e clareamentos em madeiras escuras, mas esse dano penetra apenas em uma fina camada superficial. A madeira afetada pela ação ultravioleta representa um tipo de degradação mais branda, e a profundidade desse dano tem pouca influência na perda de resistência, exceto em casos onde essa camada é removida de forma contínua reduzindo as dimensões da peça de madeira por essa ação, que eventualmente, possam reduzir as dimensões dos elementos estruturais [(RITTER; MORRELL, 1990); (CALIL JR. et al, 2006)].

Em ambientes externos não abrigados (Figuras 3.65a; 3.65b), os elementos de madeira ficam expostos à ação direta à chuva, e a camada superficial da madeira, deteriorada pela ação da radiação solar, além dos ciclos de secagem e umidificação, encontra-se sujeita à ação de um processo de lixiviação e de remoção dessa mesma camada, que expõe o material lenhoso da camada subjacente, ainda sã, aos agentes atmosféricos reiniciando-se o processo de intemperismo. Esta remoção pode ainda ser acelerada pela ação mecânica de erosão imposta pelo vento (MACHADO et al, 2009).

Já em ambientes exteriores abrigados, a degradação é normalmente observada pelo escurecimento dos elementos, intensificando numa primeira fase a sua cor característica e evoluindo subsequentemente para uma tonalidade acinzentada (Figura 3.65c). Igualmente observam-se fissurações na superfície da madeira (Figura 3.65d). O fenómeno de alteração de cor decorre da ação dos raios ultravioletas, provocando uma fotodegradação dos constituintes da parede celular das fibras, nomeadamente da lignina, sendo a sua ação tanto mais intensa e rápida consoante à exposição direta ou não dos elementos de madeira à radiação solar. A degradação causada pelos raios ultravioletas é muito lenta, levando à alteração da camada exterior dos elementos estruturais, com consequências que são sobretudo estéticas. Esta ação química é acelerada por um fenómeno de degradação física visível por fendilhamentos acentuados nos elementos, devida aos ciclos de secagem e umidificação mais drásticos que num ambiente interior (MACHADO et al, 2009).



a) base de pilarete b) topo de pilaretes c) beirais de cobertura d) aspecto degradado

Figura 3.65. Características visuais de diagnóstico de degradação pela ação da luz ultravioleta: a) Degradação pela ação da luz ultravioleta e intemperismo em estágio avançado, ARRIAGA et al (2002). b) degradação na extremidade das fibras em pilaretes de guarda-rodas. Observe nos anéis de crescimento a erosão menor na superfície de lenho inicial [ingl.: earlywood] entre o lenho tardio [ingl.: laterwood], em função da variação na coloração, BRASHAW et al (2012). c) e d) Alterações e fendas longitudinais da camada superficial da madeira devido a envelhecimento natural pela ação da luz ultravioleta e intemperismo, MACHADO et al (2009).

3.2.3.2 Ações de vento

Em diversas localidades do Brasil é cada vez mais comum ater-se a situações de acidentes e ruínas de coberturas e de edificações decorrentes das ações de vento. Isso se deve ao fato do aumento na intensidade das tempestades cada vez mais, em grande parte do país, devido às mudanças climáticas do efeito estufa. Como recurso ao dimensionamento em segurança a essas ações, as estruturas de madeira devem ser verificadas em função das recomendações técnicas da ABNT NBR 6123:1988.

3.2.4 Danos devido ao fogo

A madeira é considerada como um material combustível e medianamente inflamável. Por isso mesmo, o fogo é o processo de degradação mais rápido que a madeira pode sofrer. Isto se deve à própria constituição da madeira, que é à base de carbono e hidrogênio. Na degradação por fogo a madeira necessita de oxigênio e libera dióxido de carbono, tal como na degradação por microorganismos. Apesar disto, a energia gerada na degradação por fogo não é utilizada no crescimento de microorganismos, mas sim libertada na forma de vapor de água (elemento que constitui entre 8 a 15% da madeira) a altas temperaturas (até 275°C), secando a madeira. A partir dos 275°C a reação é exotérmica até atingir os 450°C, altura em que se começa a formar um resíduo sólido à superfície da madeira, na forma de carvão. Este carvão é por si só, um excelente isolador térmico e, por isso mesmo, retarda o desenvolvimento da carbonização da peça de madeira, podendo até fazer com que a temperatura exterior seja insuficiente, causando a sua extinção; caso contrário, poderá provocar o colapso estrutural. Em peças de secção transversal superiores a 80 mm, o fogo incendeia rapidamente a superfície da madeira, criando uma espécie de capa carbonizada em volta da peça e protegendo, assim, o núcleo da

madeira, permitindo que as suas principais propriedades se mantenham intactas (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p46}. O dano devido ao fogo é resultado da exposição da madeira ao fogo ou a altas temperaturas [(RITTER, 1990); (CALIL JR. et al, 2006); (BRANCO et al, 2012)]. Esses danos podem permanecer presentes na estrutura por anos. A carbonização superficial geralmente isola e protege a parte central interna da peça de madeira, podendo manter parte significativa de sua resistência (Figura 3.67) [(RITTER, 1990); (BARREAL, 1998); (PINTO, 2001); (RODRIGUES, 2004); EN 1995-1-2:2004; (PINTO, 2005); (SAMPAIO da COSTA, 2009); (BRITO, 2010); (CALIL JR.; BRITO, 2010); (MARTINS et al, 2014); (ROCHA et al, 2014)]. Os conectores de metal transferirão aquecimento para o centro e, neste caso, danos maiores nestas áreas podem ser esperados.

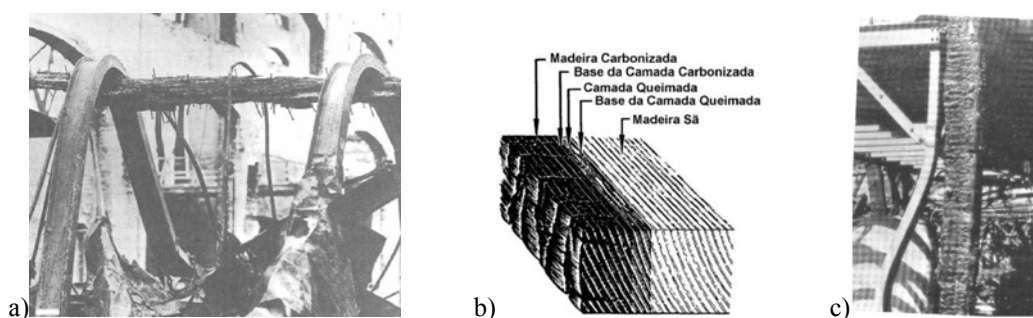


Figura 3.66. Resistência da madeira ao fogo: carbonização superficial na peça de madeira. Fontes: a) b) RITTER (1990); c) BARREAL (1998) apud RODRIGUES (2004)

“No entanto, em casos de degradações superficiais de carbonização em peças de madeira, essas podem favorecer a penetração e retenção da água pela quebra da barreira química de tratamento preservativo, que conduzem à biodeterioração por apodrecimento” (BIGELOW et al, 2007).

3.2.5 Danos por animais silvestres

Os danos nas madeiras originários de ações de grades animais silvestres, não são comuns no Brasil. No entanto, alguns pesquisadores relatam que certos animais silvestres, como os ursos, por exemplo, arranham postes para limpar as garras, mordem postes ou elementos estruturais de madeira para limpar os dentes, ou ainda os utilizam para se coçar, danificando-os [(NOLTE et al, 2003); (BRASHAW et al, 2012), (BEAR.ORG, 2014)]. No entanto, os pica-paus fazem aberturas em peças de madeira à procura de insetos. E certas espécies de aves, como periquitos, maritacas, etc. podem deteriorar superficialmente às peças de madeira, principalmente em elementos de beirais de coberturas, para limpar os bicos e confeccionar ninhos. Isso também pode favorecer à biodeterioração por apodrecimento na madeira.

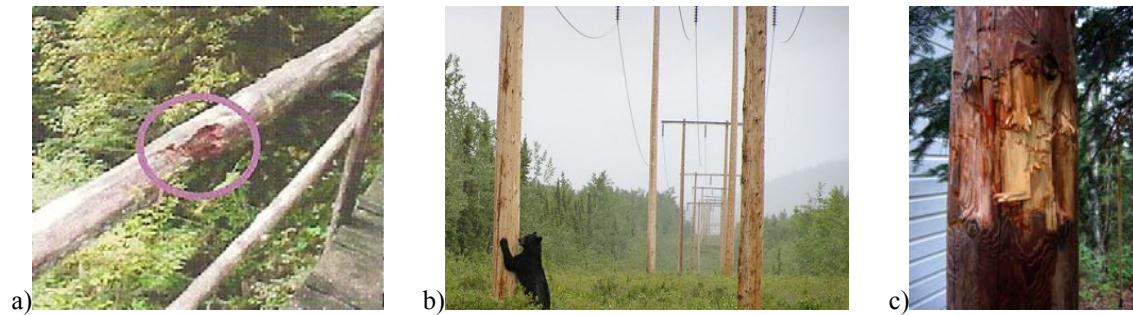



Figura 3.67. Danos por animais silvestres: a) mordida de urso em guarda-corpo de ponte de madeira, BRASHAW et al (2012); b) arranhões em postes de madeira, INTEC (2014); c) mordidas em postes, BEAR.ORG (2014).

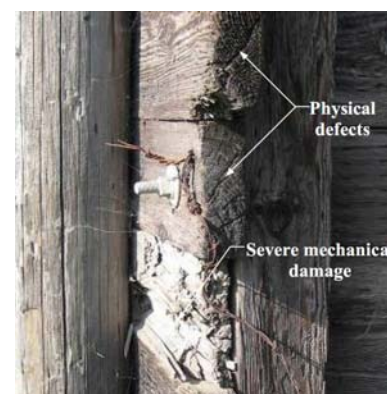
Nas Tabelas 3.5 e 3.6 são apresentadas as principais características de sinais visuais de manifestações patológicas por agentes abióticos, com *Potencial de Risco de Deterioração*.

Tabela 3.5. Características de sinais visuais de manifestações patológicas por agentes abióticos, com Potencial de Risco de Deterioração.

Manifestação patológica	Características visuais
<p>Principais quebras da barreira química de tratamento preservativo por agentes abióticos</p>  <p>(a) (b) (c) (d)</p>	<p>As principais quebras da barreira química do tratamento preservativo por agentes abióticos, oriundas de danos por ações externas apresentadas por BIGELOW et al (2007), que favorecem à biodeterioração prematura por apodrecimento destacam-se:</p> <p>(a) danos mecânicos; (b) danos de detritos em enchentes; (c) danos devido ao fogo; (d) danos por intemperismo (chuvas, raios ultravioleta, etc.).</p>

Danos mecânicos por impactos e defeitos naturais físicos

“Os danos mecânicos, por impactos e os defeitos naturais físicos, como fendilhados, fendas, rachas, etc., geralmente deixam a madeira não tratada exposta, favorecendo à biodeterioração por apodrecimento, BIGELOW et al (2007)”.



Fonte: BIGELOW et al (2007)

Danos mecânicos por abrasão mecânica e defeitos naturais físicos

“A foto ao lado indicam as características visuais de fungos de podridão parda, originárias da abrasão mecânica na superfície da madeira, com severas fendas longitudinais, em tabuleiros de pontes, BRASHAW et al (2012)”. Esses danos mecânicos favorecem a penetração e retenção da água pela quebra da barreira química de tratamento preservativo e/ou poças entre as fendas expressivas, que conduzem à biodeterioração por apodrecimento, RITTER e MORRELL (1990); BIGELOW et al (2007); BRASHAW et al (2012).



Fonte: BIGELOW et al (2007)

Fendas longitudinais decorrentes de ações atmosféricas de intemperismo

“Fendas longitudinais típicas em longarinas ou vigas externas, originárias de ações atmosféricas de intemperismo, como chuvas e raios ultravioletas devido à intensa exposição direta à luz solar, BIGELOW et al (2007)”. Nessas fendas longitudinais, quando há a quebra da barreira química de tratamento preservativo, pelas ações de agentes atmosféricos ficam favoráveis à biodeteriorações por apodrecimento, RITTER e MORRELL (1990); ARRIAGA et al (2002); MACHADO et al (2009); BIGELOW et al (2007); BRASHAW et al (2012).



Fonte: BIGELOW et al (2007)

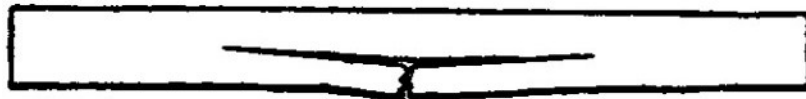
Tabela 3.6. Características de sinais visuais de manifestações patológicas por agentes abióticos, com Potencial de Risco de Deterioração (continuação).

Manifestação patológica	Características visuais
<p>Deformações, Deslocamentos e Flechas</p> <p><i>As deformações, deslocamentos e flechas, podem indicar excessivo carregamento, que precisa ser corrigido, ARRIAGA et al (2002); CALIL JR. et al (2006); MACHADO et al (2009); ALVIM et al (2011); BRANCO et al (2012). Em estruturas antigas o deslocamento pode ser oriundo do efeito da fluência, por flechas diferidas no tempo, ou secagem a partir de uma condição de madeira verde.</i></p>	 <p>Fonte: BRITO e CALIL (2013)</p>
<p>Anomalias em ligações</p> <p><i>As ligações entre elementos estruturais sempre devem ser consideradas como pontos fundamentais na segurança de estruturas de madeira. Em certos casos, a falha de uma conexão poderá ser responsável pelo colapso da estrutura; CALIL et al (2003); BRITO (2010); CALIL e BRITO (2010). Erros de concepção em ligações em projetos, construções e/ou manutenções de elementos estruturais de madeira, podem conduzir à manifestações patológicas físicas graves.</i></p>	 <p>Fonte: MACHADO et al (2009)</p>
<p>Danos por inchamento e retração da madeira</p> <p><i>As ligações, quando montadas em elementos estruturais com madeira verde e expostas para secar in loco, podem resultar em retrações, fissuras, distorções ou outras formas de rupturas locais, CALIL JR. et al (2006); ARRIAGA et al (2002); MACHADO et al (2009). A foto ao lado exemplifica a característica visual de danos por inchamento e retração da madeira, em regiões de proximidades de ligações em vigas de defensas de pontes de madeira, BRASHAW et al (2012).</i></p>	 <p>Fonte: BRASHAW et al (2012)</p>
<p>Biodeterioração por apodrecimento decorrentes defeitos naturais</p> <p><i>“Sinais visuais comuns de biodeterioração por apodrecimento interno em estacas de madeira, na interface de lâminas d’água, geralmente oriundas pela penetração e retenção da água em fendas longitudinais e/ou fendilhados, decorrentes da quebra da barreira química de tratamento preservativo, BIGELOW et al (2007). As vegetações em crescimento, geralmente podem ser indicativos de biodeterioração interna por apodrecimento”.</i></p>	 <p>Fonte: BIGELOW et al (2007)</p>

Na Tabela 3.7 são apresentadas as principais características de sinais visuais de *Modos de Ruptura* em vigas biapoiadas conforme a ASTM D 143-14, que podem auxiliar como subsídio em avaliações *em campo* de causas de rupturas em vigas.

Tabela 3.7. Características de sinais visuais de *Modos de Ruptura* em vigas biapoiadas conforme a ASTM D 143-14.

Características visuais de *Modos de Ruptura* em vigas biapoiadas



a) Ruptura por tração simples [ingl.: Simple Tension] (Vista lateral).



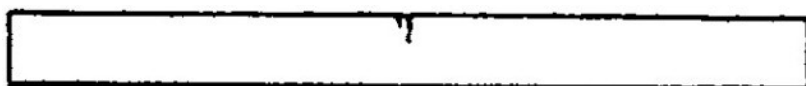
b) Ruptura por tração inclinada às fibras [ingl.: Cross-grain Tension] (Vista lateral).



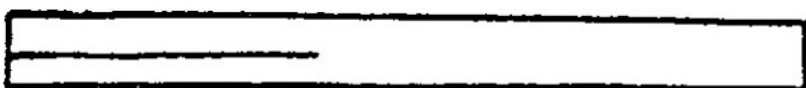
c) Ruptura por tração em lascas [ingl.: Splintering Tension] comum em madeiras duras (Vista da tensão superficial).



d) Ruptura frágil [ingl.: Brash Tension] (Vista da tensão superficial).



e) Ruptura por compressão [ingl.: Compression] (Vista lateral).



f) Ruptura por cisalhamento [ingl.: Horizontal Shear] (Vista lateral).

Diante do exposto nesse vasto capítulo, fica evidente que os profissionais envolvidos em inspeções para avaliações de elementos estruturais em madeira, necessitam de amplo conhecimento multidisciplinar das características visuais e dos fatores e agentes bióticos e abióticos envolvidos aos efeitos das manifestações patológicas em estruturas de madeira.

4 METODOLOGIAS USUAIS DE INSPEÇÕES

A avaliação de estruturas de madeira em serviço requer conhecimentos específicos e experiência, ocasionando muitas vezes dificuldades em identificar e quantificar os agentes envolvidos em manutenções de conservação e/ou reabilitações de edificações. Por um lado, frequentemente em Portugal, engenheiros e arquitetos envolvidos em reabilitações debatem-se geralmente com falta de formação relativamente ao material madeira e às técnicas de sistemas estruturais tradicionais, que lhes permitam interpretar as estruturas e estimar os efeitos de eventuais anormalidades que essas apresentem. Infelizmente, essas limitações geralmente acabam por permitir intervenções de reabilitações em que a recuperação das estruturas de madeira não recebam a mesma atenção e nem seja detalhada com o mesmo nível que outros elementos estruturais com outros materiais, a exemplo do concreto e do aço, e em situações em que os profissionais confiem ao critério e capacidade do empreiteiro, sem a correta avaliação da existente, a especificação cuidadosa dos materiais envolvidos assim como também ocorrem com detalhamentos de ligações (CRUZ, 2011).

Para os casos de estruturas de pontes de madeira, Ritter e Morrell (1990) descrevem que *“a decisão de se estabelecer um programa de gestão de manutenção de pontes de madeira é uma tarefa difícil, pois isso decorre na maioria das vezes após o usuário ter sofrido prejuízos em função da má gestão de manutenção anterior”*, observa-se que isso ocorre inclusive nos Estados Unidos. Como qualquer investimento, uma estrutura de madeira deve ser inspecionada e mantida em uma base regular para maximizar o investimento e minimizar os custos que poderiam ser gerados com manutenções corretivas, ao longo da Vida útil. No entanto, a maioria dos usuários simplesmente constroem as estruturas e abrem mão das manutenções periódicas e preventivas, na esperança de que, uma vez construída, a estrutura é eterna. Fora os casos em que o usuário, sem conhecimento de causa, culpam a qualidade do material, quando, na verdade, o projeto estrutural e executivo, foram projetados por profissionais que não são especialistas na área, além da má gestão nas práticas de construção e ausência de mão-de-obra especializada, em que esses são provavelmente, os principais fatores geradores do alto potencial de risco de deterioração.

Assim como isso tem ocorrido em outros países, como a exemplo de Portugal, Estados Unidos, o mesmo tem sido constatado no Brasil. A ABNT NBR 5674:1999 denomina inspeção como a avaliação do estado da edificação e de suas partes constituintes, realizada para orientar as atividades de manutenção.

Ao longo da vida de uma ponte de madeira, a deterioração pode ser minimizada por inspetores especialistas e atentos, que identificam e registram as informações de avaliações quanto às condições de durabilidade e desempenho da estrutura. Com essas informações, as operações de manutenção oportunas podem ser tomadas para corrigir as situações que poderiam levar a reparos extensivos ou mesmo a substituição. No entanto, os inspetores de estruturas de madeira tem a difícil tarefa de avaliar com precisão a condição de uma determinada estrutura existente. Dessa maneira, é fundamental que os especialistas devam compreender os fatores bióticos e abióticos associados com a deterioração da madeira, assim como a velocidade relativa em que esses processos ocorrem em um determinado ambiente. Segundo Ritter e Morrell (1990), as técnicas de inspeções de elementos estruturais de madeira são processos que requerem conhecimentos das manifestações patológicas na madeira, tecnologias da madeira, e engenharia de estruturas de madeira.

Diante desse contexto, nesse capítulo de fundamental importância são apresentadas as principais técnicas de inspeção para avaliações de elementos estruturais de madeira, dando ênfase às técnicas não destrutivas (NDT). Também são apresentados critérios para inspeção de uma dada estrutura de madeira, que deva ser realizada com coletas de informações, obtidas em inspeções *in loco*, com o intuito de avaliar o estado de conservação, da degradação biológica, mecânica ou física envolvendo elementos estruturais e ligações, e a qualidade geral da estrutura, englobando a identificação de possíveis riscos de segurança, dando ênfase na metodologia de *Avaliação do Potencial de Risco de Biodeterioração*, em função do sistema de *Categorias de Uso* do projeto de norma da NBR 7190:2011 aqui renomeados de *Classes de Risco*.

4.1 Técnica de inspeção não destrutiva (NDT)

A Técnica não destrutiva [ingl.: Non Destructive Technique (NDT)] para inspeção em avaliação não destrutiva [ingl.: Non Destructive Evaluation (NDE)] é a ciência aplicada para identificar as propriedades físicas e mecânicas dos materiais sem alterar suas capacidades de uso final e então usar essas informações para tomada de decisões sobre aplicações apropriadas [(PELLERIN; ROSS, 2002); (CALIL JR, 2011); (BRITO; CALIL JR., 2013)b]. As técnicas não destrutivas para inspeções em avaliações tecnológicas têm contribuído significativamente para detectar manifestações patológicas em estruturas de madeira [(BRASHAW et al, 2005)a; (BRASHAW et al, 2005)b; (BRITO e CALIL JR., 2013)b].

Diante do contexto, esse capítulo tem o intuito de apresentar, de maneira sistematizada, os principais tipos de técnicas não destrutivas (NDT) utilizadas em diversos países, em inspeções para avaliação de manifestações patológicas existentes em elementos estruturais de madeira.

As propostas de técnicas de inspeções *in loco* indicadas na Tabela 4.1 por Highley e Scheffer (1989) e na Tabela 4.2 por Ritter e Morrell (1990), aparentam semelhanças, pois ambos dividem em duas categorias, as técnicas de inspeções para detectar deterioração em elementos estruturais de madeira:

- ✓ Técnicas para detectar evidencia de deterioração externa superficial na madeira;
- ✓ Técnicas para detectar deterioração interna na madeira.

No entanto, as divisões das técnicas de inspeções nessas categorias são distribuídas de maneira diferenciada nesses trabalhos. Highley e Scheffer (1989) consideram a técnica sondagem superficial com picoteamento para detectar deterioração interna na madeira. Já Ritter e Morrell (1990) consideram que a técnica de sondagem superficial com picoteamento é utilizada para detectar evidências de deterioração externa na madeira, além de apresentar outras técnicas, conforme indicações na Tabela 4.2.

Tabela 4.1. Técnicas de inspeção *in loco* com propostas de HIGHLEY E SCHEFFER (1989), USDA, FPL-RP-494.

Técnicas para detectar deterioração na madeira	
Técnica para detectar evidencia de deterioração externa superficial na madeira	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Técnica de inspeção visual
Técnicas para detectar deterioração interna na madeira	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Percussão: Interpretação sonora com martelo [ingl.: Sounding] ▪ Sondagem superficial com picoteamento [ingl.: Probing/Pick test] ▪ Perfuração com análise tátil/visual [ingl.: Drilling] ▪ Perfuração com trado de amostragem [ingl.: Boring]

Conforme pode ser observado na Tabela 4.2, Ritter e Morrell (1990) também divide as técnicas de inspeções para detectar deterioração em elementos estruturais de madeira nas duas categorias propostas por Highley e Scheffer (1989). Em ambos os casos, as técnicas e/ou equipamentos específicos são adequados para determinados tipos de dano, e a sua utilidade varia dependendo do tipo de estrutura. Apesar de existirem uma grande variedade de técnicas de inspeção que possam ser utilizadas, na prática, geralmente o inspetor utiliza apenas algumas ferramentas. As técnicas e/ou equipamentos são muitas vezes definidas em função do orçamento, experiência anterior e em função do tipo de patologia detectada. Ritter e Morrell (1990) ainda frisam que “*nenhum equipamento pode substituir um inspetor bem treinado, que tenha um amplo conhecimento das propriedades e sistemas estruturais de madeira*”.

Tabela 4.2. Técnicas de inspeção *in loco* com propostas de RITTER e MORRELL (1990), USDA/FS/FPL.

Técnicas para detectar deterioração na madeira	
Técnica para detectar evidencia de deterioração externa superficial na madeira	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Técnica de inspeção visual ▪ Sondagem superficial ao puncionamento [ingl.: Probing] ▪ Sondagem superficial com picoteamento [ingl.: Pick test] ▪ Medidor de densidade superficial Pilodyn®
Técnicas para detectar deterioração interna na madeira	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Percussão: Interpretação sonora com martelo [ingl.: Sounding] ▪ Medidor de umidade [ingl.: Moisture meters] ▪ Medidor de condutividade elétrica Shigometer ▪ Perfuração com análise tátil/visual [ingl.: Drilling and Coring] ▪ Indicador de profundidade Shell-Depth ▪ Ultrason [ingl.: Sonic Evaluation] ▪ Raio-X ▪ Scanners de tomografia

Além das propostas de técnicas de inspeções indicadas por Highley e Scheffer (1989) e por Ritter e Morrell (1990), na Europa Bonamini (1995) apresenta propostas adicionais de técnicas para inspeções para avaliações de elementos estruturais de madeira, conforme indicado na Tabela 4.3.

Tabela 4.3. Técnicas de inspeção *in loco* com propostas de BONAMINI (1995) UNIFI, Itália Università degli Studi di Firenze citado em Step 2/EC-5.

Técnicas para detectar deterioração na madeira	
Técnica para detectar evidencia de deterioração externa superficial na madeira	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Técnica de inspeção visual geral (global) de Nível 1 ▪ Técnica de inspeção visual detalhada (localizada) de Nível 2
Técnicas para detectar deterioração interna na madeira em inspeções de Nível 2	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Endoscopia [ingl.: Endoscopy] ▪ Termografia [ingl.: Thermography] ▪ Raio-X; ▪ Raio-Gama ▪ Tomografia computadorizada ▪ Ressonância magnética ▪ Propriedades vibracionais [ingl.: vibrations] ▪ Emissão acústica [ingl.: acoustic emission] ▪ Ondas de tensão [ingl.: stress wave (ultrason, impact)] ▪ Medidor de densidade superficial Pylodin ▪ Resistência à perfuração [ingl.: Drilling resistance] ▪ Transdutores de deslocamentos [ingl.: Displacement transducers] ▪ Medidores de deslocamentos [ingl.: strain gauges] ▪ Ensaio de dureza [ingl.: Hardness] ▪ Ensaio de arrancamento [ingl.: Screw withdrawal] ▪ Ensaio estáticos ▪ Provas de carga

Nas Tabelas 4.4; 4.5 e 4.6 estão expostas as principais técnicas não destrutivas (NDT) de inspeção para avaliações de elementos de madeira, apresentados respectivamente por Arriaga et al (2002); Pellerin e Ross (2002) e Machado et al (2009).

Tabela 4.4. Técnicas de inspeção *in loco* com propostas de ARRIAGA et al (2002) para AiTiM, Espanha.

Técnicas para detectar deterioração na madeira	
Técnicas tradicionais de inspeção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Técnica de inspeção visual ▪ Sondagem superficial ao puncionamento [ingl.: Probing] ▪ Sondagem superficial com picoteamento [ingl.: Pick test] ▪ Percussão: Interpretação sonora com martelo [ingl.: Sounding] ▪ Perfuração com análise tátil/visual [ingl.: Drilling] ▪ Medidor de umidade ▪ Endoscópio
Técnicas especiais de inspeção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ultrassons ▪ Métodos vibracionais induzidos ▪ Microperfuração controlada Resistograph ▪ Medidor de densidade superficial Pylodin ▪ Gamma-densitometria ▪ Fractometro (equipamento p/ avaliação de amostras de trado) ▪ Identificação da espécie de madeira ▪ Detecção acústica de insetos xilófagos

Tabela 4.5. Técnicas não destrutivas (NDT) para avaliações de elementos estruturais de madeira propostas por PELLERIN e ROSS (2002) USDA/FS/FPL, USA.

Técnicas não destrutivas (NDT) para avaliações de madeira	
Técnica de Inspeção visual (Avaliações das características visuais)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Cor ▪ Presença de defeitos
Testes químicos	Composição Presença de tratamentos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Preservativos ▪ Retardadores de chama
Testes Físicos	Resistência elétrica Propriedades dielétricas Propriedades vibracionais <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vibração transversal Propagações de ondas <ul style="list-style-type: none"> ▪ Ondas de tensão longitudinal Emissões acústicas Ultrassom Raio-X
Ensaio Mecânicos	Rigidez à flexão: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Classificação mecânica de madeira serrada Prova de carga: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Flexão ▪ Tração ▪ Compressão Sondagens: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sondagem superficial ao puncionamento ▪ Sondagem superficial com picoteamento ▪ Perfuração com análise tátil/visual ▪ Perfuração com trado de amostragem ▪ Microperfuração controlada Resistograph

Fonte: PELLERIN e ROSS (2002) adaptada pelo Autor.

Tabela 4.6. Resumo das técnicas de inspeção *in loco* com propostas de MACHADO et al (2009) pesquisadores das universidades LNEC; UC e IFT Instituto Federal Técnico de Lisboa.

Técnicas para detectar deterioração na madeira	
Técnicas tradicionais de inspeção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Técnica de inspeção visual ▪ Sondagem superficial ao puncionamento [ingl.: Probing] ▪ Sondagem superficial com picoteamento [ingl.: Pick test] ▪ Percussão: Interpretação sonora com martelo [ingl.: Sounding] ▪ Perfuração com análise tátil/visual [ingl.: Drilling] ▪ Medidor de umidade ▪ Termohigrómetros
Técnicas especiais de inspeção	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Microperfuração controlada Resistograph ▪ Medidor de densidade superficial Pylodin ▪ Ultrassons ▪ Termografia ▪ Raio-x ▪ Emissão acústica

Em função da série de propostas de técnicas de inspeções, apresentadas por renomados pesquisadores internacionais, a fim de sistematizar, propõe-se dividi-las em duas categorias semelhantes às propostas por Ritter e Morrell (1990), e complementando-as com as novas técnicas propostas pelos demais pesquisadores. Para isso apresenta-se na Tabela 4.7 uma proposta de metodologia com técnicas não destrutivas, que podem ser utilizadas em função do nível de inspeção.

Diante do grande e sistemático levantamento na revisão de técnicas não destrutivas (NDT) e equipamentos de inspeções, referenciadas por renomados pesquisadores, e em função da disponibilidade de equipamentos, acessíveis nessa pesquisa, a metodologia de sequência proposta pelo Autor descreve as principais técnicas não destrutivas (NDT) e equipamentos, para detectar evidências de deterioração externa e interna em elementos estruturais de madeira, dando ênfase as ferramentas e equipamentos mais acessíveis economicamente e na facilidade de manuseio *in loco* (Figura 4.1). Como subsídio na contribuição da pesquisa de metodologias de inspeções com técnicas não destrutivas (NDT), o Autor disponibilizou no Apêndice A, quinze exemplos de trabalhos de estudos de campo, realizados *in loco* de inspeções para avaliações de elementos estruturais de madeira.

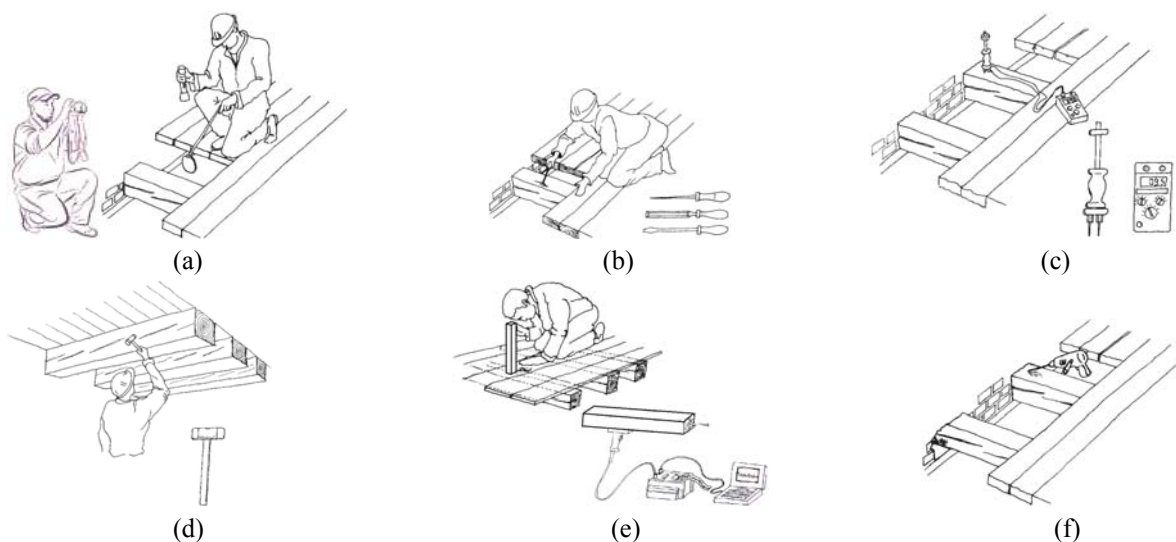


Figura 4.1. Metodologia sequencial de Técnicas Não Destrutivas (NDT) para inspeção, proposta pelo Autor: 1. Técnicas para detectar deterioração externa – (a) Técnicas de Inspeção Visual (registros de fotos, termografia); (b) Sondagens Superficiais (testes ao puncionamento e/ou picoteamento); (c) Medidor de umidade; 2. Técnicas para detectar deterioração interna - (d) Testes à percussão (e) microperfuração controlada com Resistograph (informações qualitativas sobre resistência à perfuração); (f) Perfuração com análise tátil/visual, e/ou perfuração com trado de amostragem. Fonte: ARRIAGA et al (2002), adaptadas de pelo Autor.

Tabela 4.7. Principais técnicas não destrutivas (NDT) para critérios de escolha de metodologias para avaliações de elementos estruturais de madeira, em função do nível de inspeção.

Nível de inspeção	Tipo de inspeção	Tipo de avaliação	
Nível 1 Inspeção Preliminar (geral)	Inspeção Visual Preliminar	Técnica inspeção visual geral com fotos Termografia Medidor de umidade Trena digital a laser	Externa superficial Externa superficial Externa superficial Flechas
	Ensaio mecânicos nos principais elementos	Interpretação sonora com martelo Sondagens: ▪ Sondagem superficial ao puncionamento ▪ Sondagem superficial com picoteamento ▪ Medidor de densidade superficial Pilodyn®	Interna Externa superficial Externa superficial Externa superficial
Nível 2 Inspeção Detalhada (por elemento)	Inspeção Visual Detalhada	Técnica de inspeção visual com fotos Medidor de umidade Indicador de profundidade Shell-Depth Trena digital a laser Endoscópio	Externa Externa superficial Interna Flechas Interna
	Ensaio mecânicos	Teste à percussão Sondagens: ▪ Sondagem superficial ao puncionamento ▪ Sondagem superficial com picoteamento ▪ Medidor de densidade superficial Pilodyn® ▪ Perfuração com análise tátil/visual ▪ Perfuração com trado de amostragem ▪ Microperfuração controlada Resistograph Prova de carga: ▪ Flexão ▪ Tração ▪ Compressão	Interna Externa superficial Externa superficial Externa superficial Interna Interna Interna
	Testes físicos	Emissão acústica Ultrassom	Interno Interno
	Testes químicos	Composição Presença de tratamentos: ▪ Preservativos ▪ Retardador de chama	Interno Interno Interno
	Testes biológicos	Análise de cultura de micro-organismos	Interna

Obs.: Tabela de metodologia elaborada pelo Autor, com base nas referências de renomados pesquisadores citados nesse item.

4.1.1 Técnicas de inspeção para detectar evidências de deterioração externa na madeira

Para a *Inspeção Preliminar*, recomenda-se o uso de técnicas para detectar evidências de deteriorações e/ou danos superficiais externos. As deteriorações externas são mais fáceis de detectar, pois na maioria dos casos, as regiões estão facilmente acessíveis para o inspetor. Segundo Ritter e Morrell (1990), a facilidade de detecção depende da gravidade do dano e do método de inspeção, e considera que os métodos e/ou equipamentos mais utilizadas incluem a inspeção visual, sondagem superficial ao punctionamento, sondagem superficial com picoteamento, e o uso do Pilodyn[®]. Quando as regiões externas deterioradas são detectadas por estes métodos, torna-se necessário o uso de investigação adicional com outros métodos para a *Inspeção Detalhada*, fazendo-se necessária confirmar e definir a extensão do dano.

Arriaga et al (2002) recomendam uma lista de equipamentos para *Inspeção Preliminar*, como: lanterna, lupa, espelho, martelo, punção e/ou formão, furadeira manual portátil, pincéis e brochas, plaina, máquina fotográfica, pé-de-cabra, marreta, medidor de umidade, endoscópio, telescópio, martelo pneumático, além é claro de equipamentos de proteção individuais (EPI's: capacete, cinto de segurança, máscara, etc.).

4.1.1.1 Técnica de Inspeção Visual

Segundo Ritter e Morrell (1990) o método mais simples para se detectar a deterioração é pela *técnica de inspeção visual*. O inspetor observa a estrutura para sinais de deteriorações reais ou potenciais, observando criticamente as regiões investigadas de maneira mais criteriosa. A *técnica de inspeção visual* necessita de uma boa iluminação, adequada para a detecção de deteriorações superficiais ou internas. “*Geralmente, não é possível detectar deteriorações em fases iniciais, quando o controle é mais efetivo, e nunca deve ser empregada como único método em uma inspeção*”. Bonamini (1995) divide a *Técnica de Inspeção Visual* em dois níveis:

- ✓ *Técnica de Inspeção Visual Geral (global) de Nível 1;*
- ✓ *Técnica de Inspeção Visual Detalhada (localizada) de Nível 2.*

Seja na *Inspeção Preliminar* ou na *Inspeção Detalhada*, a *Técnica de Inspeção Visual* consiste em realizar levantamentos de anomalias visíveis a olho nu ou com equipamentos, em elementos estruturais de madeira, com o intuito identificar os sinais mais comuns de deteriorações e diagnosticar os sintomas das manifestações patológicas [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989)^{p14}; (RITTER; MORRELL, 1990)^{p13-26}; (BONAMINI, 1995); (PELLERIN; ROSS, 2002)^{p63}; (ARRIAGA et al, 2002)^{p40,48}; (MACHADO et al, 2009)^{p17,49}; (BASTOS,

2011)^{p40}; (CALIL JR., 2011); (ROSSOW, 2012)^{p6.1.8}; (BRANCO et al, 2012); (BRITO; CALIL JR., 2013)], tais como: presença de crescimento de plantas e/ou fungos; presença de manchas ou descolorações; presença de corpos-de-frutificação e/ou hifas; atividades de insetos, através de orifício e/ou resíduos gerados por térmitas e ou brocas; presença de defeitos, flechas, entre outras características visuais de agentes de deterioração da madeira, já comentados no capítulo correspondente.

O registro de fotos são ferramentas fundamentais para avaliação visual do estado da estrutura, Ritter e Morrell (1990); Reginatto et al (2004). O ideal é que sejam registradas diversas fotos a cada nova visita. Para isso o mais indicado é uma máquina digital com flash, pois permite o armazenamento de uma grande quantidade de fotos digitais, e possibilita que os arquivos sejam rapidamente baixados para um computador. É fundamental registrar em fotos todas as manifestações patológicas detectadas em elementos estruturais, além de detalhes construtivos, tais como sistemas de encaixes, entalhes, ligações e conexões. Dessa maneira, têm-se a necessidade que haja anotações a respeito das fotos registradas, facilitando a catalogação das fotos com os desenhos dos respectivos elementos estruturais. Quando se tratar de fendas ou elementos xilófagos, recomenda-se o auxílio de trenas, objetos ou até mesmo dedo do inspetor, para servir de parâmetro na avaliação da grandeza da deterioração (REGINATTO et al, 2004).

Complementa-se que o uso de equipamentos como máquinas fotográficas digitais de alta resolução, binóculos e/ou lunetas, também pode ser necessário e contribue no auxílio em diversos casos de inspeções visuais de grandes estruturas. O drone é outro equipamento sofisticado que se tem utilizado na atualidade, que pode auxiliar em inspeções visuais em locais de difícil acesso, Figura 4.2. No entanto ainda é um equipamento de custo relativamente caro no Brasil.

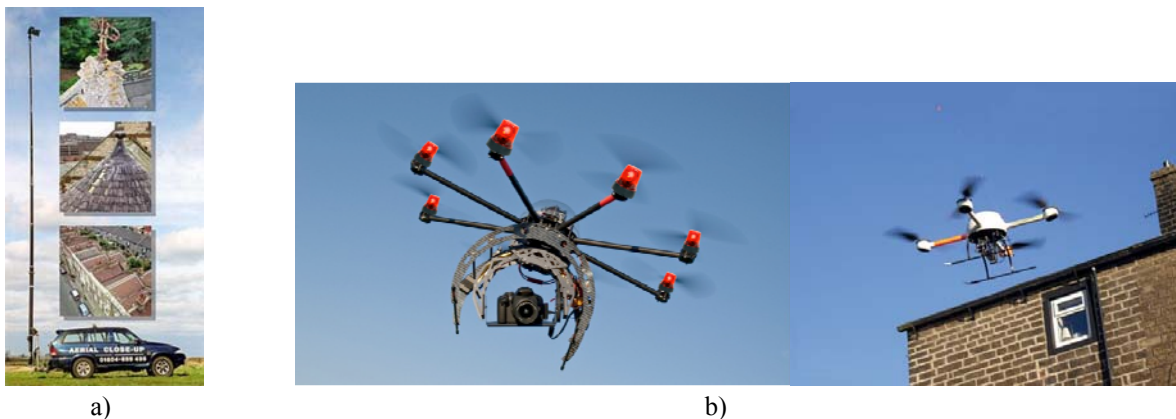


Figura 4.2. Inspeções visuais em locais altos de difícil acesso: a) sistema de inspeção da AERIAL PHOTOGRAPHY apud GARCEZ (2009); b) Drone, equipamento que pode ser utilizado para inspeções visuais, para detectar evidências de deteriorações externas em estruturas, em locais altos de difícil acesso. Fonte: HALL (2011).

4.1.1.2 Teste ao puncionamento

O teste de sondagem superficial ao puncionamento manual [ingl.: Probing], com uso de ferramenta de sonda moderadamente pontiaguda (punção), é a técnica utilizada para detectar deterioração ou fungo apodrecedor superficial na madeira, manifestando-se maciez excessiva ou a falta de resistência à penetração de sonda (punção) [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989)^{p17}; (RITTER; MORRELL, 1990)^{p13-29}; (ROSS; PELLERIN, 1994)^{p7}; (PELLERIN; ROSS, 2002)^{p55}; (ARRIAGA et al, 2002)^{p49}; (MACHADO et al, 2009)^{p51}; (ROSSOW, 2012)^{p6.1.9}; (BRANCO et al, 2012); (BRITO; CALIL JR., 2013); (CUNHA, 2013)]. Embora a sondagem ao puncionamento seja um método aparentemente simples de inspeção, é necessária experiência do inspetor, para interpretar os resultados. Um cuidado especial deve ser tomado para diferenciação tátil à maciez e ao puncionamento, entre a deterioração ocasionada por fungo apodrecedor e a maciez ocasional em madeira encharcada, que pode aparentar mais macia do que a madeira seca. Em certos casos também é difícil de avaliar danos em madeiras de espécies mais macias como o cedro vermelho ocidental, por exemplo (RITTER; MORRELL, 1990).

4.1.1.3 Teste de picoteamento

O teste de sondagem superficial com picoteamento [ingl.: pick test] é um dos mais simples, e mais amplamente utilizado, entre os métodos para detecção de biodeteriorações superficiais. O teste de picoteamento consiste no uso de uma ferramenta pontiaguda como formão ou punção, a ser manuseada a uma curta distância na madeira, a fim de elevar uma pequena lasca de madeira (Figura 4.3) [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989); (RITTER; MORRELL, 1990); (ROSS; PELLERIN, 1994)^{p7}; ASTM STP 1351 (2000); (CRUZ, 2001); (PELLERIN; ROSS,

2002); (ARRIAGA et al, 2002)^{p49}; (ANDERSON et al, 2003); (SHUPE et al, 2008)^{p24}; (MACHADO et al, 2009)^{p51}; (BRANCO et al, 2012); (BRITO; CALIL JR., 2013); (CUNHA, 2013)]. Dessa maneira, a quebra da madeira é examinada para determinar se a região está frágil e quebradiça que indica a biodeterioração por apodrecimento, ou com lascas com fibras bem definidas, que indica madeira sã [ingl.: sound] (Figuras 4.3 a; b). A madeira sã apresenta uma estrutura de estilhaços fibrosos quando quebrados entre às fibras. Já a madeira deteriorada por fungo apodrecedor se rompe abruptamente entre à fibras ou é triturada em pequenos pedaços. Diversos estudos indicam que o teste de sondagem superficial com picoteamento é razoavelmente confiável para a detecção de biodeterioração superficial na madeira. A desvantagem desse método é a necessidade de remoção de parte de madeira para cada teste (RITTER; MORRELL, 1990).

Outra técnica semelhante a essa, mas que se diferencia na análise visual, Berry (1994) apud Cruz (2001) e Arriaga et al (2002) recomendam utilizar ferramentas pontiagudas para detectar o nível de profundidade de ataque por térmitas, brocas entre outros perfuradores, e a escolha para a detecção geralmente é realizada em regiões com camadas aparentemente frágeis e/ou lascas soltas, Figura 4.3c.



a) madeira sã: lascas longas b) biodeterioração: rompimento abrupto c) Detecção de brocas

Figura 4.3. Para o teste pela técnica de sondagem superficial com picoteamento, para detectar biodeteriorações na camada superficial da madeira: a) em casos de madeira sã a lasca na madeira é levantada em longas lascas. b) em casos de biodeterioração a lasca na madeira biodeteriorada rompe abruptamente ao cortando as fibras sem estilhaçar. HIGHLEY E SCHEFFER (1989) citado também em RITTER e MORRELL (1990); c) Para o teste com ferramenta pontiaguda para identificação da profundidade do ataque em madeira deteriorada por brocas, BERRY (1994) apud CRUZ (2001).

4.1.1.4 Termografia (Câmera foto térmica)

A termografia é muitas vezes proposta na fase inicial de levantamento das manifestações patológicas em estruturas de madeira, [(BONAMINI, 1995); (TELES; VALLE, 2002); (CORTIZO, 2007); (MACHADO et al, 2009)]. No entanto, segundo Bonamini (1995) essa é uma técnica raramente utilizada, em função da baixa condutividade térmica da madeira. A utilização de método não destrutivo pela técnica da termografia é bastante difundida em

países Europeus. No entanto, segundo Cortizo (2007) a diferença e a especificidade do Brasil, devido a sua posição tropical, com regime climático diferenciado, aos materiais empregados nas edificações do século passado e as técnicas construtivas, justificam e impõem o emprego dessa tecnologia em avaliações para garantia e salvaguarda do valioso Patrimônio Histórico e Cultural do nosso País. A título de apresentação da técnica Cortizo (2007) avaliou resultados do emprego de técnicas de transferência de calor pela radiação da termografia e condução de calor com termopares, como ferramentas de diagnóstico de presença de elementos estruturais ocultos e de anomalias na edificação histórica da Capela de São Sebastião das Águas Claras, construída no século XVII, em adobe, implantada no Município de Nova Lima, MG. A técnica distingue no mecanismo de observação de transferência de calor, e os resultados como podem ser observados na Figura 4.4, possibilitam identificar as estruturas de madeira na edificação, e ainda a presença de algumas anomalias, além de regiões com concentração elevada de umidade [(CORTIZO, 2007); (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p26}]. Esse método de avaliação de edificações, utilizando recursos de termografia digital sem contato, em certos casos aliadas a outras técnicas, pode possibilitar a tomada de decisão para intervenções civis necessárias para conservação e preservação de estruturas de madeira.



Figura 4.4. Processo de comparação visual qualitativo para validação dos resultados de CORTIZO (2007) no uso do método de termografia confrontando fotos, a fim de identificar similaridades entre os mesmos, para avaliação da estrutura das edificações históricas da capela.

4.1.1.5 Medidor de umidade

Com a deterioração da madeira, certos eletrólitos são libertados a partir da estrutura da madeira e as propriedades elétricas do material são alteradas. Com base nesse fenômeno, várias ferramentas podem ser usadas na detecção para avaliação do *Potencial de Risco de Biodeterioração* por apodrecimento em função de alterações nas propriedades elétricas. Um dos equipamentos mais simples é o medidor de umidade fundamentado à resistência elétrica (Figura 4.1c) [(RITTER; MORRELL, 1990)^{p13-31}; (ARRIAGA et al, 2002)^{p47}; (TELES;

VALLE, 2002); (MACHADO et al, 2009)^{p51}; (PRIETO et al, 2008)^{p38}; (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p20}; (ROSSOW, 2012)^{p6.1.8}; (FEIO et al, 2006b); (DIAS, 2008); (BRANCO et al, 2012); (CUNHA, 2013)]. Esse aparelho utiliza duas sondas metálicas (agulhas, pinos) inseridas na madeira para medir a resistência elétrica e, assim, pode contribuir para medir e avaliar se o teor de umidade na madeira está favorável ao desenvolvimento de organismos de apodrecimento. Os aparelhos de medidores de umidade devem ser calibrados para a medição de temperatura, e são mais precisos para medidas com teores de umidade na madeira entre 12% e 22%. Segundo Ritter e Morrell (1990), os pinos são disponíveis em vários comprimentos para determinação do teor de umidade em profundidades de até 3” polegadas (~ 7,5 cm).

Apesar de não detectar diretamente a biodeterioração por apodrecimento [ingl.: decay], o medidor de umidade pode ser útil a identificar o alto teor de umidade na madeira, e recomenda-se verificar inicialmente em áreas suspeitas com potencial de risco de biodeterioração. Regiões com teores de umidade superiores a 30% podem indicar condições favoráveis para o aparecimento e desenvolvimento de biodeterioração por apodrecimento, a menos que a madeira compreendida nas proximidades da área afetada seja tratada com preservativos e esteja fora de regiões com ausência ou falhas por quebra da barreira química no tratamento preservativo. Se a inspeção for conduzida após um longo período excepcionalmente com umidade relativa do ar seco, os níveis mais baixos de umidade na ordem de 20% a 25% devem ser utilizados como um indicativo de condições de alto potencial de risco. No entanto, a esse respeito, refere-se de acordo a norma de segurança estrutural do Eurocode EC 5 CEN (2004), que estabelece a existência de risco de ataque por fungos sempre que a madeira estiver exposta valores de umidade superiores a 20%, sugerindo ainda que nos casos de madeiras que já tenham sido atacadas por fungos, este limite de segurança deve ser reduzido para 18%. Bonamini (1995) recomenda realizar várias medições do Teor de umidade na madeira, com aparelho medidor de umidade de resistência elétrica, com eletrodos isolados, a fim de determinar o valor gradiente de umidade e o valor médio de umidade, para localizar pontos críticos de umidade e formação de condensação. Ritter e Morrell (1990) consideram o medidor de umidade como uma técnica representativa para estimar deteriorações internas na madeira, no entanto, alguns autores como Arriaga et al (2002), recomendam essa técnica para avaliação superficial, pois geralmente as agulhas dos medidores de umidade possuem pequenas dimensões no comprimento.

Já os termohigrometros são equipamentos de medições de registo temporário, de *temperatura* e de *umidade relativa do ar* de forma a definir as condições ambientais para

estimativa da *Classe de Risco* e/ou teor de equilíbrio de umidade (MACHADO et al, 2009). Desta forma, através de leituras periódicas com o termohigrometro, pode ser possível atuar preventivamente, eliminando eventuais entradas de água, e verificando às regiões com maior potencial de risco ao ataque de fungos, que normalmente correspondem a regiões favoráveis à concentração de umidade, ou em regiões que apresentem fungos manchadores e fungos emboloradores e manchas de sujeira, mesmo depois de limpas, uma vez observado indício de ataques anteriores [(FEIO et al, 2006) apud (DIAS, 2008)].

4.1.1.6 Ensaio de arrancamento

O ensaio de arrancamento [ingl.: Screw withdrawal], consiste em um equipamento de estimativa da força necessária para a extração de um determinado parafuso, que induz a uma boa relação com a resistência da madeira no ponto avaliado, dessa forma, essa técnica pode fornecer informações importantes sobre deteriorações superficiais ou profundas em elementos estruturais de madeira, [(BONAMINI, 1995); (GONZÁLEZ, 2007)^{p31}]. A título de exemplificação, um equipamento portátil de arrancamento de parafusos, apresentado por González (2007)^{p77}, é o Screw Withdrawal Force Meter, desenvolvido pelo *Laboratório de Técnicas No Destructivas de la Madera* da *Universidad del Oeste de Hungria* em Sopron, e comercializado pela *Fakopp Enterprise* (Figura 4.5).

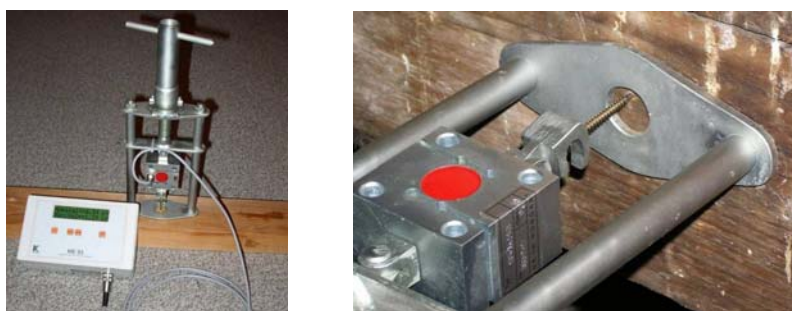


Figura 4.5. Equipamento portátil de arrancamento de parafusos. Fonte: GONZÁLEZ (2007).

4.1.1.7 Ensaios de Dureza

Os ensaios de dureza [ingl.: Hardness] nas faces dos elementos estruturais de madeira podem fornecer algumas informações sobre as condições superficiais locais do material. Os valores de resistência à dureza, ao longo de todo elemento pode ser obtido por meio de ensaios repetitivos, em diferentes pontos no mesmo elemento estrutural, no entanto Bonamini (1995) descreve que esses resultados podem gerar aproximações grosseiras.

4.1.1.8 Medidor de densidade superficial com Pilodyn®

Assim como o teste de sondagem superficial com picoteamento, o Pilodyn® também pode ser utilizado para detectar danos superficiais na madeira. O Pilodyn® trata-se de um equipamento com um dispositivo com mola que conduz um pino de aço enrijecido, internamente em uma pequena camada mais externa da madeira (Figura 4.6). A profundidade de penetração do pino (depois de um ou mais golpes, de acordo com o modelo do instrumento) é utilizada como uma medida do nível apodrecimento superficial [(RITTER; MORRELL, 1990); (BONAMINI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002)^{p60}; (TELES; VALLE, 2002); (FEIO, 2005)^{p29}; (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p23}; (SANTOS, 2009b)^{p47}; (GONZÁLEZ, 2007)^{p29}; (MACHADO et al, 2009)^{p51}; (HEIN, 2011); (BASTOS, 2011)^{p39}; (MARTINS et al, 2011); (BRANCO et al, 2012); (NEVES, 2013)^{p43}; (CUNHA, 2013)]. O Pilodyn® é amplamente utilizado na Europa, onde prevalece o ataque de fungo de podridão mole. Esse equipamento é também muito utilizado para medir a densidade da madeira em programas de melhoria em plantios de árvores. Segundo Ritter e Morrell (1990) em casos de suspeita de danos superficiais, o Pilodyn® pode conduzir a uma avaliação precisa, e os valores gerados podem ser correlacionados incorporando-os aos valores de teor de umidade e em função das propriedades das espécies da madeira avaliada. As variações dos resultados gerados no elemento estrutural, no ponto de teste, geralmente são em função da anisotropia da madeira, da densidade da madeira, do percentual de lenho tardio, e da habilidade do operador (BONAMINI, 1995).



Figura 4.6. O Pilodyn® possui um pino carregado por uma mola, que é impulsionado internamente na superfície da madeira. Em função da profundidade de penetração desse pino, resulta uma medição referente da condição da madeira, RITTER e MORRELL (1990), Foto: ABRAMI et al (2005).

De maneira a analisar melhor os resultados do ensaio de Pilodyn®, Santos (2009b)^{p47} propôs uma metodologia de mapeamento, de elementos estruturais de treliça, para representar os diferentes intervalos de valores de profundidade de penetração nos elementos estruturais de madeira (Figura 4.7).

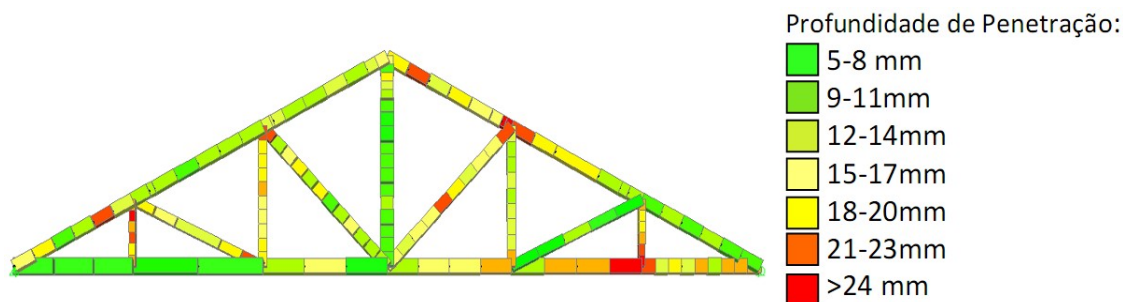


Figura 4.7. Mapeamento de profundidade de penetração do Pilodyn[®]. Fonte: SANTOS (2009b)^{p47}

4.1.2 Técnicas de inspeção para detectar deterioração interna na madeira

Ao contrário da deterioração externa, a deterioração interna, não é tarefa fácil de detectar, pois em certos casos, podem não apresentar sinais visíveis de sua presença [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989); (RITTER; MORRELL, 1990)]. Diversos métodos e equipamentos têm sido desenvolvidos para avaliar os danos internos que variam desde a complexidade de interpretar a intensidade de ressonância [ingl.: sounding] através de batidas com um martelo na superfície, até métodos mais sofisticados como o uso de resistograph, ultrassons, etc. Além disso, Ritter e Morrell (1990) descrevem que equipamentos como os medidores de umidade podem ser utilizados como contribuição para o inspetor identificar áreas onde as condições são favoráveis para o desenvolvimento de apodrecimento interno na madeira.

4.1.2.1 Teste à percussão

O teste à percussão [ingl.: sounding], aparentemente é simplista, porém de complexa interpretação, pois depende muito da experiência e habilidade do inspetor, que deve ter a habilidade de interpretar de ouvido, a intensidade de ressonância sonora à percussão, através de batidas com um martelo na superfície de madeira (Figura 4.1d) [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989)^{p17}; (RITTER; MORRELL, 1990)^{p13-31}; (ROSS; PELLERIN, 1994)^{p7}; (ARRIAGA et al, 2002)^{p48}; (MACHADO et al, 2009)^{p51}; (BRANCO et al, 2012); (BRITO; CALIL JR., 2013); (CUNHA, 2013)]. Esse é um dos métodos de inspeção mais antigos e mais comumente usados para detectar a deterioração interna na madeira. Com base na qualidade e intensidade dos tons dos sons de percussão gerados, o inspetor treinado pode interpretar sons intensos ou ocos que possam indicar a presença de grandes vazios ou regiões de apodrecimento no interior da madeira. Embora esse teste seja amplamente utilizado, muitas vezes é um teste de difícil interpretação, devido a diferentes tipos de biodeteriorações e fatores que podem contribuir nas variações na qualidade e intensidade sonora. Além disso, esse teste proporciona

apenas a uma imagem parcial da extensão da biodeterioração presente e não detecta estágios iniciais ou intermediários de biodeteriorações na madeira. No entanto, segundo Ritter e Morrell (1990) à devida experiência a essa técnica pode identificar rapidamente elementos estruturais seriamente biodeteriorados. Mas quando a suspeita de biodeterioração é detectada, essa deve ser verificada também por outros métodos, como por exemplo, perfuração com trado de amostragem e/ou microperfuração controlada com Resistograph, que serão apresentados mais adiante nesse capítulo.

4.1.2.2 Perfuração com análise tátil/visual

O método de perfuração [ingl.: drilling] para análise tátil/visual é geralmente realizado com furadeira elétrica ou manual, equipada com brocas que variam entre 3/8" a 3/4" de diâmetro. A perfuração com furadeira elétrica é mais rápida, mas a perfuração manual permite que o inspetor tenha uma melhor percepção e pode ser mais benéfica na detecção de focos de biodeterioração por fungos apodrecedores. Geralmente, o inspetor perfura no elemento estrutural, avaliando e observando as regiões perceptíveis à medida em que a perfuração é realizada com mais facilidade através de lances de torque, onde são observadas as aparas da perfuração para evidenciar se há ou não biodeterioração (Figura 4.8) [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989)^{p17}; (RITTER; MORRELL, 1990)^{p13-32}; (PELLERIN; ROSS, 2002)^{p55}; (ARRIAGA et al, 2002)^{p49}; (MACHADO et al, 2009)^{p51}; (ROSSOW, 2012)^{p6.1.8}; (PRESCHEM, 2012)]. A presença comum de defeitos naturais de madeira, como nós, bolsas de resina, e anormalidades nas fibras deve ser antevista durante a perfuração e não deve ser confundida com pontos de apodrecimento (RITTER; MORRELL, 1990). Caso seja detectado ou não o apodrecimento, o próprio furo de controle deve ser utilizado para adicionar tratamentos de preservação para a madeira, com preservativos líquidos ou como, por exemplo, inserindo os bastonetes Polesaver Rods de tratamento preservativo da PRESCHEM do Brasil LTDA.

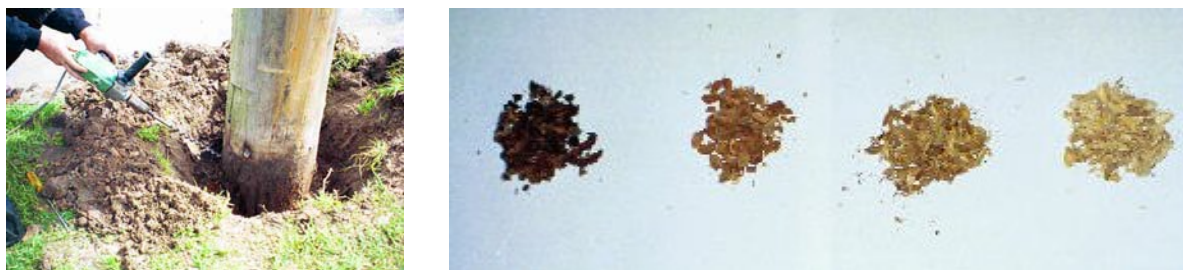


Figura 4.8. Perfuração com análise tátil/visual em região de interface na linha de afloramento em base de poste de madeira para detectar defeitos e apodrecimentos internos. O inspetor sente e escuta para a liberação de torque conforme a broca penetra na madeira, e examina evidências de apodrecimento nas aparas. Fonte: PRESCHEM (2012)

Uma queda significativa na resistência à penetração perfuração da broca pode ser um indicativo de apodrecimento. Aspectos como cheiro, cor e textura de raspas de aparas podem ser outros indicativos para evidenciar sinais de apodrecimento. As raspas de aparas de madeira apodrecidas trazidas pela broca tendem a ser mais escuras e mais facilmente esmagadas entre os dedos do que lascas de madeira de sã (HIGHLEY; SCHEFFER, 1989)^{p17}.

4.1.2.3 Perfuração com trado de amostragem

Assim como o método da perfuração [ingl.: drilling] para análise tátil/visual, o método de perfuração com trado de amostragem [ingl.: increment borer, boring or coring] é usado para extração de amostras de bastonetes, e são os métodos mais comuns para a detecção de deterioração interna em elementos estruturais de madeira [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989)^{p17}; (RITTER; MORRELL, 1990)^{p13-32}; (PELLERIN; ROSS, 2002)^{p55}; (FREITAS, 2009)^{p112}; (ROSSOW, 2012)^{p6.1.8}; (BRANCO et al, 2012); (CUNHA, 2013)]. Ambos os métodos são utilizados para detectar a presença de espaços vazios e para determinar a espessura da madeira residual quando existem vazios presentes. Esses dois métodos são semelhantes em muitos aspectos (RITTER; MORRELL, 1990).

A também denominada de retirada de amostras de bastonetes [do ingl.: increment borer, boring or coring] é resultante da técnica de perfuração com trado de retirada de amostragem, que também subsidiam em informações sobre a presença de bolsões de apodrecimento entre outros vazios. Essa perfuração subtrai um núcleo de madeira sólida (bastonete), retirado da madeira, que pode ser examinado cuidadosamente para a evidência de apodrecimento [do ingl.: decay] (Figura 4.9a; 4.9b). Quando apropriado, o núcleo de amostragem retirado com o trado também pode ser usado para obter uma medida precisa da profundidade de penetração e retenção de preservativo. Sempre que os elementos estruturais não demostrem sinais de deterioração, os núcleos de amostragem podem ser avaliados através de análise laboratorial de cultura de micro-organismos [ingl.: culturing increment core] para detectar a presença de fungos apodrecedores e/ou bactérias, etc. (Figura 4.9c).

A presença de fungos apodrecedores geralmente indica que a madeira está em fase inicial ou incipiente de decomposição e deve ser tratada corretivamente. A análise laboratorial de cultura de micro-organismos fornece um método simples para avaliação do potencial de risco de biodeterioração futura, e deve ser realizada por laboratório especializado. Em função da grande variedade de fungos, próximos a superfície, a análise laboratorial de cultura de micro-

organismos não é prática habitual para avaliação do risco de biodeteriorações ou apodrecimento externo (RITTER; MORRELL, 1990).

Os métodos de perfuração com trado de amostragem [ingl.: increment borer, boring or coring] e o método da perfuração [ingl.: drilling] para análise tátil/visual são geralmente utilizadas para confirmar regiões com suspeita de biodeterioração por apodrecimento, identificadas pelo ensaio com medidor de umidade ou de outros métodos.

Quando é detectado o apodrecimento, os métodos de perfuração para análise tátil/visual e retirada de bastonetes com trado de amostragens também podem ser utilizados para definir em melhor âmbito os limites de profundidade de biodeterioração por apodrecimento. Nesse aspecto, o inspetor pode avaliar o melhor ponto de perfuração para inspeção inicial até que alguma evidência de biodeterioração ou apodrecimento seja detectada. Quando é detectada a biodeterioração por apodrecimento pelo método de perfuração de análise tátil/visual, pode-se preferencialmente extrair amostras para análise de cultura de micro-organismos utilizada para definir os limites da infecção.

No entanto, é importante o uso de ferramentas afiadas tanto para a perfuração quanto para extração de amostras e o inspetor deve sempre ter em mãos brocas de furadeira e/ou brocas do trado extras e novas. As ferramentas amoladas tendem a esmagar ou quebrar as fibras de madeira que podem ser confundidas com biodeterioração por fungos apodrecedores [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989)^{p17}; (RITTER; MORRELL, 1990)].

A maioria dos pesquisadores consideram-na como uma técnica não destrutiva (NDT), no entanto, alguns autores, como Abad (2009) consideram essa técnica intrusiva como semi-destrutiva, em função das dimensões das brocas. Já Branco et al (2012) consideram que essa técnica tem um carácter destrutivo, embora geralmente não afete significativamente a resistência da estrutura.

Entretanto, comercialmente já existem diversos comprimentos e de diâmetros de brocas para os trados, conforme, por exemplo, as especificações do fornecedor Haglöf Sweden[®], com brocas de diâmetros ϕ 4,3 mm ϕ 5,15 mm ϕ 10 mm ϕ 12 mm, e comprimentos que variam de 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm, 350 mm, 400 mm, 450 mm, 500 mm, 600 mm, 700 mm, 800 mm, e 1000 mm (HAGLÖF, 2014), que podem ser compatibilizados com as dimensões das seções transversais em análise, validando-as como uma técnica não destrutiva (NDT).

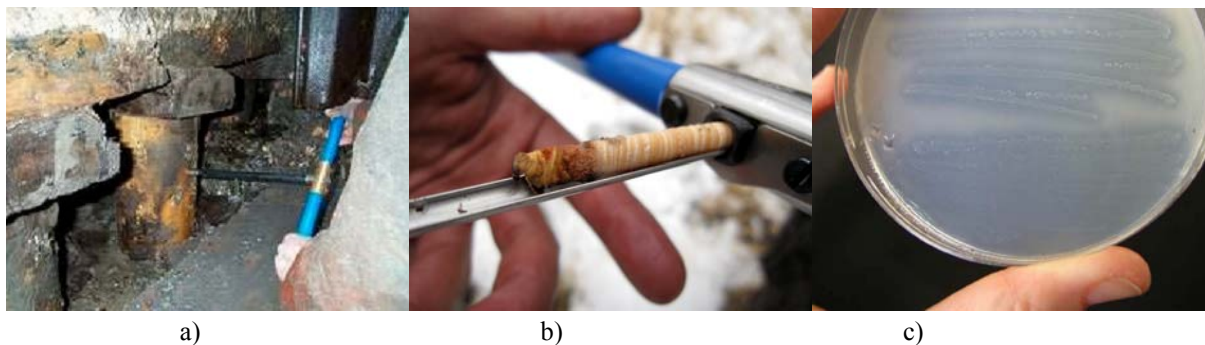


Figura 4.9. a) extração de amostras de bastonetes de estacas de madeira, removidos com trado de amostragem, que podem ser examinadas para determinar a localização e extensão da deterioração, ABRAMI et al (2005); b) características visuais de amostras de bastonetes, GRIFFIN et al (2013); c) Análise de cultura em laboratório para identificação de contaminação em estacas de madeira por bactérias biodeterioradoras, NILSSON e BJÖRDAL (2005).

4.1.2.4 Régua para medição de profundidade

Uma régua estreita de aço, shell-depth ou paquímetro, pode ser utilizada como indicador de profundidade, e pode ser útil quando utilizada após a utilização do método de perfuração com trado de amostragem ou do método de perfuração para análise tátil/visual, ou simplesmente para medir diretamente a profundidade de fendas. A shell-depth é uma barra metálica fina, com entalhe na extremidade e marcações de dimensões, geralmente em centímetros e/ou em polegadas, que é inserida no furo de inspeção e manuseada ao longo do furo ou da fenda, para os lados e para trás. Com o movimento do manuseio ao longo da profundidade do furo ou da fenda na madeira, o gancho se prende em bordas de espaços vazios. Desse modo, o inspetor pode observar a profundidade da madeira sã, que pode ser utilizada para estimar a região de madeira com resistência residual efetiva (RITTER; MORRELL, 1990)^{p13-34}.

4.1.2.5 Microperfuração controlada

A resistência à microperfuração controlada [ingl.: microdrilling resistance], é um método de teste utilizando com instrumentos comerciais denominados por microperfuradores eletrônicos controlados, denominados por Resistógrafo [ingl.: Resistograph[®]], especialmente projetados, que computam da relação de amplitude existente entre a densidade da madeira e a taxa de resistência à perfuração de ponta da broca [(BONAMINI, 1995); ASTM STP 1351 (2000); (PELLERIN; ROSS, 2002)^{p55}; (ARRIAGA et al, 2002)^{p58}; (TELES; VALLE, 2002); (MENEGHETTI, 2003); (BRASHAW et al, 2005)a; (GRAHAM, 2005)^{pD-15}; (FEIO, 2005)^{p28}; (GONZÁLEZ, 2007)^{p28}; (PRIETO et al, 2008)^{p42}; (MACHADO et al, 2009)^{p51}; (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p18}; (FREITAS, 2009)^{p110}; (BASTOS, 2011)^{p 37}; (HEIN, 2011)^{p43};

(MARTINS et al, 2011); (MOLINA et al, 2011); (FERRO et al, 2012); (BRANCO et al, 2012); (BRITO; CALIL JR., 2013); (NEVES, 2013)^{p43}; (CUNHA, 2013)].

Alguns modelos de Resistógrafos podem penetrar até 50 cm de profundidade, traçando automaticamente em um gráfico de um padrão de amplitude a partir do qual as variações de densidades, em uma determinada seção transversal, podem ser facilmente detectadas.

Esse equipamento foi inicialmente desenvolvido para avaliações de árvores em florestas plantadas, e pode ser útil para avaliações de deteriorações internas e espessuras de anéis de crescimento inverno/verão. No entanto, esses equipamentos geram informações relacionadas à área restrita ao ensaio, e não imediatamente extensível às regiões de grandes seções transversais, (BONAMINI, 1995).

Alguns autores também denominam a técnica de **Resistência à Microperfuração** por **Resistência à Perfuração**, no entanto, o Autor difere a **Microperfuração Controlada** da **Perfuração com análise tátil/visual** que já foi comentada. A maioria dos pesquisadores consideram-na como uma técnica não destrutiva (NDT), já Abad (2009) considera essa técnica intrusiva como semi-destrutiva.

No entanto, segundo Bonamini (1995) as mesmas limitações se aplicam para o Pilodyn[®], para a Perfuração, para a Microperfuração Controlada, e para os equipamentos de dureza sobre a possibilidade de induzir força em elementos estruturais de grandes seções transversais.

Freitas (2009), Molina et al (2011) e Ferro et al (2012) utilizaram o Resistograph[®] para a avaliação de deterioração em postes de madeiras de energia elétrica no Estado de São Paulo. As inspeções foram realizadas principalmente na região de interface de na linha de afloramento dos postes, pois essa região é favorável ao risco de biodeterioração, principalmente por apodrecimento.

Segundo Freitas (2009) esse equipamento de inspeção muito pouco conhecido no País, e de extrema facilidade de utilização, favoreceu na oportunidade de se utilizar como uma nova alternativa em inspeções de postes de madeira, possibilitando uma real avaliação do interior de um poste, na região inspecionada.

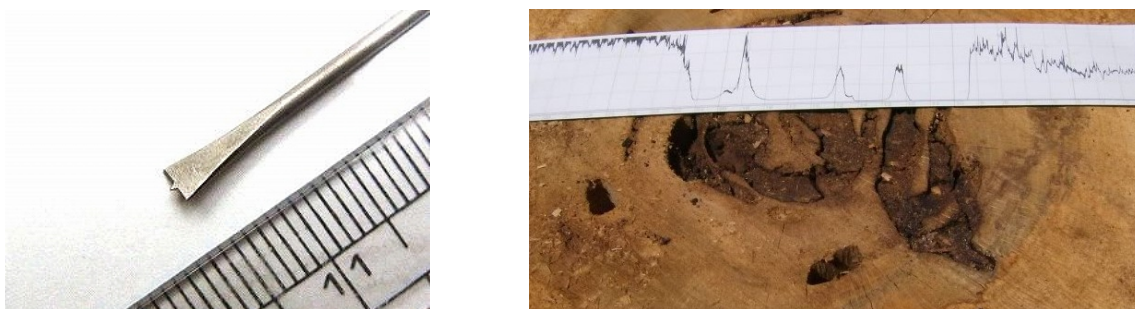


Figura 4.10. À esquerda Broca de aço do Resistograph (sonda: agulha de perfuração) de 1,5 mm de diâmetro e ponta chata de 3,0 mm. Fonte: IML-RESI-F-Series (2007). À direita exemplo qualitativo de comparação do diagrama do perfil de sondagem com a seção de uma viga biodeteriorada: o papel especial tipo carbono para impressão do diagrama gerado pelo Resistograph, pode auxiliar em avaliações *in loco*. Os diagramas dos perfis de sondagem nos eixos das abscissas representam as profundidades de perfuração [cm], e os eixos das ordenadas representam as amplitudes de resistência à perfuração na madeira [%]. Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)b

No entanto, segundo Branco et al (2012) embora o furo efetuado 3 mm de diâmetro, seja insignificante do ponto de vista de resistência mecânica, esse pequeno furo se não tratado após a inspeção poderá favorecer um ponto de entrada para agentes de degradação da madeira.

4.1.2.6 Avaliação Visual Detalhada Interna com Endoscopia

A técnica de endoscopia [ingl.: Endoscopy], também denominada em DIAS (2008) por vídeoscopia, em certos casos pode ser utilizada para observar faces ocultas ou cavidades internas em elementos estruturais de madeira (Figura 4.11) [(BONAMINI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002)^{p50}; (DIAS, 2008); (CUNHA, 2013)]. Bonamini (1995) recomenda que a endoscopia deva ser considerada como uma extensão da *técnica de inspeção visual*, e que quando associadas com as técnicas de perfurações controladas, pode ser utilizada para avaliar seções transversais parcialmente deterioradas.

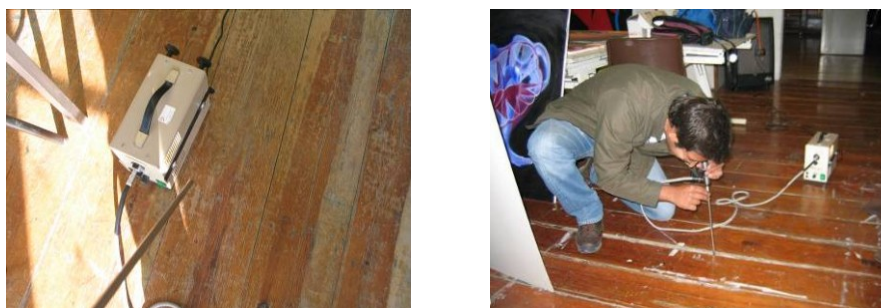


Figura 4.11. Observação em inspeção em pavimento com videoscópio, DIAS (2008).

4.1.2.7 Provas de carga

Em tabuleiros de pontes ou em pavimentos de madeira de edificações, com provas de carga [ingl.: loading test] *in loco* é possível determinar o módulo de elasticidade médio utilizando as equações clássicas conhecidas para inferir valores de resistência através de relações existentes entre essas propriedades [(BONAMINI, 1995); (PELLERIN; ROSS, 2002)^{p49}; (CALIL JR.; WACKER, 2002); (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p22}; (GONZÁLEZ, 2007)^{p27}; (BRASHAW et al, 2008)^{p10}; (PIGOZZO et al, 2014)].

Em certos casos, também podem ser adotadas aproximações com **Provas de Descarregamento**, isto é, advindo de um processo em que o módulo de elasticidade é obtido através da medição de rigidez de mola dos elementos de madeira, após a retirada de cargas permanentes conhecidas para o ensaio (BONAMINI, 1995). Os Transdutores de deslocamentos [ingl.: Displacement transducers] e medidores de tensão [ingl.: strain gauges] também são dispositivos que podem ser úteis em casos específicos de **Provas de Carga** para avaliar deslocamentos localizados e/ou deslocamentos de ligações, por exemplo.

A título de exemplificação do método, Calil Jr. e Wacker (2002) apresentaram resultados de ensaios estáticos de carga da *Ponte de Laurel Run*, localizada no estado da Pennsylvania, USA. A ponte é madeira dicotiledônea *Red oak*, com sistema construtivo de tabuleiro protendido misto com peças de madeira e placas de aço. Para a avaliação da performance da ponte, os pesquisadores realizaram três provas de carga com caminhões padronizados, durante um período de dez anos (1992, 1997 e 2001); e na Figura 4.12 são apresentados o esquema e os deslocamentos medidos na seção transversal do vão central. Além disso, Calil Jr. e Wacker (2002) apresentaram os resultados deslocamentos calculados usando um programa computacional de placa ortotrópica. Os resultados dos ensaios mostraram que a performance da ponte foi satisfatória.

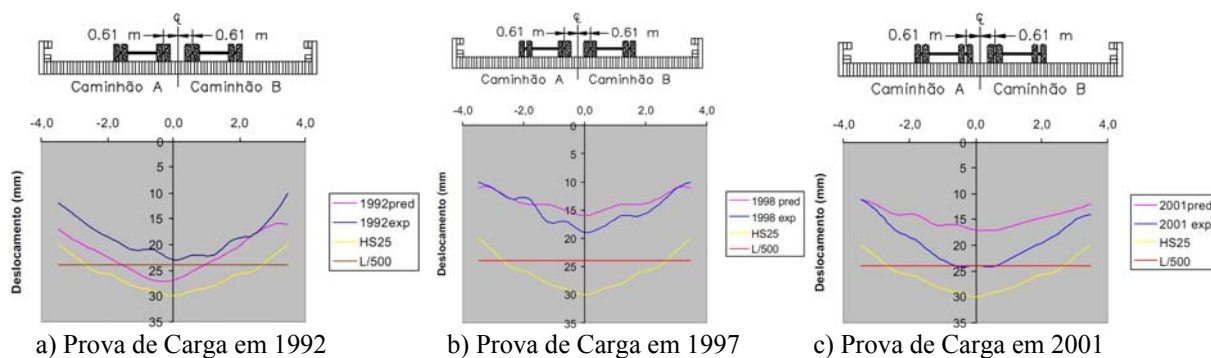


Figura 4.12. Esquema estático e resultados dos ensaios de Provas de Carga, CALIL JR. e WACKER (2002).

Como alternativa em metodologia de inspeção, diversos ensaios estáticos de Provas de Carga *in loco*, com teodolitos de topografia, vêm sendo utilizado no LaMEM para avaliação em tabuleiros de pontes de madeira, como técnica não destrutiva para estimativa de deslocamentos na avaliação da performance estrutural [(CALIL JR.; BRITO; PIGOZZO, 2012). A Figura 4.13 apresenta um exemplo de ensaio de *Prova de Carga* na *Ponte 01-Campus II-USP* com os resultados apresentados por Pigozzo et al (2014).

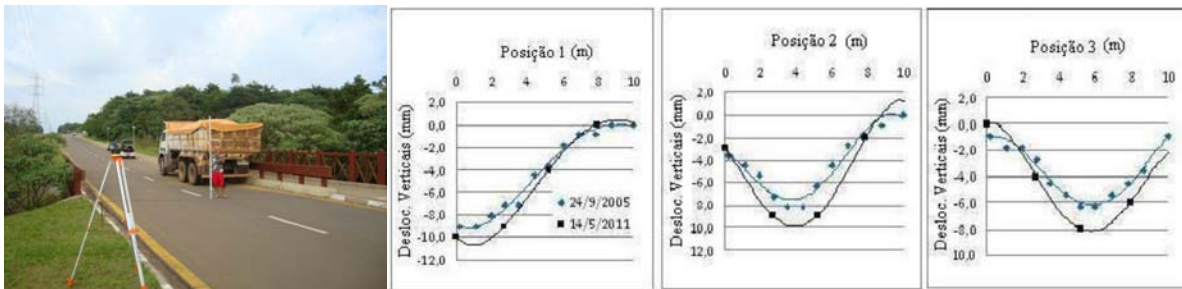


Figura 4.13. Ensaio estático e resultados dos ensaios de Provas de Carga, PIGOZZO et al (2014).

4.1.2.8 Medidor de densidade nuclear *Lixi Profiler*

O equipamento *Lixi Profiler*, apresentado por Graham (2005), é um sistema de medição de densidade nuclear em tempo real, que gera um gráfico ilustrativo da espessura da seção líquida de madeira (Figura 4.14). Esse equipamento utiliza um isótopo radioativo, Gadolinium-153 (Gd-153), que gera um feixe altamente colimado de radiação, que penetra através da seção de madeira. A quantidade de radiação que atinge o detector em frente à fonte é proporcional à espessura total e a densidade média do material que passa através dele. O *Lixi Profiler* é calibrado contra uma seção sólida de viga de madeira e assim calcula e relata a espessura da madeira (GRAHAM, 2005).



Figura 4.14. Sistema de Inspeção *Lixi Profiler*: consiste de um isótopo (A), um canal (MCP) de placa de aquisição de dados para detector de micro (B), um microcomputador portátil (C) com sistema operacional MS Windows e software do equipamento (Intico Pty Ltd). Fonte: GRAHAM (2005)

4.2 Tratamentos preservativos pós-inspeções

Diversos métodos de inspeção envolvem técnicas que destroem ou removem pequenas partículas da madeira. As lascas removidas, partículas de serragens [ingl.: splinters], os furos intrusivos de sondagens de perfurações com análise tátil/visual, com trado de amostragem, entre outros podem tornar condições favoráveis para o início de biodeterioração por apodrecimento, se esses pontos não forem adequadamente tratados após a conclusão da inspeção.

Todos os danos superficiais, assim como as sondagens superficiais, de puncionamento, picoteamento, Pilodyn®, furos de medidores de umidade entre outros devem ser tratados com preservativo de madeira líquida ou pastosa. Já nos furos de sondagens [ingl.: bore holes], devem ser injetados líquido preservativo de madeira dentro dos orifícios, e os furos devem ser tampados com cavilhas de madeira tratada com preservativos, com um diâmetro superior ao do orifício de inspeção [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989); (RITTER; MORRELL, 1990); (BRANCO et al, 2012)].

Para os casos da maioria das inspeções em estruturas de pontes, o tratamento com creosoto ou naftenato de cobre [ingl.: copper naphthenate] geralmente são suficientes para a preservação. No entanto, em áreas de risco de perfuradores marinhos, devem ser utilizados outros tratamentos como proteção adicional. Quando a madeira está sujeita ao ataque por Limnoria, superfícies e os tampões de cavilhas devem ser tratados preservativos de sais [ingl.: waterborne salts]. Em áreas onde Pholads podem atacar, é aconselhável, e mais eficiente, utilizar ambos os tratamentos com creosoto e preservativos de sais [ingl.: waterborne salts].

“O não cumprimento desses procedimentos pode resultar no desenvolvimento de reinfestação e biodeterioração por apodrecimento acelerada da estrutura” (RITTER; MORRELL, 1990).

4.3 Metodologia e procedimentos de *Níveis de Inspeção* em avaliações

Até este ponto, as discussões têm sido bastante específicas sobre as características e os efeitos que vários organismos exercem na madeira, e as principais técnicas de inspeções para avaliações de elementos estruturais de madeira. No entanto, a inspeção em campo é o exame físico de uma estrutura a fim de detectar evidências de deteriorações e/ou manifestações patológicas. A complexidade das tarefas em procedimentos de inspeções *in loco* estão diretamente associadas em função das variabilidades nos tipos de sistemas estruturais e nas condições de agressividades ambientais de exposição em que os elementos estruturais estão submetidos. Por essa razão, é fundamental que o inspetor seja bem familiarizado com os agentes de deterioração, saiba identificar as áreas predispostas aos riscos de biodeterioração, e conheça os fundamentos de metodologias e técnicas de inspeção. O inspetor com esse conhecimento como um norteador, torna-o mais eficiente para identificar e localizar deteriorações e definir com precisão suas extensões (RITTER; MORRELL, 1990)^{p13-40}.

Segundo Ritter e Morrell (1990) “*infelizmente, a nossa capacidade de detectar a deterioração da madeira tem ficado muito atrás do nosso conhecimento dos mecanismos de deterioração*”. Como resultado, o processo de inspeção varia amplamente entre as regiões, embora as ferramentas comerciais sejam razoavelmente padronizadas, não existindo uma metodologia padrão, que irá determinar com precisão a condição de uma determinada estrutura, no entanto, um número de técnicas e de ferramentas usadas em combinação pode representar uma metodologia para estimativa razoável da quantidade e do nível de deterioração presente na madeira [(RITTER; MORRELL, 1990); (BONAMINI, 1995)].

É de conhecimento que as estruturas existentes, sejam antigas ou novas, devam ser submetidas a inspeções periódicas cuidadosas para avaliações de segurança, com intuito de promover manutenções periódicas e preventivas [(RITTER; MORRELL, 1990); (BONAMINI, 1995); (CALIL et al, 2006); (BRITO; CALIL JR., 2013); (CÓIAS, 2011)]. Na atualidade, recuperar estruturas de edificações existentes para mantê-las em uso adequadamente é uma grande tendência mundial na questão da sustentabilidade. Com esta atitude é possível reduzir a geração de resíduos e o consumo de materiais, que certamente geraria durante o processo construtivo de uma nova estrutura no local da existente (CÓIAS, 2011).

Diante do que vem sendo exposto, esse capítulo tem o objetivo de apresentar diversas abordagens sistematizadas em metodologias de inspeções usuais em estruturas de madeira, utilizadas em diversos países, como base para avaliações de condições de segurança, a fim de

fornecer subsídios de manutenções e prevenções deteriorações em elementos estruturais de madeira.

Conforme Bonamini (1995) os temas de conservação, reabilitação e restauro de estruturas de madeira existentes são conceitos relativamente novos, cuja implementação requer abordagens multidisciplinares. Para estruturas de madeira a realização dessa difícil tarefa implica no envolvimento de diferentes profissionais especialistas: inspetores de estruturas de madeira, engenheiros, arquitetos, tecnólogos em estruturas de madeira, restauradores e em casos específicos provavelmente de outros especialistas para contribuições em verificações das condições de cada elemento estrutural e das ligações, para inspecionar a fim de avaliar e promover o fornecimento de medidas as manutenções de toda a estrutura com o intuito de evitar futuras deteriorações. Dentre os especialistas, o papel fundamental é desempenhado pelo tecnólogo em madeira acompanhado de um inspetor especialista em estruturas de madeira, através de exames minuciosos em cada elemento estrutural e em cada elemento de ligação, com intuito de derivar informações precisas relativas às propriedades, desempenho e condições dos materiais, além de determinar limites realísticos em que os projetistas calculistas realizarão seus cálculos.

Em geral os principais objetivos das inspeções de uma estrutura de madeira existente segundo Bonamini (1995) são:

- Fornecer informações necessárias para o engenheiro estrutural, a fim de avaliar se a resistência e a rigidez dos elementos estruturais e das ligações entre esses, são satisfatórios para a segurança estrutural de uso previsto;
- Registrar, com *check list* partes e/ou peças que possam necessitar de reabilitação, reforço específico, substituição, ou outros tipos de intervenções;
- Avaliar os fatores de deterioração que possam ter afetado a estrutura (localizada ou global) e/ou que possam afetá-la futuramente, além de identificar e recomendar, medidas corretivas para evitar que tais riscos não se repitam;
- Contribuir na identificação do comportamento estrutural da edificação, no caso de estruturas com valor artístico ou histórico-cultural, além de contribuir para um melhor conhecimento da sua história, técnicas de fabricação, etc.

Bonamini (1995) complementa que as medidas para alcançar esses objetivos, sobre todos os elementos resistentes são:

- ✓ Avaliar a qualidade da madeira: apurar a espécie de madeira e suas principais propriedades físicas e mecânicas, incluindo defeitos e anomalias;
- ✓ Detectar a origem da existência de biodeterioração ou dano ocorrido em serviço;

- ✓ Avaliar o risco de biodeterioração ou dano futuro;
- ✓ Avaliar as seções transversais efetivas, e suas propriedades físicas de resistência e de rigidez.

4.3.1 Fatores que influenciam no estado de conservação da estrutura

Como sabemos, a madeira é um material de origem biológica, e suas propriedades mostram uma variabilidade intrínseca muito maior de que outros materiais estruturais muito homogêneos e quase isotrópico, tais como o aço e o concreto. Portanto, na atualidade, não existem métodos confiáveis possam prever com precisão a resistência de um elemento de madeira estrutural individualmente. Os métodos de classificação e os procedimentos de ensaios têm sido desenvolvidos para a determinação dos valores de resistência características de madeiras recém-serradas, que se baseiam em distribuições estatísticas de grupo (ou grau de nível) de elementos de madeira em que o teor real de um determinado elemento estrutural individualmente analisado, não consegue ser exatamente avaliado, pois os métodos de classificação e os procedimentos de ensaios nos indicam apenas valores característicos representativos aproximados (BONAMINI, 1995). Além disso, a extensão crítica de regras e valores representativos de dados em Normas Técnicas de Projeto Estrutural para madeiras antigas podem ser inadequados para verificações de elementos estruturais [(BONAMINI, 1995); (YEOMANS, 1999); ASTM STP 1355 (1999)]:

- muitas vezes é impossível inspecionar visualmente todas as faces ao longo de todo o comprimento dos elementos estruturais *in Loco*;
- as madeiras podem estar afetadas por biodeteriorações, por apodrecimento ou dano, o que, em geral, são excluídos da madeira nova por regras de classificação;
- as vigas antigas muitas vezes possui seção transversal com grandes dimensões, cuja medula se situa localizada mais ou menos no eixo central.

No entanto, erros grosseiros em avaliações de elementos estruturais antigos de madeira podem ser evitados por meio de identificação na escolha de diferentes metodologias de inspeções durante o levantamento de cada caso, na contribuição parcial de todas as possíveis fontes de variabilidade, seguida por operação sintetizada final em combinação conjunta com os resultados [(BONAMINI, 1995); (YEOMANS, 1999); ASTM STP 1355 (1999)]. Bonamini (1995) recomenda que no mínimo as seguintes fontes de variabilidade devam ser consideradas pelo inspetor nas avaliações:

- ✓ Qualidade da madeira original;
- ✓ Condições de serviço;

- ✓ Histórico de manutenções, reparos e reabilitações.

4.3.1.1 Avaliação da qualidade da madeira original

A caracterização básica da qualidade da madeira pode ser alcançada através da avaliação dos seguintes parâmetros: espécies de madeira; procedência (quando disponível), tipo de estrutura de madeira (madeira roliça, madeira lavrada, madeira serrada, vigas, ligações, pranchas, tábuas, seção transversal com medula incluída ou não, à identificação da origem do corte da peça na tora em função do posicionamento das direções principais [ingl.: quarter sawn, flat sawn], MLC etc.); relação de distribuição entre alburno e cerne, densidade considerando o valor médio a 12% de umidade, larguras dos anéis de crescimento, inclinação das fibras, localização e extensão dos defeitos naturais (nós, fissuras, fendas, rachas entre anéis, bolsas de resina [ingl.: resin pockets], esforços de tração, compressão ou flexão nas peças de madeira). Bonamini (1995) recomenda que a influência de cada um desses parâmetros deve ser avaliada com base em procedimentos semelhantes aos existentes para a classificação de madeira recém-serrada.

4.3.1.2 Avaliações das condições em serviço

Para avaliar as condições em serviço, o inspetor deve conhecer com precisão os principais fatores que influenciam no estado de conservação de uma determinada da estrutura de madeira [(RITTER; MORRELL, 1990); (BONAMINI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002); (BALLÁN BALLÁN, 2009); (MACHADO et al, 2009), destacando-se:

- ✓ identificação do sistema estrutural;
- ✓ condições de carregamento;
- ✓ idade;
- ✓ agentes bióticos de deterioração;
- ✓ agentes abióticos de biodeterioração;
- ✓ Teor de umidade;
- ✓ temperatura;
- ✓ ações de radiações.

4.3.1.2.1 Identificação do sistema estrutural

O engenheiro deve inicialmente identificar o tipo de sistema estrutural e o modelo de cálculo que foi utilizado na concepção da estrutura. Para isso recomenda-se inicialmente realizar levantamentos históricos da estrutura, através de verificações e análises de projetos e memórias de cálculos quando existentes.

4.3.1.2.2 *Condições de Carregamento*

As condições de carregamentos devem ser consideradas, principalmente, por engenheiro especialista em estruturas de madeira e de acordo com os requisitos de normas para projeto estrutural. No entanto, o inspetor deve ter ciência, em dar ênfase no fornecimento do relatório às grandes deformações por flexão em elementos de madeira, na investigação de avaliar se vigas com flechas acentuadas detectadas, são devido às deformações elásticas ou devido aos fenômenos hidromecânicos de fluência [(BONAMINI (1995); ARRIAGA et al (2002)].

4.3.1.2.3 *Idade*

Pequenas amostras de madeira, extraídas em pontos localizados estratégicos de elementos da estrutura de madeira antiga, podem ser utilizados, por exemplo, para realizações de ensaios de compressão, flexão, etc., pois as propriedades das madeiras antigas, geralmente não apresentam diferenças significativas nos valores de resistência e rigidez quando comparados com peças novas [(JESSOME, 1965); (KUIPERS, 1986); (CRISTELLI, 1986); (EHLBECK; GÖRLACHER, 1985); (RUG; SEEMAN, 1991) apud (BONAMINI, (1995)]. Na ausência de deterioração, de fato, até a atualidade, é impossível discriminar o *efeito de idade* da madeira a partir de dados de ensaios. No entanto, isso não significa que a madeira não sofra nenhuma modificação química no decorrer dos séculos: a quantidade de celulose cristalina, por exemplo, parece diminuir com o tempo (BORGIN et al, 1975) apud (BONAMINI, 1995), mas a gama de valores de resistência obtidas desse material, geralmente se enquadra quase que perfeitamente aos valores obtidos a partir da mesma espécie de madeira ou de novas espécies com qualidades semelhantes. Por essa razão, na grande maioria dos casos, os inspetores não consideram a idade da madeira, pois a idade não importa como foi definida, entre seus parâmetros de avaliação (BONAMINI, 1995).

4.3.1.2.4 *Identificações de agentes bióticos de deterioração*

O inspetor deve ter o conhecimento e expertise em detectar os tipos de agentes bióticos de deterioração, indicando com precisão a sua origem (bactérias, fungos, insetos, perfuradores marinhos), suas causas, seus efeitos e seu desenvolvimento [(RITTER; MORRELL, 1990); (BONAMINI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002); (BALLÁN BALLÁN, 2009)]. Deve-se salientar que normalmente é necessário proceder a uma identificação refinada dos organismos biodeterioradores de madeira, devido à ampla variabilidade entre espécies diferentes dentro do mesmo grupo (ciclo de vida, tipo de deterioração, influências sobre as propriedades estruturais da madeira, estratégias de prevenção). É essencial saber distinguir entre a

descoloração devido a fungos manchadores ou emboloradores (que efeito inicial desprezível sobre a resistência da madeira) das causadas por infecção de fungos apodrecedores (variações entre os tipos de fungos de podridão parda, fungo de podridão branca ou fungo de podridão mole, que são responsáveis pela a destruição completa da estrutura molecular de madeira), além das formas entre os orifícios de saída de Térmitas, dos Anobium, Lyctus, entre outros citados no capítulo de características visuais de agentes bióticos, a fim de evitar erros grosseiros, caros e inseguros (BONAMINI, 1995).

4.3.1.2.5 Avaliação do teor de umidade

Como já comentado, a madeira é hidrocópica e seu *teor de umidade* afeta quase todas as propriedades consideradas no projeto de estruturas de madeira: resistência, rigidez, durabilidade, alterações dimensionais (retração e expansão), estabilidade de forma, etc. [(RITTER; MORRELL, 1990); (BONAMINI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002); (MACHADO et al, 2009); NBR 7190:1997]. Deve-se ter em mente que todos os valores de cálculo para projeto se referem à madeira a 12% de umidade e os respeitar os fatores dos coeficientes de modificação k_{mod} para diferentes valores de umidade reais, em conformidade com a região de implantação da estrutura. Para isso, deve-se colocar ênfase máxima em avaliações cuidadosas dos elementos estruturais de madeira em relação às suas relações passadas, atuais e futuras com umidade circundante (a umidade relativa do ar, vazamentos em tubulação de águas pluviais ou tubulações, hidráulicas e/ou sanitárias, condensações, água capilar presente em paredes úmidas, etc.), relatando detalhadamente cada situação localizada e/ou global (geral), em que um Teor de umidade da madeira supere os valores medidos compreendidos entre 18 a 20% ou se é susceptível de ser atingido, com *Potencial de Risco de Deteriorações Biológicas Futuras*, favoráveis à proliferação de fungos apodrecedores (BONAMINI, 1995). E como já comentado, Ritter e Morrell (1990) descrevem que quando a água penetra na madeira, ocorre o inchamento da microestrutura até atingir o ponto de saturação das fibras em aproximadamente 30% do *teor de umidade* na madeira, favorecendo a água livre armazenada nas cavidades celulares na madeira como potencial de fontes geradoras para diversos tipos de fungos apodrecedores de madeira.

4.3.1.2.6 Avaliações de efeitos de temperatura na estrutura

Os efeitos da temperatura em estruturas de madeira são muitas vezes superestimados por engenheiros e/ou arquitetos experientes em projetos com outros materiais, como aço, que apresentam uma expansão térmica significativa. Como regra geral, os efeitos da resistência da

madeira pode ser ignorada para temperaturas inferiores a 60°C (BONAMINI, 1995). Por outro lado, as alterações na temperatura resultam em alterações de Teor de umidade na madeira, com subseqüentes alterações dimensionais, devido à retração ou à expansão, que são muito mais significativos do que o efeito de retração ou expansão térmica, propriamente dita [(RITTER; MORRELL, 1990); (BONAMINI, 1995)].

4.3.1.2.7 *Avaliações das ações por radiações*

Como já comentado, o caso mais comum das ações por radiações é a irradiação da luz solar na madeira [(BONAMINI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002); (MACHADO et al, 2009)]. Os raios ultravioleta podem modificar as camadas superficiais da estrutura de madeira (em um milímetro de profundidade ou mais), causando descoloração (envelhecimento) e nos piores casos, uma espécie de carbonização. Segundo Bonamini (1995) a camada subjacente da madeira fica protegida e, portanto, não é afetada. Outros tipos de radiação como Raios-gama, Raios-x, micro-ondas e similares, podem modificar ou mesmo destruir a microestrutura de madeira, mas isso só ocorre em taxas muito acima dos limites normalmente encontrados na Engenharia Civil.

4.3.1.2.8 *Histórico de manutenções, reparos e reabilitações*

Antes de realizar a inspeção é conveniente recorrer à informações históricas da estrutura e da edificação (RITTER, 1990); (BONAMINI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002); (BALLÁN BALLÁN, 2009). Arriaga et al (2002) descrevem que este ponto pode não ser uma tarefa fácil de se realizar, tendo em vista que na maioria dos casos essas edificações são antigas, e que há pouca ou nenhuma informação escrita documentada, e em certos casos, se realiza com investigações de testemunhas com vizinhos, com a conseqüente incerteza sobre a sua confiabilidade. Em princípio, toda a informação recolhida deve ser considerada útil, mas recomenda-se verificar e avaliá-la *in loco*, para ser tomada como veracidade. No entanto, sugere alguns dados que podem ser importantes para as investigações:

- ✓ data de construção;
- ✓ materiais utilizados em elementos estruturais;
- ✓ identificação das espécies de madeira e/ou das propriedades físicas;
- ✓ o sistema estrutural;
- ✓ dimensões das peças de madeira utilizadas;
- ✓ ocupações e usos do edifício;
- ✓ obras ou reparos realizados;

- ✓ registros de casos acidentais como incêndios, raios atmosféricos, impactos etc.;
- ✓ tipo de solo, região de aterro, compactação de solo;
- ✓ danos na cobertura;
- ✓ deteriorações por agentes bióticos em edificações próximas, etc.

Bonamini (1995) reporta que é fato de que os piores danos em estruturas antigas de madeira, muitas vezes ocorrem como resultado de intervenções de restaurações com reabilitações incorretas, e que para fins de levantamento, os seguintes aspectos devem ser verificados:

- modificações no tipo de utilização da edificação ou da estrutura.
- alterações microclimáticas desfavoráveis: cuidados especiais devem ser tomados em casos de ventilação insuficiente, em todas as superfícies dos elementos estruturais de madeira, em vedações de extremidades de frestas nas paredes, para a possível formação de condensação como consequência da impermeabilização de coberturas (revestimentos asfálticos, barreiras de vapor e similares) ou instalação de aparelhos de ar-condicionado.
- manutenções periódicas insuficientes: qualquer estrutura deve ser submetida a trabalhos de manutenções periódicas preventivas, e estruturas de madeira não são exceção. *“A realidade é que diversas estruturas de madeira são esquecidas durante décadas”*. A lenta acumulação de umidade, sujeira, biodeterioração por apodrecimento e danos mecânicos podem favorecer a uma deterioração local e/ou global grave, enquanto que a manutenção oportuna e qualificada pode facilmente preservar a integridade estrutural original para séculos.
- Manutenções, reparos, restauros e reabilitações (inadequadas): atenções especiais devem ser tomadas para a *compatibilidade* da madeira com outros materiais frequentemente utilizados em reparos em manutenções e reabilitações. Ambas as características físico-mecânicas e comportamento estático-dinâmico da madeira com a combinação de outros materiais deve ser classificada em *compatibilidade*.

4.3.2 Níveis de inspeção

Os procedimentos de inspeção para estruturas de madeira, como já visto, dependem de variáveis tais como a idade, o tipo de sistema estrutural, os materiais envolvidos e das condições de agressividades ambientais em que a os elementos estruturais estão localizados. Portanto, as recomendações detalhadas para os procedimentos específicos são fatores de difícil aplicabilidade. Geralmente, o inspetor deve examinar cuidadosamente os elementos estruturais quanto aos tipos e níveis de biodeterioração e demais danos, e registrar os resultados em detalhes suficientes para uma avaliação de engenharia. As técnicas,

procedimentos e metodologias específicas, no entanto, podem variar substancialmente de estrutura para estrutura. Com isso, as discussões nesse capítulo são destinadas a fornecer ao inspetor uma compreensão das características gerais de deterioração, enfatizando os conceitos relacionados aos procedimentos de inspeção. Com esse entendimento, os procedimentos de inspeções mais específicos podem ser desenvolvidos mais adequadamente para uma determinada estrutura.

Para os casos de procedimentos de inspeções específicos de vistorias de pontes e viadutos de concreto, a ABNT NBR 9452:1986 considera três tipos distintos:

- ✓ vistoria cadastral;
- ✓ vistoria rotineira;
- ✓ vistoria especial.

Embora os procedimentos específicos de níveis de inspeções para cada etapa possam variar entre as estruturas, Ritter e Morrell (1990)^{p13-39} descrevem que para as estruturas de pontes de madeira o procedimento básico geralmente pode ser o mesmo, e sugere que inspeções podem ser divididas em três etapas principais:

- ✓ avaliações em pré-inspeção;
- ✓ inspeção de campo detalhada;
- ✓ e a elaboração de relatórios e registros.

No entanto, segundo Arriaga et al (2002)^{p39} a *inspeção em campo* de uma determinada estrutura de madeira pode ser realizada em diferentes níveis de intensidade, dependendo do nível de gravidade e da disponibilidade de tempo de jornada de trabalho. A restauração em estruturas de madeira muitas vezes envolvem intervenções parciais em uma edificação, sendo recomendado manter as dimensões e as características de importância histórica. Assim, Bonamini (1995) recomenda a divisão dos trabalhos de levantamento de *inspeção em campo*, para avaliações de acordo com níveis de inspeção, em duas etapas distintas como:

- ✓ Inspeção preliminar (Nível 1): avaliação geral, com o objetivo de dar uma ideia geral do estado de conservação da estrutura e da real necessidade de novas investigações detalhadas;
- ✓ Inspeção detalhada (Nível 2): que conduz à avaliação detalhada de cada elemento estrutural de madeira, individualizada na estrutura.

Na Tabela 4.8 são apresentadas as recomendações para metodologias de inspeções, para cada nível de inspeção proposto por Bonamini (1995).

Tabela 4.8. Recomendações de Níveis de inspeções para avaliações de estruturas de madeira.

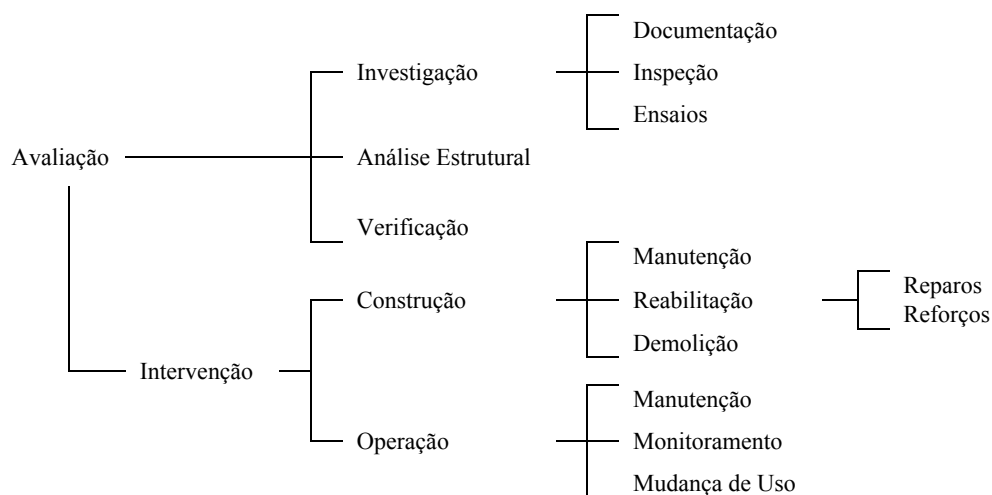
Nível de inspeção	Metodologia para inspeção
Nível 1 (Inspeção preliminar)	Condições mínimas de viabilidade para inspeções de Nível 1
	Técnica de Inspeção Visual Geral (Global)
	Avaliação de risco de biodeterioração
	Avaliação de danos e de deteriorações aparentes
	Classificação da estrutura de acordo com a <i>Classe de Prioridade de Intervenção</i> (CPI):
	<ul style="list-style-type: none"> ● Classe Verde → Baixa prioridade de intervenção ● Classe Amarela → Média prioridade de intervenção ● Classe Vermelha → Alta prioridade de intervenção ● Classe Cinza → Regiões não acessíveis a inspecionar
	Documentações Técnicas do Projeto de Nível 1
Nível 2 (Inspeção detalhada)	Condições mínimas de viabilidade para inspeções de Nível 2
	Técnica de Inspeção Visual Detalhada (Localizada)
	Avaliações do Teor de umidade da madeira
	Avaliações de seção transversal residual
	Avaliações das ligações e/ou conectores
	Avaliações de intervenções anteriores (históricas e/ou recentes)
	Documentações Técnicas do Projeto de Nível 2

Fonte: BONAMINI (1995) adaptada pelo Autor.

Um aspecto muito importante a considerar antes da inspeção, segundo Arriga et al (2002), é decidir por consenso com o contratante, através de contrato, o conteúdo e o nível de inspeção. Este contrato deve especificar autorização para todos os tipos de trabalhos que possam envolver as avaliações em uma determinada estrutura de madeira, pois geralmente são necessárias realizações de ensaios específicos, além de levantamentos parciais e/ou totais de avaliações, em função das condições do estado de conservação de pavimentos, coberturas, vigas, pilares, paredes, etc.. Muitas vezes, por questões econômicas por parte do contratante, por exemplo, são solicitadas apenas inspeções parciais em uma edificação, que na maioria dos casos não fornecem todas as informações mínimas necessárias, como por exemplo, a localização de fontes geradoras de umidade. Casos haja insistência por parte do contratante, para que seja realizada apenas uma inspeção parcial, este fato deve ser reportado no relatório, indicando quando for o caso, a necessidade de se fazer uma inspeção detalhada em uma etapa posterior.

A norma internacional de base para a concepção de estruturas em avaliação das estruturas existentes ISO 13822:2010, fornece um procedimento generalizado para avaliações de estruturas existentes. Esta norma é aplicável a qualquer tipo de edificação, com princípios de Engenharia aceites e baseados no bom acabamento. Por essa razão, essa norma pode ser

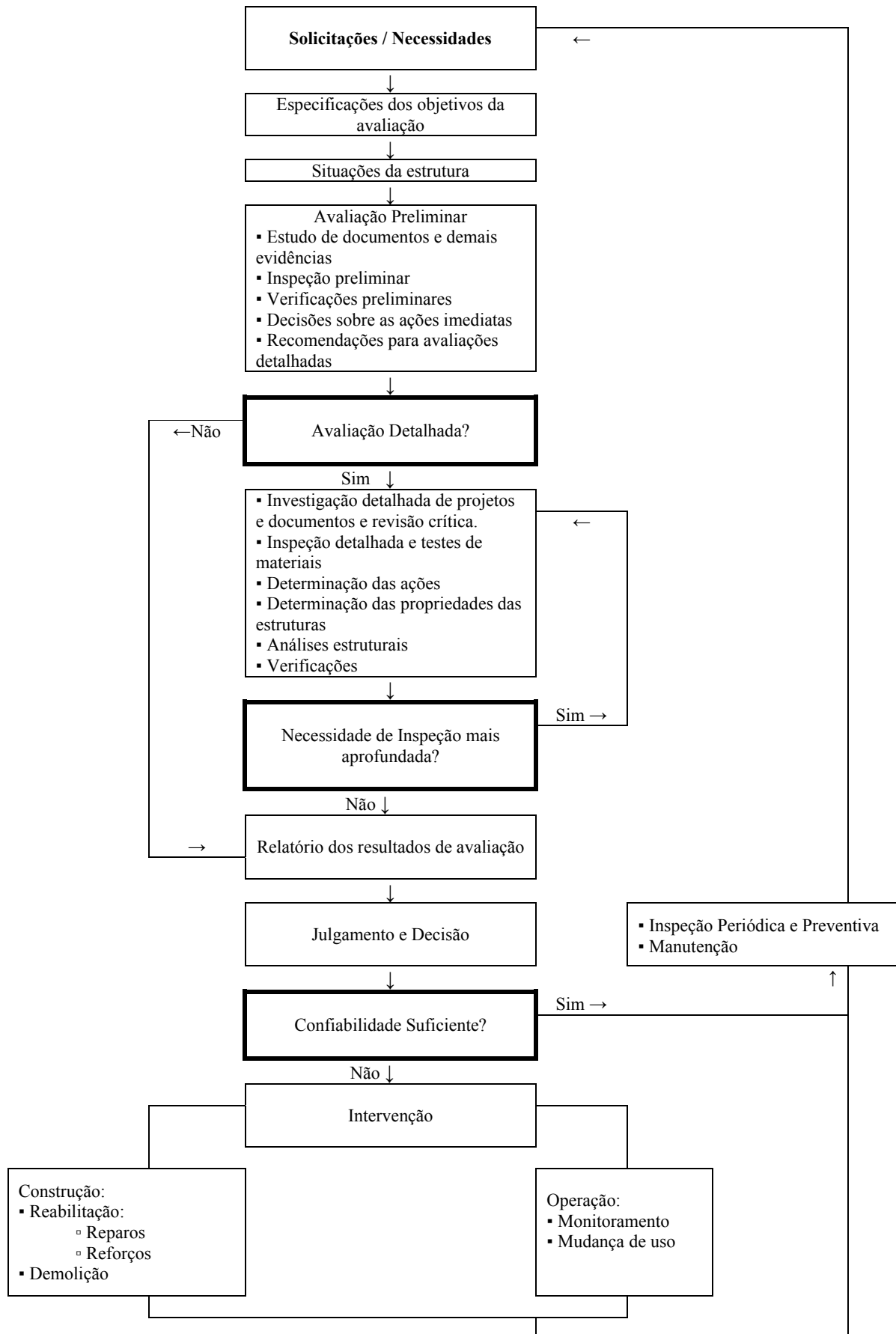
aplicável genericamente às estruturas, independentemente do tipo de material (MAGNUS, 2008). Dessa forma, pode-se destinar a servir como base para o desenvolvimento de normas de padrões nacionais. Para avaliação de estruturas existentes a ISO 13822:2010 fornece um termo de hierarquia conforme apresentado no Fluxograma 4.1. O procedimento de avaliação para a estrutura existente, conforme essa norma, consiste na proposta das subseqüentes etapas do Fluxograma 4.2 levando em consideração situação atual da estrutura.



Fluxograma 4.1. Termos de hierarquia para avaliação de estruturas existentes. Fonte: ISO 13822:2010

Diante do exposto nesse Capítulo, propõe-se como subsídio que os trabalhos de inspeções sejam divididos em três etapas:

- ✓ Pré-inspeção;
- ✓ Inspeção Preliminar de Nível 1 (Avaliação Geral);
- ✓ Inspeção Detalhada de Nível 2 (Avaliação Detalhada).



Fluxograma 4.2. Avaliação geral das estruturas existentes conforme a Norma ISO 13822:2010.

4.3.2.1 Pré-inspeção

A avaliação na pré-inspeção envolve uma revisão de informações no escritório antes da inspeção de campo. O objetivo da avaliação na pré-inspeção é a de obter o máximo possível de registros e informações sobre a história da estrutura, a fim de preparar melhor o inspetor para o trabalho de campo. Durante a avaliação, o inspetor deve fazer um estudo aprofundado dos registros históricos, projetos, relatórios e outras informações disponíveis. Também é benéfico discutir fatores relacionados ao histórico da estrutura com pessoas da vizinhança que estejam familiarizadas com a sua localização e história. Esse esforço despendido na avaliação para a pré-inspeção, irá contribuir para o inspetor antever os possíveis problemas e para avaliar os potenciais de risco, e realizar uma inspeção de campo mais eficaz [(RITTER; MORRELL, 1990)^{p13-39}; (ARRIAGA et al, 2002)].

Por essa razão, os relatórios históricos de inspeções periódicas anteriores são sempre considerados uma das melhores fontes de informação da estrutura. Esses relatórios podem fornecer as informações mais atuais sobre a condição da estrutura e contribuem em familiarizar o inspetor com as localizações e os tipos de biodeteriorações e/ou danos ocorridos anteriormente na estrutura. Além disso, os desenhos de projetos estruturais, executivos (seja de edificações, de pontes, de coberturas, etc.) e seus documentos originais, como memórias de cálculo são boas fontes de informações. Os desenhos executivos de etapas construtivas possuem mais informações, no entanto quando esses desenhos não estão mais disponíveis podem ser utilizados desenhos de outros projetos complementares. Esses desenhos podem fornecer informações sobre as dimensões, espécies, classes de resistências e qualidade do material utilizado, bem como o tipo e retenções de tratamentos preservativos. Outros documentos de construção, tais como especificações do contrato, registros de inspeção, certificações de materiais e notas fiscais de transporte, também podem ser boas fontes de informações (RITTER; MORRELL, 1990)^{p13-39}.

4.3.2.2 Inspeção Preliminar de Nível 1 (Avaliação geral)

O objetivo principal para a *Inspeção Preliminar de Nível 1* é realizar uma avaliação geral (global) da estrutura, sem uma avaliação individualizada (localizada) e detalhada dos elementos estruturais, a fim de propor recomendações sobre as prioridades de intervenções, denominadas por Bonamini (1995) em *Classes de Prioridade*.

Assim como o Nível 1 proposto por Bonamini (1995), Arriaga et al (2002) também consideram que geralmente, é conveniente realizar em uma fase inicial, uma *Inspeção*

Preliminar, pela *Técnica de Inspeção Visual Geral (Global)*, com uma *Visão Geral* do estado de conservação externo da edificação, fazendo um reconhecimento com avaliações gerais externas na estrutura. Nessa fase preliminar, Arriaga et al (2002)^{p39} recomendam que devam ser realizadas marcações *in loco* de pontos críticos, localizados com sinais de manifestações patológicas e/ou deteriorações externas, onde visualmente existam possibilidades de necessidade de uma inspeção detalhada de Nível 2, a serem inspecionadas com técnicas específicas, para avaliar as condições internas na madeira, ou ainda em casos, por exemplo, de regiões com peças de madeira escondidas e de difícil acesso. Nessa fase, além das condições aparentes das fachadas, as coberturas e os pavimentos também devem ser inspecionadas, a fim de detectar sinais de manifestações patológicas estruturais.

4.3.2.2.1 *Condições mínimas de viabilidade para o Nível 1*

Bonamini (1995); Arriaga et al (2002) recomendam que as condições mínimas de viabilidade para os levantamentos tanto em inspeções preliminares quanto em inspeções detalhadas, o contratante deve fornecer ao inspetor os projetos das partes relevantes da edificação, e a estrutura deve estar acessível para inspecionar os elementos estruturais de madeira, que devem estar limpas e bem iluminadas, além de que os elementos de revestimento devem estar removidos das superfícies da madeira, a fim de reproduzir melhores resultados e segurança nos trabalhos.

4.3.2.2.2 *Técnica de Inspeção Visual Geral (Global)*

Para a inspeção preliminar de Nível 1, conforme já comentado, Bonamini (1995) e Arriaga et al (2002)^{p39}, sugerem a técnica de Inspeção visual geral (global). E recomendam que devam ser identificadas as espécies de madeira com o grau de precisão permitida pela inspeção visual, tendo em vista que um inspetor especialista em estruturas de madeira deve ser capaz de discriminar em casos normais, pelo menos, nas diferenciações visuais entre as coníferas e as folhosas (dicotiledôneas). No entanto, em alguns casos, certos grupos de espécies de madeira podem ser identificados com precisão pela técnica inspeção visual, em função de suas características anatômicas peculiares. O fundamental é que a qualidade média da madeira deve ser avaliada visualmente, levando em consideração, principalmente quanto à presença de defeitos, tais como, nós, fissuras, inclinação das fibras, regiões biodeterioradas entre outros danos, conforme já abordado em detalhe, os sinais de diagnóstico no capítulo das características visuais de agentes de deterioração da madeira.

4.3.2.2.3 Proposta de metodologia de Avaliação do Potencial de Risco de Biodeterioração

Como já abordado, simplificada e a agressividade do meio ambiente está relacionada às ações de agentes bióticos e/ou dos agentes abióticos, físicos e químicos que atuam sobre as estruturas de madeira. Como sabemos o *Potencial de Risco de Biodeterioração* de uma estrutura de madeira, está diretamente associado à *Classe de Agressividade* circunscrita do seu ambiente, em que a estrutura ou parte dela está exposta [(RITTER; MORRELL, 1990); (ARRIAGA et al, 2002)].

4.3.2.2.3.1 Sistema de Classes de Risco

Para exemplificar a utilização do sistema de *Classes de Risco* no desenvolvimento de projetos de estruturas, atualmente no Brasil, cita-se o caso da NBR 6118:2014, que impõe a utilização das *Classes de Agressividade Ambiental (CAA)*, descrevendo que nos projetos das estruturas correntes de concreto, a agressividade ambiental deve ser classificada de acordo com o apresentado na Tabela 4.9 e pode ser avaliada, simplificada, segundo as condições de exposição da estrutura ou de suas partes.

Tabela 4.9. Classes de Agressividade Ambiental (CAA) para Estruturas de Concreto.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural Submersa	Insignificante
II	Moderada	Urbana ^{1), 2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾ Industrial ^{1), 2)}	Grande
IV	Muito forte	Industrial ^{1), 3)} Respingos de maré	Elevado

Fontes: NBR 6118:2003; NBR 6118:2007; NBR 6118:2014

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Além dos fatores inerentes da madeira, a durabilidade depende também das condições de uso, ou seja, a madeira é mais susceptível ao ataque de agentes biodeterioradores em condições quentes e úmidas, como é o caso de climas tropicais, do que em condições em

climas secos e frios. A norma NBR 7190:1997 ainda em vigor, no anexo D – Recomendações sobre a durabilidade das madeiras, os critérios são considerados apenas como informativo, e relata que o risco de biodeterioração depende do *teor de umidade* da madeira e da duração do período em que a madeira fica exposta a umidade, sendo as *Classes de Umidade* da madeira especificadas na Tabela 4.10 e as *Classes de Duração de Carregamento* na Tabela 4.11.

Tabela 4.10. Classes de umidade, conforme critérios da NBR 7190:1997.

Classe de umidade	Umidade relativa do ambiente	Umidade de equilíbrio da madeira
	U_{amb}	U_{eq}
1	$\leq 65\%$	12%
2	$65\% < U_{amb} \leq 75\%$	15%
3	$75\% < U_{amb} \leq 85\%$	18%
4	$U_{amb} > 85\%$ durante longos períodos	$\geq 25\%$

Fonte: NBR 7190:1997

Uma avaliação preliminar do *Potencial de Risco de Biodeterioração* irá reduzir o tempo à necessidade de investigação sobre as possíveis causas e seus efeitos, e preparar melhor o inspetor para formular as metodologias e técnicas de inspeções. Como já comentando, do ponto de vista ambiental, o *Potencial de Risco de Biodeterioração* por apodrecimento varia consideravelmente entre as localidades, e muitas vezes, a experiência local é a melhor fonte de informação [(RITTER; MORRELL, 1990); (ARRIAGA et al, 2002)^{p13-39}].

Tabela 4.11. Classes de duração de carregamento, conforme critérios da NBR 7190:1997.

Classe de carregamento	Ação variável principal da combinação	
	Duração acumulada	Ordem de grandeza da duração acumulada da ação característica
Permanente	Permanente	Vida útil da construção
Longa duração	Longa duração	Mais de seis meses
Média duração	Média duração	Uma semana a seis meses
Curta duração	Curta duração	Menos de uma semana
Duração instantânea	Duração instantânea	Muito curta

Fonte: NBR 7190:1997

O Anexo D da NBR 7190:1997 preconiza a consideração de cinco situações de risco de biodeterioração em elementos estruturais de madeira. Na Tabela 4.12 estão indicados os principais agentes biológicos de deterioração da madeira, em função das situações de risco em que a madeira está exposta.

Tabela 4.12. Agentes biológicos em função das situações de risco de biodeterioração da madeira.

Situação de Risco	Agentes biológicos					
	Fungos apodrecedores		Fungos manchadores e emboloradores	Insetos		Furadores marinhos
	Basídio micetos	Podridão mole	Azulão	Besouros	Cupins	
1	-	-	-	L	L	-
2	U	-	U	L	L	-
3	U	-	U	L	L	-
4	U	U	U	L	L	-
5	U	U	U	L	L	U

NOTA - U = presente; L = pontos localizados.

Situação de Risco 1: caracteriza pelas condições em que a madeira está inteiramente protegida das intempéries e não sujeita à reumidificação. Estão nesta situação as madeiras que pertencem às classes de umidade 1 a 3, especificadas pela Tabela 4.10, com duração permanente conforme a Tabela 4.11; Situação de Risco 2: caracteriza pelas condições em que a madeira está inteiramente protegida das intempéries, mas sujeita à reumidificação ocasional. Estão nesta situação as madeiras pertencentes às classes de umidade 1 a 3, especificadas pela Tabela 4.10, sujeitas à reumidificação de curta duração conforme a Tabela 4.11; Situação de Risco 3: caracteriza pelas condições em que a madeira não está protegida das intempéries, ou está protegida mas sujeita à reumidificação frequente. Estão nesta situação as madeiras pertencentes à classe de umidade 4, definida pela Tabela 4.10, sujeitas à reumidificação de longa duração conforme a Tabela 4.11; Situação de Risco 4: caracteriza pelas condições em que a madeira está permanentemente em contato com o solo ou com água doce; Situação de Risco 5: caracteriza pelas condições em que a madeira está permanentemente em contato com água salgada. Fonte: NBR 7190:1997

Quando as informações do local não estiverem disponíveis, informações gerais sobre o *Potencial de Risco de Biodeterioração* por ataque de fungos podem ser correlacionadas geograficamente com base na variação média de precipitação e temperatura. Ritter e Morrell (1990)^{p13-40} descrevem que as estruturas de pontes de madeira localizadas em regiões com menos de 640 mm por ano (25 inches por ano) de chuva ou estações de precipitações normalmente curtas tem o *Potencial de Risco de Biodeterioração* por apodrecimento reduzido. Mas com a grande maioria das regiões no Brasil são de clima tropical, e ocorrem chuvas abundantes com variações de temperaturas que favorecem a biodiversidade, no entanto, para as estruturas, esses fatores representam um *Alto Potencial de Risco de Biodeterioração*. O mapa de variação da umidade realtiva do ar anual no Brasil disponível na Figura 4.15a apresenta um mapa da INMET 1931/1990, que retrata as grandes regiões no Brasil com riscos de biodeterioração, com base nas condições climáticas, e que contribui como referência para estimativa da umidade relativa do ar anual, dentro do território nacional. E o mapa disponível na Figura 4.15b apresentado por Silva et al (2001) citado em Martins et al (2003) e Freitas (2009) indicam as grandes regiões com Potencial de Ataque Fúngico (PAF) no Brasil, também com base nas condições climáticas, considerando as normais climatológicas de temperatura e o número de dias de chuva nos períodos de 1931/1960 e 1961/1990.

Esses mapas podem ser orientativos tanto para elaborações de projetos com sistemas estruturais e/ou construtivos de madeira, quanto para inspeções em *Avaliações do Potencial de Risco de Biodeterioração* por apodrecimento. No entanto, as condições climáticas locais em certas regiões podem variar consideravelmente. A Tabela 4.13 de Ferreira et al (2003)^{IPT} apresenta o teor de umidade de equilíbrio da madeira, na base seca, em função da *umidade relativa do ar* e da *temperatura*, nas principais Capitais do Brasil.

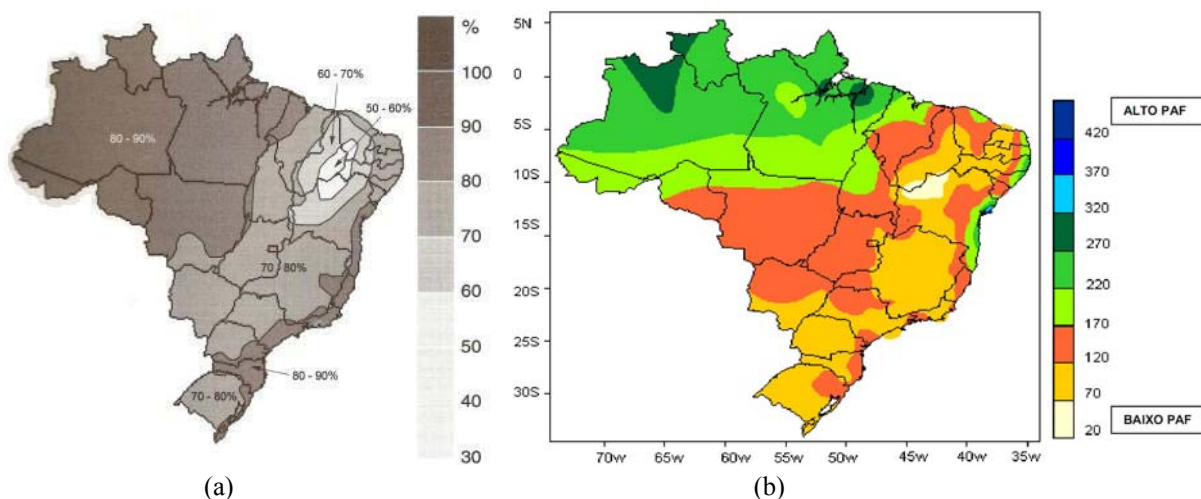


Figura 4.15. Mapas do Brasil para subsídio em avaliação de risco de biodeterioração: (a) Mapa de variação de umidade relativa do ar anual no Brasil (Os números mais altos indicam a maior potencialidade de risco de biodeterioração). Fontes: INMET 1931/1990; PFEIL (2003); BRITO (2010); CALIL e BRITO (2010); (b) Mapa de identificação do *Potencial de Ataque Fúngico* (PAF) no Brasil. Fontes: SILVA et al (2001); MARTINS et al (2003); FREITAS (2009).

Tabela 4.13. Teor de umidade de equilíbrio da madeira, nas principais Capitais do Brasil.

Cidade	Umidade Relativa do ar* (%)	Temp. *(°C)	Teor de umidade de equilíbrio da madeira** (%)	Cidade	Umidade Relativa do ar* (%)	Temp. *(°C)	Teor de umidade de equilíbrio da madeira** (%)
Aracaju	78,2	26,0	15,2	Manaus	83,1	26,7	16,9
Belém	86,5	26,0	18,4	Porto Alegre	76,0	19,5	14,8
Belo Horizonte	76,5	21,1	14,9	Porto Velho	84,8	25,1	17,7
Brasília	67,6	21,2	12,5	Recife	81,2	25,5	16,2
Cuiabá	73,1	25,6	13,7	Rio Branco	83,8	24,9	17,3
Curitiba	80,2	16,5	16,2	Rio de Janeiro	79,1	23,7	15,6
Florianópolis	82,2	20,3	16,8	Salvador	79,5	25,2	15,6
Fortaleza	80,2	26,6	15,8	Santos	79,9	21,3	15,9
Goiânia	65,7	23,2	12,0	São Luiz	78,4	26,1	15,2
João Pessoa	80,6	26,1	15,9	São Paulo	78,4	19,3	15,5
Macapá	82,8	26,6	16,8	Teresina	77,5	26,5	14,9
Maceió	79,0	24,8	15,5	Vitória	81,1	24,2	16,2

Fontes: FERREIRA et al (2003)^{IPT}

* Instituto Nacional de Meteorologia - INMET

** Calculado de acordo com ASTM D 4933-91. Standard guide for moisture conditioning of wood and wood-base materials.

Tendo em vista que o *teor de umidade* na madeira condiciona igualmente o *Potencial de Risco de Biodeterioração*, Machado et al (2009) apresentam as isocurvas de equilíbrio higrotérmico (em função da *Temperatura* e *Umidade Relativa do Ar*), para cálculos de estimativas do teor de umidade na madeira (Figura 4.16).

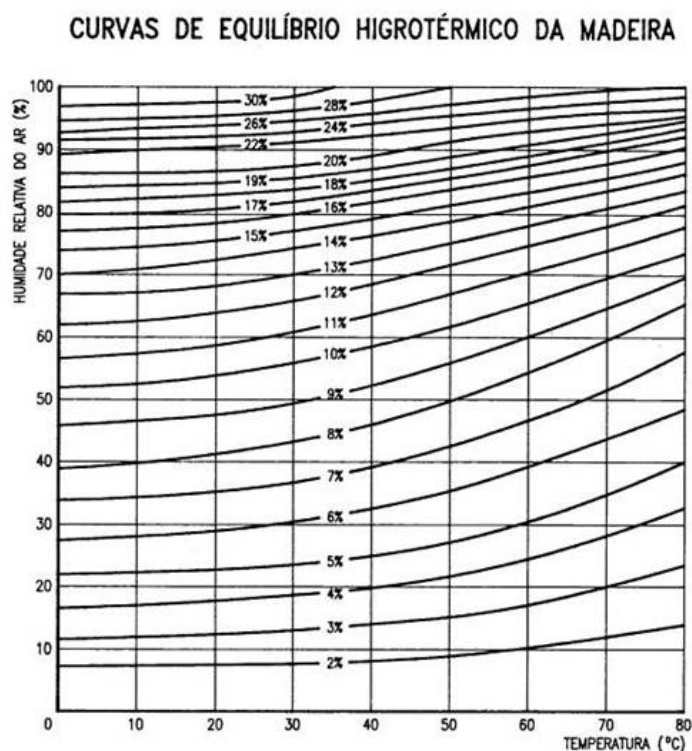


Figura 4.16. Isocurvas de *teor de umidade* (em função da *Temperatura* e *Umidade Relativa do Ar*).

Fonte: MACHADO et al (2009).

Como indicativos, Bonamini (1995) recomenda que o inspetor deve avaliar o *Potencial de Risco de Ataques Biológicos*, e indicar em toda estrutura em análise, em função das *Classes de Risco* (CR), também conhecidas por *Classes de Serviço* previstas no Eurocode EC 5. Esse critério também é recomendado por diversos pesquisadores [(MACHADO et al, 2009); IPT, (2001)^{p28}; (MARYNOWICZ, 2008)^{p230}; (FREITAS, 2009); (SAMPAIO da COSTA, 2009)^{p54}; (BRANCO et al, 2012)]. As Normas Europeias EN 335-1 e EN 335-2 apud IPT (2001)^{p28} atentam na Tabela 4.14 as principais condições em que a madeira está exposta, as quais possuem maior ou menor probabilidade da madeira ser atacada por um por mais grupos de agentes de biodeterioração, conforme condições de uso.

Tabela 4.14. Classes de Risco: Grupos de agentes de biodeterioração que podem atacar a madeira, conforme o local e as condições em que ela está empregada.

Classe de Risco	Local e condições de uso	Exposição à umidade	Agentes de biodeterioração			
			Fungos	Brocas	Térmitas	Perfuradores Marinhos
1	Acima do solo (Coberto e seco)	Nenhuma	Não	Sim	Sim	Não
2	Acima do solo (Coberto com riscos de umidade)	Ocasional	Sim	Sim	Sim	Não
3	Acima do solo (não coberto)	Frequente	Sim	Sim	Sim	Não
4	Em contato com solo ou água doce	Permanente	Sim	Sim	Sim	Não
5	Em contato com água salgada	Permanente	Sim	Sim	Sim	Sim

Fontes: Normas EN 335-1 e EN 335-2 apud IPT (2001)²⁸

Além das *Classes de Risco* nas normas européias, outras considerações importantes com relação a durabilidade de estruturas de madeira são apresentadas nas normas AS 1604.1:2005, AS 1720.2:1990 e AS 5604:2005. Resumidamente, a AS 5604:2005 define inicialmente que a durabilidade natural é a resistência à biodeterioração inerente de uma determinada espécie de madeira. Relacionados ao apodrecimento e ao ataque de perfuradores marinhos, essa norma menciona classificações quantitativas, conforme as Tabelas 4.15 e 4.16.

Tabela 4.15. Provável expectativa de Vida útil para durabilidade natural.

Classe de Risco	Provável expectativa de Vida útil de madeira em contato com o solo (Anos)	Provável expectativa de Vida útil de madeira acima do solo (Anos)
	1	> 25
2	15 a 25	15 a 40
3	5 a 15	7 a 15
4	0 a 5	0 a 7

Fonte: AS 5604:2005

Tabela 4.16. Provável expectativa de vida ao ataque de perfuradores marinhos.

Classe de Risco	Espectativa de Vida útil de madeira em águas salgadas no Sul* da Austrália. (Anos)	
	*Geralmente o ataque de perfuradores marinhos é mais severo nas águas do Norte Australiano do que nas do Sul.	
1	> 60	
2	41 a 60	
3	21 a 40	
4	0 a 20, geralmente menor que 5 anos	

Fonte: AS 5604:2005

Já a AS 1702.2:1990 resumidamente define a *Classe de Durabilidade Natural*, assumindo essas classes para um cerne não tratado, com no mínimo 40 mm de espessura, em contato com o solo, conforme a Tabela 4.17.

Tabela 4.17. Classes de durabilidade natural.

Classe de Durabilidade	Definição
1	Peças de maiores durabilidades naturais das quais pode ser esperado resistir ao apodrecimento e ataque de térmitas por no mínimo 25 anos
2	Peças de alta durabilidade natural das quais pode se esperado ter uma Vida útil entre 15 e 25 anos
3	Peças de durabilidade moderada das quais pode ser esperada uma Vida útil de 8 a 15 anos
4	Peças de baixa durabilidade natura da quais possam durar entre 1 a 8 anos. Essas peças tem aproximadamente a mesma durabilidade de alburnos não tratados, as quais geralmente são consideradas de Classe 4 independente da espécie.

Fonte: AS 1720.2:1990

A AS 1604.1:2005 apresenta um guia de seleção para *Avaliação de Classe de Risco*, considerando 6 classes de risco ao invés de cinco, em função da condição de uso, Tabela 4.18.

Tabela 4.18. Guia de seleção para avaliação de Classe de Risco.

Classe de Risco	Exposição	Condições Específicas de Risco	Risco de biodeterioração	Condições de Uso
H1	Interna acima do solo	Completamente protegido de agentes atmosféricos, bem ventilado, e protegido de térmitas	Brocas (Lictídeos)	Elementos estruturais de coberturas e de pavimentos; ligações internas; forros; mobiliários.
H2	Interna acima do solo	Protegido de umidade, sem lixiviação	Brocas e Térmitas	Elementos estruturais; pavimentos; ligações internas; e uso similar de situações secas.
H3	Externa acima do solo	Sujeito a periódicos umedecimentos moderados e lixiviação	Apodrecimento moderado, brocas e térmitas	Elementos Estruturais; Tábuas de revestimentos externos, outdoor, pérgolas, esquadrias de janelas; e decks (acima do solo).
H4	Externa em contato com o solo	Sujeito a severo umedecimento e lixiviação	Apodrecimento severo, brocas e térmitas	Elementos estruturais; muros; estufas, pérgolas e peças de jardins (no solo)
H5	Externa em contato com o solo ou água doce	Sujeito a umidade extrema e lixiviação, e/ou onde o uso crítico requer um maior grau de proteção	Apodrecimento muito severo, brocas e térmitas	Estacas; Elementos estruturais; paredes de contenções; postes; pilares ou colunas de edificações; torres de resfriamento.
H6	Submersa em água marinha	Sujeito a prolongada imersão em água salgada ou salobra.	Perfuradores marinhos e apodrecimento muito severo	Cascos de barcos; estacas; ancoradouros, e similares.

Fonte: Norma AS 1604.1-2005

4.3.2.2.3.2 *Levantamento inicial*

A melhor maneira de se iniciar os trabalhos de inspeção em avaliação de uma estrutura é fazer uma breve caminhada ao redor da mesma, observando as características gerais e procurando sinais evidentes de manifestações patológicas, de deterioração ou de *Potenciais de Risco de Biodeterioração*. Para os casos de estruturas de pontes, uma atenção especial deve ser dada aos sinais de níveis diferenciados em longarinas, transversinas ou tabuleiros, que podem indicar recalques diferenciais de fundações, inchamento da madeira do tabuleiro, ou outras manifestações adversas. Os elementos de guarda-rodas e guarda-corpos também devem ser verificados quanto ao posicionamento de alinhamento e nivelamento. Pilares inclinados ou guarda-rodas soltos podem indicar inchamento do tabuleiro ou movimento da superestrutura. Nessa fase também devem ser observados os padrões de drenagens e obstruções dos coletores pluviais nas pistas de rolamentos das estradas e obstruções dos coletores de drenagens do tabuleiro, bem como a eficiência do tabuleiro quanto aos desgastes da superfície de proteção e de seus componentes subjacentes. As observações gerais como essas podem alertar o inspetor a situações potencialmente adversas que exijam uma análise mais detalhada em uma posterior inspeção. Nessa etapa da inspeção também pode fornecer uma oportunidade para preparar esboços iniciais da estrutura e definir os recursos dos métodos e equipamentos de inspeção a serem utilizados para a obtenção dos resultados na inspeção detalhada (RITTER e MORRELL, 1990)^{p13-45}. Análises semelhantes a essa também são válidas para as edificações.

4.3.2.2.3.3 *Áreas susceptíveis com Alto Potencial de Risco de Biodeterioração*

A biodeterioração por apodrecimento na madeira pode ocorrer quando as condições ambientais são adequadas e favoráveis ao crescimento de fungos. O *Potencial de Risco de Biodeterioração* por fungos apodrecedores em elementos estruturais de uma ponte é mais elevado em casos que a madeira não tratada fica exposta. Segundo Ritter e Morrell (1990)^{p13-41} para os casos de estruturas de pontes de madeira, apesar dessas estruturas diferenciarem em vários aspectos, existem diversas áreas comuns, pré-definidas, onde são mais favoráveis e prováveis de ocorrer biodeteriorações por apodrecimento. Essas áreas envolvem situações em que a umidade da madeira é elevada e em regiões, por exemplo, de fendas ou rachas, em que foram removidas ou atingiram áreas sem preservativo (ou a retenção do preservativo foi insuficiente durante o processo de tratamento), favorecem como ponto de partida para o surgimento de organismos biodeterioradores por apodrecimento. Os sinais com *Alto Teor de umidade* e regiões próximas de ligações, conectores, de fendilamentos, fendas, rachas ou

danos mecânicos devem ser consideradas como áreas de *Alto Potencial de Risco de Biodeterioração* por apodrecimento. As condições para biodeteriorações por apodrecimento são favoráveis nessas regiões em função da umidade entre as fendas, rachas ou outras condições em que inibam a circulação de ar e a secagem. Para os casos de estruturas de pontes, ancoradouros e decks Highley e Scheffer (1989) e Ritter e Morrell (1990) apresentam respectivamente nas Figuras e 4.17 e 4.18, as regiões críticas, com *Alto Potencial de Risco de Biodeterioração* por apodrecimento em elementos estruturais de madeira.

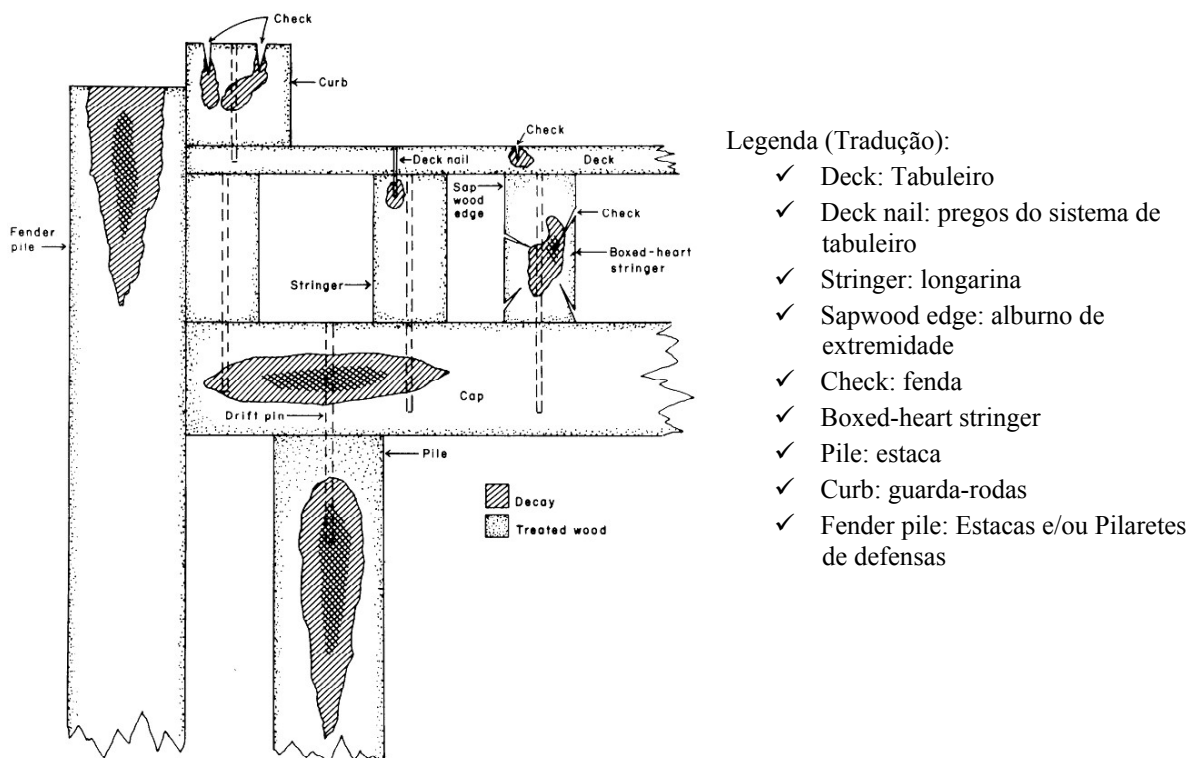
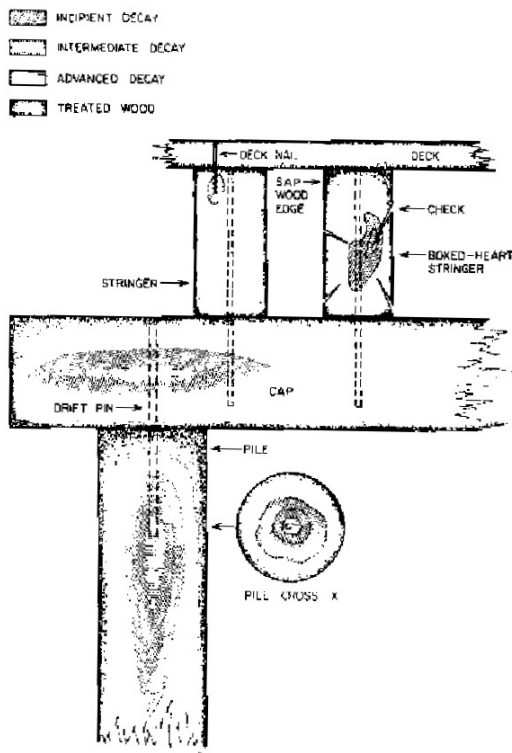


Figura 4.17. Representação de áreas típicas com *Alto Potencial de Risco de Biodeterioração* por apodrecimento, em tabuleiros, vigas longarinas ou transversinas, topos de estacas ou colunas (sem capuz), contenções de terra e guarda-rodas de estruturas de pontes, ancoradouros e decks de madeira. Fonte: HIGHLEY e SCHEFFER (1989).

Segundo Ritter e Morrell (1990)^{p13-41} o *teor de umidade* dos componentes de uma ponte não são uniformes, e essas substanciais variações ocorrem internamente e entre os elementos estruturais. *As superfícies de extremidade das fibras [ingl.: end-grain surfaces] devem ser consideradas como Alto Potencial de Risco de Biodeterioração por apodrecimento, pois absorvem à água muito mais rapidamente do que as superfícies laterais das fibras [ingl.: side-grain]. Em situações de mesmas condições de umidade, a condição de permeabilidade na direção longitudinal (paralela às fibras) é em torno de 50 a 100 vezes maior do que na direção transversal (perpendicular às fibras) (RITTER; MORRELL, 1990). O desenvolvimento de biodeterioração por apodrecimento é o mais afetado nas imediações da*

infecção existente, em função do *teor de umidade* na madeira. No entanto, um elemento estrutural que geralmente permaneça seco, pode não ser infectado ao longo do seu comprimento, mas ser severamente deteriorado em áreas localizadas, onde a madeira não tratada fica continuamente ou intermitentemente exposta à água. As condições de umidade em uma ponte também estão sujeitas a variações sazonais e podem ser alteradas por operações de manutenção ou por alterações nos sistemas de drenagem. Segundo Ritter e Morrell (1990)^{p13-41}, a madeira que permanece completamente seca, mas caso tenha sido exposta a altos teores de umidade no passado, pode ser seriamente biodeteriorada por apodrecimento. “*O inspetor deve estar atento para quaisquer indicações de pontos intuitivos ou de sinais visuais de manchas de infiltrações. Os sinais visuais podem aparecer como marcas d'água, manchas leve de lama ou manchas com variações na coloração*”. Já os pontos intuitivos incluem quaisquer superfícies horizontais, áreas de contato, depressões, ou outras características que possam reter água e, portanto, indicar exposições de umidade potencialmente elevadas (RITTER; MORRELL, 1990).

Os fendilamentos por secagem [ingl.: *seasoning checks*] normalmente desenvolvem em elementos estruturais de madeira de grandes dimensões, no entanto em menor grau, em peças de Madeira Laminada Colada (MLC). Embora a dimensão da fenda [ingl.: *check*] influencie na área exposta do material não tratado, aberturas muito pequenas são suficientes para permitir a entrada de organismos de biodeterioração por apodrecimento, Figura 4.18. “*Os furos de parafusos, pregos, ou outras ferragens podem interceptar a água, que irá ser absorvida e retida em profundidade nas superfícies de extremidade das fibras na madeira pela ação de capilaridade*”. A susceptibilidade à biodeterioração por apodrecimento em regiões de ligações é maior porque os furos dos conectores são geralmente furados *in loco*, removendo o tratamento preservativo, e geralmente não são adequadamente tratados com preservativos após confeccionados. Outros usos inadequados ou danos mecânicos como sobrecargas, abrasão de pneus de veículos e recalques de apoios também podem remover a camada de tratamento preservativo e favorecer como ponto de partida para o aparecimento de organismos biodeterioradores por apodrecimento. Além disso, o dano mecânico também pode afetar na capacidade estrutural, dependendo da localização, extensão e natureza da biodeterioração por apodrecimento (RITTER; MORRELL, 1990)^{p13-43}.



Legenda (Tradução):

- ✓ Incipient Decay: apodrecimento inicial
- ✓ Intermediate Decay: apodrecimento intermediário
- ✓ Advanced Decay: Apodrecimento avançado
- ✓ Treated wood: madeira tratada
- ✓ Pile cross: Seção transversal da estaca

Figura 4.18. Representação dos níveis de apodrecimento, nas principais regiões com *Alto Potencial de Risco de Biodeterioração* em elementos estruturais em pontes de madeira. RITTER e MORRELL (1990).

As regiões de *Alto Potencial de Risco de Biodeterioração* em postes e colunas de eucalipto, estão apresentados na Figura 4.19. e segundo Bueno (2001) apud Freitas (2009), as principais causas de substituições de postes de madeira são:

- ✓ ataques por fungos apodrecedores na região da linha de afloramento do poste, ou seja, na região de interface com o solo, em que é mais crítica, devido as condições favoráveis desse tipo de organismo;
- ✓ e ataques por térmitas, com maior incidência de térmitas-subterrâneas. Esse tipo de ataque ocorre com maior frequência em regiões quentes, de solos arenosos, com predominância de vegetação.

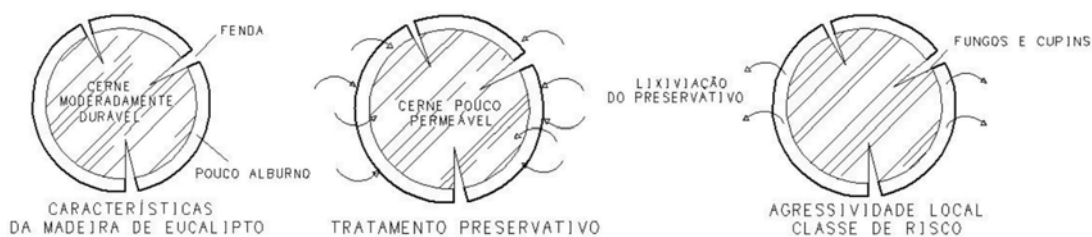


Figura 4.19. *Potencial de Risco de Biodeterioração* em postes de madeira roliça de eucalipto. FREITAS (2009).

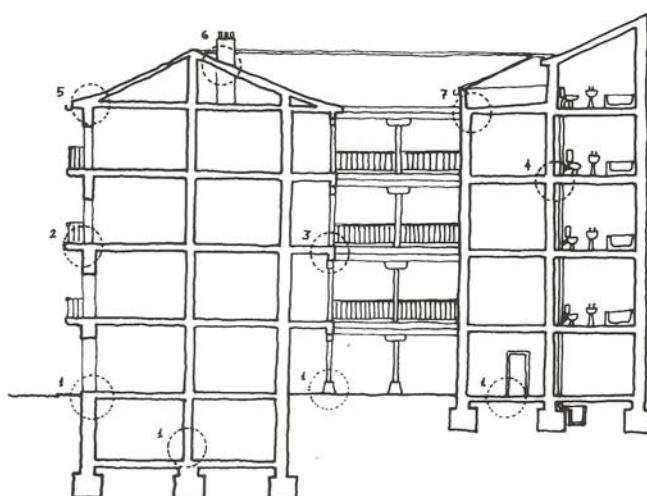
Em edificações, é evidente que nas inspeções, devam ser investigados os indícios em regiões de má conservação, observando-se deformações acentuadas, em vigas, em pavimentos, em telhados [(CRUZ, 2001); (PAIVA et al, 2006); (GARCEZ, 2009); (BALLÁN BALLÁN, 2009)], trincas ou diversos sintomas associados à concentração de pontos localizados de umidade, para detectar manifestações patológicas em elementos estruturais de madeira. O aspecto da aparência externa na edificação pode ser muitas vezes eloquente, permitindo um levantamento preliminar das anomalias evidentes e das regiões potencialmente problemáticas, conforme pode ser observado na Figura 4.20 de Cruz (2001) citada também em Branco et al (2012), assim como na Figura 4.21 de Arriaga et al (2002) apontam além das regiões externas as regiões internas com *Alto Potencial de Risco de Biodeterioração*.



Legenda, CRUZ (2001):

1. Deformações localizadas em telhados;
 2. Madeiras expostas em mau estado;
 3. Telhas deslocadas e/ou trincadas;
 4. Calhas ou coletores de águas pluviais entupidos ou danificados;
 5. Regiões de telhado pouco saliente;
 6. Arremates ineficazes; regiões próximas às chaminés;
 7. Crescimento de vegetações;
 8. Manchas de umidade;
 9. Fissuras e/ou trincas em paredes;
 10. Rebocos desagregados ou fissurados;
 11. Esquadrias deterioradas;
 12. Ausência de impermeabilizações;
 13. Canteiros e/ou jardins adjacentes;
 14. Aberturas de ventilação obstruídas;
- Fonte: BERRY (1994) adaptado por CRUZ (2001)

Figura 4.20. Avaliações externas em edificações: indícios de risco de biodeteriorações.



Legenda, ARRIAGA et al (2002):

1. Peças nas proximidades e/ou em contato com solo;
2. Regiões de apoios de vigas em balanço em paredes de fachada, de varandas,
3. Regiões de apoios em vigas de pavimentos em Galerias
4. Pavimentos em áreas molhadas (banheiros, cozinhas, lavanderias etc.)
5. Regiões de apoio sobre paredes Beirais, e proximidades de calhas;
6. Regiões de chaminés em coberturas;
7. pavimentos de terraços ou coberturas planas.

Figura 4.21. Regiões de risco de biodeteriorações em edificações de madeira. Fonte: ARRIAGA et al (2002)

A umidade, em suas diversas formas de origens, incluindo o efeito de alterações que podem ocorrer no meio ambiente, barreiras de vapor, impermeabilizações, fontes de condensação, ventilação aumentada ou diminuída, fechado janelas ou outras aberturas, ligações, extremidades de vigas, etc., devem ser sempre consideradas como fatores com *Alto Potencial de Risco de Biodeterioração* e uma ameaça para a conservação de estruturas de madeira, inclusive aquelas que tenham sido submetidas a trabalhos antigos ou recentes de intervenções em reabilitações [(BONAMINI, 1995); (UZIELLI, 1995)].

4.3.2.2.3.4 *Proposta de Classes de Potencial de Risco conforme a Nova NBR 7190:2011*

Campos et al (2002)a, reformularam a proposta de *Classes de Risco de Biodeterioração* da madeira, diferindo a classificação de recomendações apresentadas na NBR 7190:1997, atribuindo uma classe adicional na nova proposta, em virtude de uma *Classe de Risco* única para as estruturas imersas em água doce, em que na respectiva norma, o contato com água doce está preconizado junto com o contato direto no solo (correspondia a Classe 4).

Diante desse contexto, no Brasil, atualmente, o Projeto de Revisão da NBR 7190:2011, além de substituir o termo *Sistema de Classes de Risco* por *Sistema de Categorias de Uso*, reformulou os critérios conforme as condições de agressividades ambientais brasileiras, em seis diferentes situações de exposição da madeira, em condição de serviço conforme apresentadas na Tabela 4.19 [(CAMPOS et al, 2002)a; (BRAZOLIN et al, 2004); (CALIL et al, 2006); (BRITO, 2010); (CALIL JR.; BRITO, 2010); (BRITO; CALIL JR., 2011)a; (BRITO; CALIL JR., 2011)b; (BRITO; CALIL JR., 2012)c; Projeto de Revisão da NBR 7190:2011]. Essa proposta preconizada como imposição a ser adotada durante a fase de elaboração de projeto de uma construção com componentes de madeira auxilia na escolha do tratamento preservativo da madeira.

Tabela 4.19. Proposta das *Categorias de uso* para avaliação em mapeamento de áreas em *Classes de Potencial de Risco de Biodeterioração*, para aplicação em *Inspecões Preliminares* pela *Técnica de Inspeção Visual Geral* de elementos estruturais de madeira, em função das exposições de agressividades ambientais em condições de uso.

Classe de Risco (CR)	Condição de uso da madeira	Organismo xilófago
1	Interior de construções, fora de contato com o solo, fundações ou alvenaria, protegidos das intempéries, das fontes internas de umidade e locais livres do acesso de cupins-subterrâneos ou arborícolas.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cupins-de-madeira-seca ✓ Brocas-de-madeira
2	Interior de construções, em contato com a alvenaria, sem contato com o solo ou fundações, protegidos das intempéries e das fontes internas de umidade.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cupins-de-madeira-seca ✓ Brocas-de-madeira ✓ Cupins-subterrâneos ✓ Cupins-arborícolas
3	Interior de construções, fora de contato com o solo e protegidos das intempéries, que podem, ocasionalmente, ser expostos a fontes de umidade.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cupins-de-madeira-seca ✓ Brocas-de-madeira ✓ Cupins-subterrâneo ✓ Cupins-arborícola ✓ Fungos ✓ Emboloradores/manchadores ✓ Fungos apodrecedores
4	Uso exterior, fora de contato com o solo e sujeitos às intempéries.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cupins-de-madeira-seca ✓ Brocas-de-madeira ✓ Cupins-subterrâneo ✓ Cupins-arborícola ✓ Fungos ✓ Emboloradores/manchadores ✓ Fungos apodrecedores
5	Contato com o solo, água doce e outras situações favoráveis à deterioração, como engaste em concreto e/ou alvenaria.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cupins-de-madeira-seca ✓ Brocas-de-madeira ✓ Cupins-subterrâneo ✓ Cupins-arborícola ✓ Fungos ✓ Emboloradores/manchadores ✓ Fungos apodrecedores
6	Exposição à água salgada ou salobra.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Perfuradores marinhos ✓ Fungos ✓ Emboloradores/manchadores ✓ Fungos apodrecedores

Fontes: BRAZOLIN et al (2004); citada em BRITO (2010) e CALIL e BRITO (2010)

No entanto, o Autor aqui propõe que a utilização das indicações da Tabela 4.19 proposta por Campos et al (2002)a, Brazolin et al (2004), e reformulada no projeto de revisão da NBR 7190:2011, citada em Brito (2010) e Calil e Brito (2010) possa ser utilizada também como critérios de *Classes de Potencial de Risco de Biodeterioração* com o objetivo de auxiliar, como indicativos em *Projeto de Inspeção para Avaliações do Potencial de Risco de Agentes de Biodeterioração*, ser realizada na fase de *Inspeção Preliminar aliada à Técnica de Inspeção Visual Geral (Global)*, como subsídio preliminar para identificações de

manifestações patológicas em elementos estruturais de madeira, através de uma análise crítica das condições, em função das exposições de agressividades ambientais em condições de uso, em que uma determinada estrutura existente, ou parte dela está exposta.

A título de exemplificação, a Figura 4.22 de Calil et al (2003) reformulada por Brito (2010) e citado em Calil e Brito (2010) conforme a nova proposta das *Categorias de uso* do projeto de norma da NBR 7190:2011, referentes às recomendações do sistema de *Classes de Risco* propostas por Brazolin et al (2004), apresenta-se critérios de levantamentos para mapeamento em *Projeto de Inspeção Preliminar* ou em *Inspeções Periódicas Preventivas para Avaliações do Potencial de Risco de Biodeterioração*, como subsídio para *Técnica de Inspeção Visual Geral (Global)* em áreas externas e internas de uma edificação residencial, e em estrutura de deck. Nesse exemplo, observa-se que as Classes 3, 4, 5 e 6, devem ser consideradas como *Alto Potencial de Risco de Biodeterioração* por fungos apodrecedores.

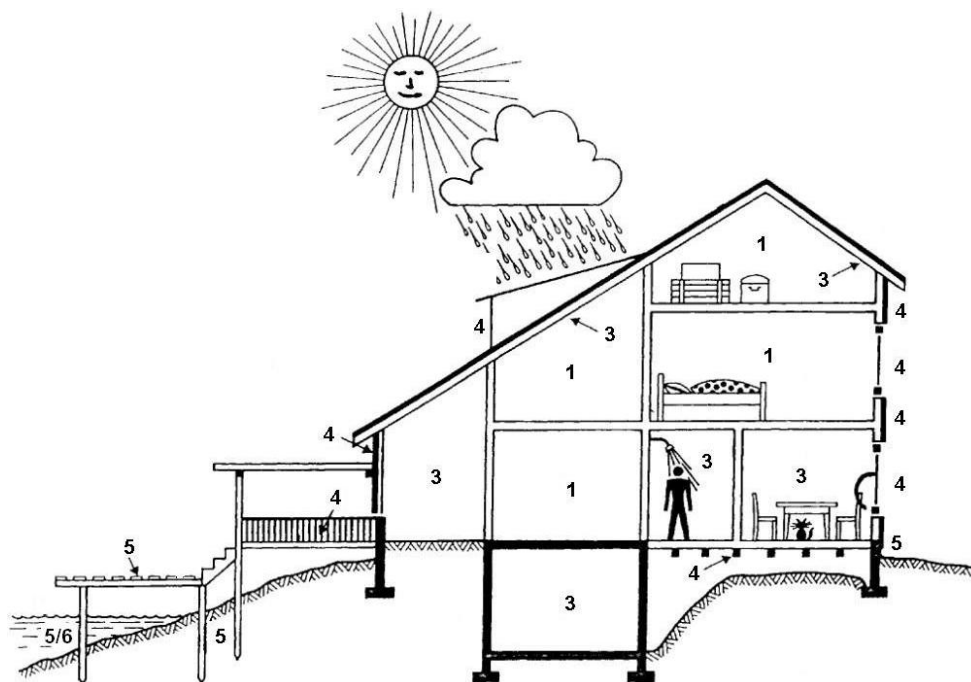


Figura 4.22. Exemplificação de um projeto preliminar para avaliação das áreas de risco de biodeterioração, em uma inspeção de edificação residencial, para determinação de indicativos das *Classes de Risco*, como proposta de utilização em *Técnica Inspeção Visual Geral*. Fontes: BRITO (2010) citado em CALIL e BRITO (2010).

Dessa maneira, propõe-se no sistema ilustrativo da Figura 4.22 em *Projeto de Avaliações de Risco de Agentes de Biodeterioração* como critério de avaliação em *Inspeção Preliminar*, torna-se um facilitador na *Inspeção Detalhada* de uma determinada estrutura ou edificação existente, tornando-se mais evidentes os elementos estruturais de madeira expostos, ou que foram expostos no passado em condições de *Alto Potencial de Risco de Biodeterioração*, e que caso detectada a biodeterioração e em função do nível de ataque, deva ser avaliada como uma *Classe de Alta Prioridade de Risco* denominada por *Classe de Prioridade Vermelha*,

conforme será definida mais adiante, e que pode corresponder à *Alta Prioridade de Intervenção* (CPI), mesmo que suas condições reais aparentem estar em boas condições.

4.3.2.2.4 Avaliação de danos e de deteriorações aparentes

Para avaliação de danos e/ou deterioração aparentes, o inspetor deve identificar, qualquer sinal de dano e/ou de deterioração na madeira, mesmo em estágios iniciais, e relatar em projeto, e quando possível com plaqueta de identificação *in loco* (FREITAS, 2009), com informações de detalhes sobre os meios técnicos disponíveis para posteriores avaliações quanto à evolução em sua deterioração [(RITTER; MORRELL, 1990); (BONAMINI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002)].

4.3.2.2.5 Metodologia de Classe de Prioridade de Intervenção

Conforme a NBR 5674:1999, nos relatórios das inspeções devem descrever a deterioração de cada componente da edificação e avaliar a perda do seu desempenho, classificando os serviços de manutenção conforme o nível (grau) de urgência, nas seguintes categorias:

- serviços de urgência para imediata atenção;
- serviços a serem incluídos em um programa de manutenção.

Com na base na metodologia de inspeção e avaliação, anteriormente mencionada, a proposta de classificação da estrutura de acordo com o nível de prioridade de intervenção, deve ser atribuída como um todo, em uma das quatro *Classes de Prioridade de Intervenção* (CPI) recomendadas por Bonamini (1995), conforme indicação na Tabela 4.20. Esse sistema de classificação pode subsidiar na elaboração de um mapeamento esquemático, indicando as áreas com *Potencial de Risco de Biodeterioração* e suas respectivas *Classes de prioridades de Intervenção* (CPI) a serem avaliadas durante a *Inspeção Preliminar de Nível 1* com as indicações das respectivas cores apropriadas, em função do nível de prioridade de intervenção de cada elemento estrutural e/ou em desenho do respectivo projeto de inspeção.

Tabela 4.20. Classificação da estrutura de acordo com a *Classe de Prioridade de Intervenção* (CPI).

Classe de Prioridade de Intervenção (CPI)	Prioridade de Intervenção
● Classe Verde	Baixa
● Classe Amarela	Média
● Classe Vermelha	Alta
● Classe Cinza	Regiões inacessíveis à inspeção no Nível 1

Fonte: Proposta de BONAMINI (1995)

- **Classe Verde:** representa à baixa prioridade de intervenção, em função da necessidade em que se encontra a madeira, a estrutura está em bom estado de conservação; risco biológico é baixo; eventual biodeterioração por apodrecimento está em fase inicial, ou não está mais ativa e restrita a locais não críticos, se faz necessária apenas manutenção de rotina periódica.
- **Classe Amarela:** corresponde à média prioridade de intervenção, os elementos estruturais de madeira sofreram alguma biodeterioração por apodrecimento; o dano e/ou risco biológico é elevado; novas inspeções com investigações detalhadas e intervenções restauradoras, são necessárias em curto prazo, mesmo que a estrutura não apresente perigo imediato de colapso.
- **Classe Vermelha:** indica à alta prioridade de intervenção; madeira esta afetada com biodeterioração por apodrecimento em regiões críticas, a estrutura está em perigo imediato de colapso parcial e/ou total; são necessárias novas inspeções com investigações detalhadas, mas a sua execução só será possível após as intervenções de reforço e/ou reparações provisórias a fim de cumprir com os critérios de segurança.
- **Classe Cinza:** representa a cor necessária para indicar elementos estruturais que não foram inspecionados no Nível 1, pois estavam inacessíveis por qualquer motivo na inspeção preliminar, e que devem ser destinados à uma futura avaliação visual.

4.3.2.2.6 Documentações Técnicas da Inspeção Preliminar de Nível 1

Dependendo do porte da estrutura e da agressividade do meio, recomenda-se a elaboração pelo inspetor, de pelo menos um mapeamento esquemático, indicando as áreas de *Potencial de Risco de Biodeterioração* e suas respectivas *Classes de prioridades* representadas em plantas e/ou em cortes em *Projeto de Inspeção Preliminar de Nível 1* com as indicações das respectivas cores apropriadas: verde, amarelo, vermelho ou cinza, e um relatório técnico, com registros de fotos, relatando sobre as condições gerais das estruturas de madeira, incluindo recomendações sobre a eventual necessidade de inspeções e/ou análises mais detalhadas, e/ou outros tipos de intervenções.

4.3.2.3 Inspeção Detalhada de Nível 2 (Avaliação detalhada)

Segundo Bonamini (1995), a avaliação de estruturas de madeira é uma tarefa complexa, pois não são disponíveis dispositivos automáticos capazes de derivar uma ou mais medições em um completo conjunto de equipamentos para avaliações de propriedades de resistência e rigidez, dessa forma a “*avaliação visual deve ser a primeira e a última etapa de um trabalho de inspeção*”. Tendo as prioridades bem estabelecidas, pode ser necessária uma inspeção

detalhada para as estruturas que demonstrem manifestações patológicas, de tal maneira que seja indispensável obter mais informações sobre seções residuais e/ou o desempenho efetivo em determinados elementos estruturais de madeira. Dessa maneira, o objetivo da *Inspeção Detalhada de Nível 2* é avaliar individualmente cada elemento estrutural de madeira e cada ligação de uma determinada estrutura, e em certos casos, a fim de estimar e fornecer para os engenheiros valores de resistência e rigidez compatíveis com a condição do elemento estrutural efetivo, para avaliar as seções residuais eficazes de cada elemento afetadas pela biodeterioração (BONAMINI, 1995).

Um dos aspectos mais importantes, constituintes em uma *Inspeção Detalhada* é a sequência e coordenação de medidas de esforços de inspeção. Para garantir que todas as localidades das áreas críticas sejam mapeadas, deve ser desenvolvido um planejamento sistemático bem definido. Quando são envolvidos mais de um inspetor, as responsabilidades de cada um devem ser claramente definidas antes da inspeção, para evitar que ocorram falhas tanto em áreas ausentes quanto duplicações excessivas. A sequência preferencial de inspeção, geralmente é recomendado que siga a sequência de construção. Após o levantamento inicial e enumeração de todos os elementos da estrutura, o inspetor inicia a inspeção nos elementos inferiores da subestrutura e avança para a parte superior da superestrutura. Seguindo essa sequência, o inspetor pode observar o comportamento dos elementos estruturais sob condições de carregamento, antes de sua inspeção definitiva (RITTER; MORRELL, 1990)^{p13-45}.

Além disso, os constituintes de uma *Inspeção Detalhada* envolvem o exame sistemático de elementos estruturais individualizados da estrutura. Quando deterioração é detectada, a sua localização e a sua extensão deve ser bem definida e observada, de modo que a capacidade portante [ingl.: load-carrying capacity] da estrutura possa ser determinada por análises e modelos de cálculo de engenharia (RITTER; MORRELL, 1990)^{p13-43}. Em certas localizações, a deterioração pode não representar um efeito significativo sobre a resistência do elemento estrutural. Já em outras localidades, qualquer deterioração pode reduzir significativamente a sua capacidade resistente. No entanto, em ambos os casos, o inspetor deve localizar com precisão, identificar, marcar e registrar todas as deteriorações, não obstante os seus efeitos percebidos sobre a capacidade estrutural.

Entretanto, em função do grande número de elementos estruturais e da variedade de localidades em que estão expostos favorecendo as condições ambientais para o desenvolvimento de biodeteriorações em uma estrutura, o nível de precisão para avaliar a extensão da deterioração depende do julgamento do inspetor. Independentemente da dimensão

da estrutura, a inspeção detalhada deve ser sensatamente e/ou economicamente avaliada, para analisar as necessidades de avaliações de cada elemento estrutural. O inspetor deve preferencialmente basear no nível de inspeção das informações coletadas a partir das avaliações na *Pré-inspeção*, e na *Inspeção Preliminar de Nível 1* em função do reconhecimento da deterioração da estrutura e de suas causas, sinais e localidades prováveis.

A título de exemplo, em estruturas de pontes, pode não ser nada prático examinar a área em torno de cada trecho, quando os elementos do tabuleiro são fixados com parafusos em toda extensão de uma viga. Dessa maneira, o inspetor deve ter o *bom sensu* em selecionar as áreas mais prováveis de deterioração para a avaliação. Caso seja detectada a deterioração, e seu nível de extensão for determinante, aí sim, nesse caso, deverão ser realizadas inspeções adicionais nas demais localidades. Segundo Ritter e Morrell (1990)^{p13-43}, “*caso não sejam detectadas biodeteriorações em regiões de Alto Potencial de Risco, é pouco provável que existam outras áreas afetadas*”.

Diante do exposto, *uma avaliação visual cuidadosa*, coordenada com procedimentos básicos de técnicas de inspeções, descritas anteriormente, tais como sondagens com testes de puncionamentos, picoteamentos e à percussão, entre outras, e em casos especiais com suporte laboratorial com microscópio para identificação de espécies de madeira, de espécies de bactérias e de fungos, na maioria das situações, são suficientes para o inspetor especialista obter resultados com níveis de precisão normalmente necessários para os Engenheiros e Arquitetos. No entanto, como já apresentado, informações adicionais podem ser obtidas, em casos especiais, através de técnicas instrumentais não destrutivas ou semi-destrutivos mais sofisticadas e/ou com auxílio de equipamentos de laboratório de estruturas de madeira. Bonamini (1995) alerta que “*deve ficar claro que as avaliações de elementos estruturais de madeira são sempre afetadas de forma significativa pela incerteza*”, devido principalmente:

- a variabilidade das propriedades intrínsecas aos elementos estruturais de madeira;
- as limitações das técnicas não destrutivas que fornecem hipóteses básicas fundamentalmente simplificadas, em relação ao comportamento real do material da madeira, além de que geralmente fornecem de resultados apenas qualitativos.
- as dificuldades em execuções práticas de medições para avaliações “*in loco*”, e em certos casos também em laboratórios especializados.

No entanto, os trabalhos com levantamentos rigorosos devem recorrer da inclusão de técnicas não destrutivas, preferencialmente como forma subsidiária, para fortalecer ou enfraquecer as avaliações, das hipóteses decorrentes da *Técnica de Inspeção Visual*.

Em Portugal, Branco et al (2012) recomendam que as inspeções detalhadas, devam ter periodicidade máxima de quinquenal. No entanto no Brasil, por ser um país de clima Tropical, essa periodicidade deve ser avaliada caso a caso.

4.3.2.3.1 *Condições mínimas de viabilidade para Inspeções Detalhadas de Nível 2*

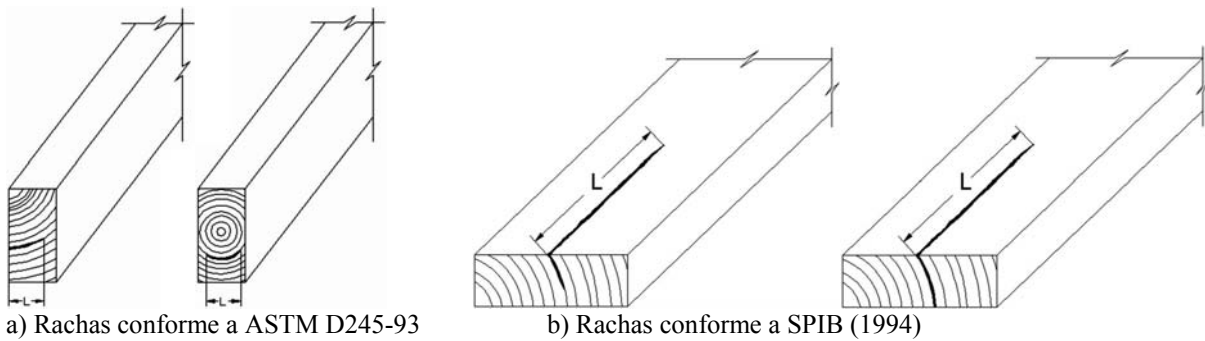
As condições mínimas de viabilidade para *Inspeções Detalhadas de Nível 2*, devem ter acessibilidade da mesma maneira que para a *Inspeção Preliminar de Nível 1*, no entanto, além das condições acessíveis para inspeções visuais, para utilizações de técnicas manuais com ferramentas, podem ser necessários equipamentos específicos de inspeções, para avaliações ao longo de todo o comprimento do elemento estrutural de madeira em questão [(BONAMINI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002)].

4.3.2.3.2 *Técnica de Inspeção Visual Detalhada*

Quando considerado relevante pelo inspetor, os defeitos, pontos de danos e/ou biodeterioração na madeira devem ser avaliados criteriosamente em qualquer seção transversal e/ou ao longo do comprimento, pela *Técnica de Inspeção Visual Detalhada*. Quando se fizer necessário, as espécies de madeira devem ser identificadas através da análise microscópica de fragmentos extraídos do elemento estrutural de madeira em avaliação, analisados em laboratório especializado [(BONAMINI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002)].

4.3.2.3.3 *Critérios para avaliação de rachas e fendas em coníferas conforme normas internacionais*

Na literatura, observa-se uma pequena discordância com relação à maneira de medir as fendas e as rachas. De acordo com a norma ASTM D 245-93 apud Carreira (2003) a dimensão de uma racha anelar é igual ao seu comprimento ao longo da curvatura do anel de crescimento em que ocorre. Se a racha atravessar a peça em espessura, o tamanho da racha é igual ao comprimento médio da racha medido paralelamente ao comprimento da peça. Já o SPIB apud Carreira (2003) simplifica a forma de medir as rachas e as fendas uniformizando as medições, e descreve que o tamanho de uma racha anelar na extremidade de uma peça é igual à sua extensão medida paralelamente ao comprimento da peça, Figura 4.23.



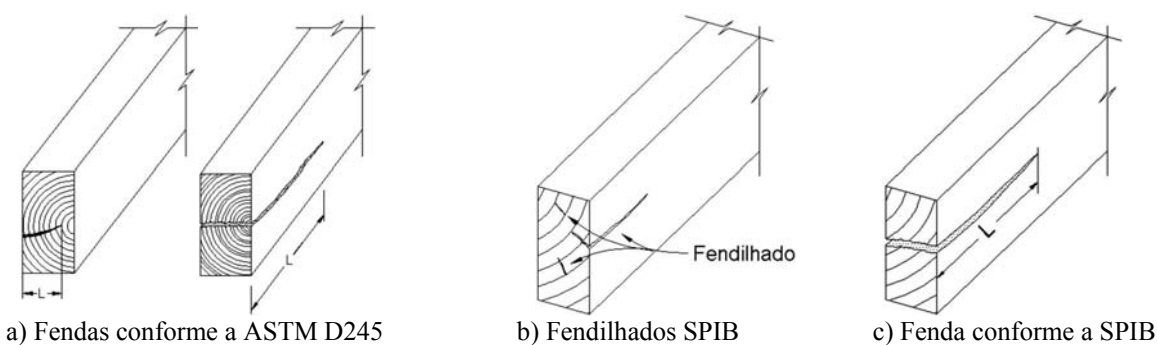
a) Rachas conforme a ASTM D245-93

b) Rachas conforme a SPIB (1994)

Figura 4.23. Formas de medir rachas em peças estruturais. Fonte: CARREIRA (2003)

A dimensão das fendas superficiais pela ASTM D 245-93 é dada pela profundidade média medida pelas linhas que cercam a fenda e que são paralelas às faces largas da peça.

Segundo o SPIB o fendilhado na extremidade das peças não é limitado, e as fendas que atravessam a peça em espessura são medidas e limitadas por sua extensão medida paralelamente ao comprimento da peça, Figura 4.24. Da mesma forma Herrero (2003) descreve que o comprimento da fenda (L_f) é medido ao longo do eixo da peça, conforme ilustrado na Figura 4.25, podendo ser considerado o agrupamento de fendas caso essas estiverem sobrepostas. No entanto, podem ser desprezadas as fendas cujo comprimento seja inferior à menor dimensão das duas condições: 1/4 do comprimento total do elemento estrutural, e 1 metro [(FRANCO, 2008); (SANTOS, 2009)a]. Arriaga et al (2002) limita o comprimento das fendas em 1 metro. O critério dessa medição considera ainda desprezáveis as lesões ou as fendas superficiais existentes nas peças.



a) Fendas conforme a ASTM D245

b) Fendilhados SPIB

c) Fenda conforme a SPIB

Figura 4.24. Fendas e fendilhados de extremidade em peças estruturais. Fonte: CARREIRA (2003)

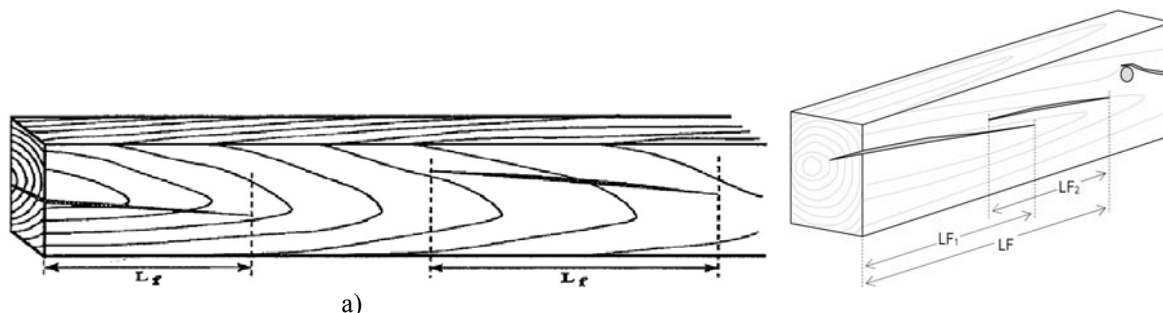


Figura 4.25. Medição de comprimento de fenda (L_f): a) Fontes: CRUZ et al (1997) Apud FRANCO (2008); SANTOS (2009a); b) HERRERO (2003).

No entanto, a análise da profundidade das fendas pode ser tão ou mais importante que a determinação do seu comprimento. Embora a observação desse defeito aparente ser facilmente observável, em extremidades de vigas (regiões de topo), esse trabalho pode não ser nada fácil, em situações em que as extremidades de apoio de vigas se encontrem inseridas em paredes de alvenaria. A medição da profundidade da fenda (f) é realizada paralelamente à direção de propagação da fenda, servindo essa direção para se determinar que superfície servirá de referência à fenda, conforme ilustrado na Figura 4.26a. Desse modo, a avaliação de fendas em espécies de madeiras coníferas é efetuada pela relação de sua profundidade com a dimensão do lado da peça a que se refere, UNE 56544:2003. Em casos com fendas sobrepostas considera-se a profundidade da fenda igual à soma máxima que englobem todas elas, ou seja, a situação mais crítica indicada na Figura 4.26b, Franco (2008); Santos (2009)a, e à norma Alemã DIN 4074:2003, também apresentam critérios de classificação similares à esse.

Quando são detectadas fendas em lados opostos, ou seja, fendas bilaterais no mesmo elemento essas podem ser excêntricas, em casos em que a distância (a) entre elas medida perpendicularmente, deve ser inferior ao valor máximo de cada uma das mesmas indicado na Figura 4.26c. Caso exista uma situação em que este critério não seja cumprido, pode-se ainda considerar-se que uma fenda é excêntrica se o valor da soma das profundidades de ambas sejam superior a dois terços da face de referência. Os defeitos nessa hipótese não são admissíveis em estruturas de madeira e a constatação dessa situação deve implicar na substituição do elemento ou no seu reforço quando exequível [(FRANCO, 2008); (SANTOS, 2009a)].

No caso de uma seção apresentar fendas em lados opostos (fendas bilaterais), mas não excêntricas, a avaliação é feita através da relação entre a profundidade máxima que englobam as fendas em cada face com a dimensão da face de referência, Figura 4.26b.

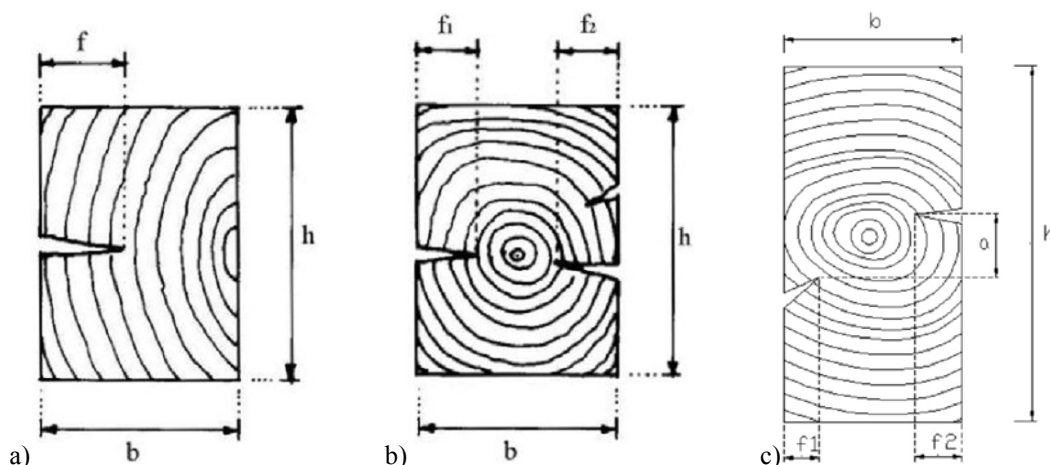


Figura 4.26. Critério de medição de profundidade de fendas para: a) avaliação de fenda unilateral relação f/b ; b) avaliação de fendas bilaterais relação $(f_1+f_2)/b$; c) avaliação de fendas bilaterais excêntricas: para fendas não excêntricas devem respeitar as condições se $a \geq \max(f_1, f_2)$ e/ou se $(f_1+f_2) \leq 2/3.b$. Fontes: UNE 56544:2003; FRANCO (2008); SANTOS (2009a); DIN 4074:2003; HERRERO (2003).

4.3.2.3.4 Critérios para avaliação de nós em coníferas conforme normas internacionais

Carreira (2003) reformulou o trabalho de verificação e adequabilidade para regras de classificação visual de nós de acordo com o *Southern Pine Inspection Bureau (SPIB)* aplicadas à madeira de *Pinus Sp*, para as seguintes peças estruturais: caibros e pranchas; vigas e longarinas; postes e colunas e em tábuas. Resumidamente, os principais critérios para regras de classificação visual de nós em coníferas, fundamentados pela norma ASTM D 245, são recomendados para realização de avaliações nas quatro faces e nas duas extremidades de peças de madeira, pela relação percentual da dimensão da face da peça em análise com as dimensões dos *maiores* nós localizados, no centro da face larga, na borda da face larga, no canto da face larga e na face estreita, Figura 4.27. Essas relações são apresentadas na Tabela 4.21. Os orifícios associados aos nós devem ser medidos e limitados da mesma maneira que os nós.

Tabela 4.21. Critérios de classificação visual de nós pela Relação percentual da dimensão do maior nó em relação à face em análise.

Posição do nó	SS	S1	S2	S3
Face estreita, borda e canto da face larga	20%	25%	33%	50%
Centro da face larga	35%	45%	50%	60%

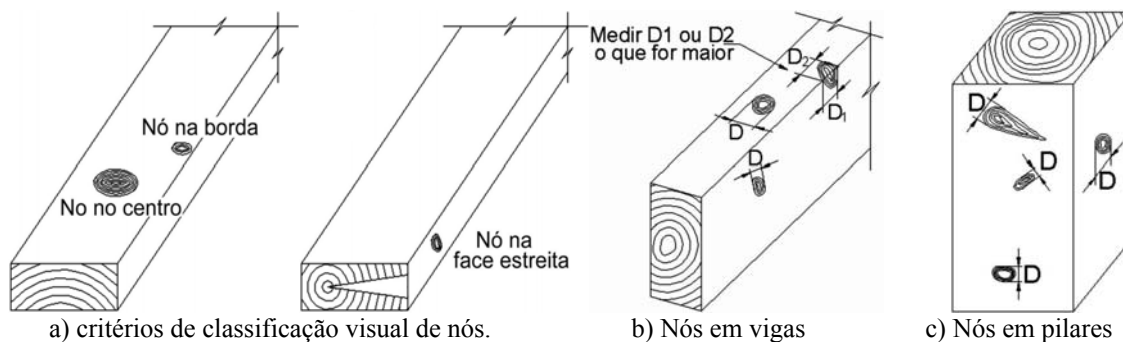


Figura 4.27. Principais posições de nós em peças estruturais. Fontes: ASTM D 245; CARREIRA (2003)

4.3.2.3.5 Padronização de método de ensaio para avaliação laboratorial de resistência ao ataque de térmitas subterrâneas conforme a ASTM D 3345–08

A norma ASTM D 3345–08 padroniza um método de ensaio para avaliação laboratorial em madeiras coníferas e outros materiais celulósicos quanto à resistência ao ataque de térmitas subterrâneas. Esse método de ensaio abrange a avaliação laboratorial da resistência às térmitas subterrâneas, em material celulósico, especificamente para espécies de madeiras coníferas, tratadas ou não, e deve ser considerado como um teste de triagem em laboratório para tratamento de material, não sendo recomendado para avaliações em campo. Para as padronizações são utilizados corpos-de-prova de 25,4 mm quadrados, por 6,4 mm na direção tangencial. Para avaliação dos resultados, cada bloco deve ser avaliado segundo o sistema de classificação visual, conforme as características na Figura 4.28.

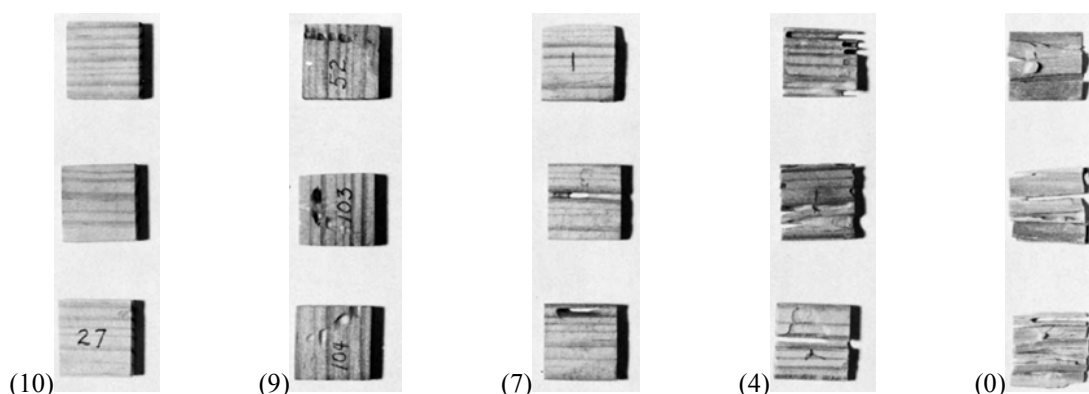


Figura 4.28. Sistema de classificação visual pela ASTM D 3345-08, para avaliações em função do nível de ataque de cupins subterrâneos em corpos-de-prova padronizados: (10) Madeira sã, permitindo raspagens superficiais; (9) ataque leve; (7) ataque moderado, penetração; (4) pesado ataque intenso; (0) Falha no processo.

4.3.2.3.6 Avaliações de ligações e/ou conectores

As ligações entre elementos estruturais de madeiras devem ser avaliadas com criterioso controle visual em áreas deterioradas ou em pontos com desconexões [(RITTER; MORRELL,

1990); (BONAMINI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002). Conforme já comentado, em ligações entre elementos estruturais de madeira com outros materiais devem ser analisadas as questões de compatibilidade. A avaliação deve ser feita em cada ligação, ou pelo menos em uma amostra significativa, mediante acordo com o grupo de inspetores (BONAMINI, 1995).

4.3.2.3.7 *Avaliações do Teor de umidade*

Como já comentado, Ritter e Morrell (1990); Bonamini (1995); Arriaga et al (2002), recomendam realizar diversas medições do *Teor de umidade* na madeira, com medidor de umidade de resistência elétrica, com eletrodos isolados, a fim de determinar o valor gradiente e o valor médio de umidade, para localizar pontos críticos de umidade, formação de condensação, etc.

4.3.2.3.8 *Avaliação de perda de resistência por apodrecimento*

Os elementos estruturais de madeira, infectados com fungos apodrecedores, apresentam perda progressiva de resistência, à medida que o fungo se desenvolve e deteriora a estrutura de madeira. O nível de redução da resistência depende da área da infecção e como o estado de desenvolvimento de biodeterioração se desenvolveu, seja avançado, intermediário ou incipiente. Em estágios avançados ou intermediários, a biodeterioração na madeira progride ao ponto em que perde toda resistência nas áreas infectadas. Nessa fase, podem ser utilizados pelo inspetor, os métodos de detecção adequados para definir com precisão as áreas afetadas com certo nível de certeza. Nas fases incipientes ou em início de desenvolvimento, a detecção é muito mais difícil e os efeitos da perda de resistência variam entre os tipos de fungos (RITTER; MORRELL, 1990).

No entanto, existe pouca informação sobre a avaliação perda de resistência nos estágios incipientes de deterioração por fungos apodrecedores, mas vários pesquisadores têm correlacionado resistência com a perda de densidade em pequenas amostras de madeira. Hartley (1958) e Kennedy (1958) apud Ritter e Morrell (1990) descrevem que foram descobertas em pesquisas que as perdas de proporcionalidade de resistência associada a certos fungos de podridão parda (castanha), podem ser tão altas, que quando perdem entre 50% a 70% de resistência a densidade é reduzida em apenas 3% ou menos, e esses resultados são particularmente significativos para estruturas de pontes de madeira, pois:

- a biodeterioração por apodrecimento que mais ocorre em estruturas de pontes, é originária de biodeteriorações por fungos de podridão parda (castanha) e não por fungos de podridão branca;
- a biodeterioração por fungos de podridão parda (castanha) incipiente, já com a sua perda de densidade mínima, é difícil de detectar;
- e os efeitos de fungos de podridão parda (castanha) geralmente se proliferam a uma distância substancial, longe das áreas onde a biodeterioração por apodrecimento é visível.

Embora os efeitos de perda de resistência em biodeteriorações por fungos da podridão branca possam ser menos do que os de biodeteriorações por fungos de podridão parda (castanha), a diferenciação entre os dois não é facilmente perceptível em campo, necessitando assim, quando necessário de análises biológicas em laboratório. Diante desse fator, toda a biodeterioração deve ser assumida como sendo significativa. À luz às grandes perdas de resistência associada com o desenvolvimento precoce por fungo de podridão parda (castanha), Ritter e Morrell (1990) recomendam que nenhum valor de resistência seja atribuído à madeira mostrando evidência de biodeterioração por apodrecimento em qualquer fase de desenvolvimento. Embora esta abordagem possa conduzir a uma avaliação ligeiramente conservadora, em certos casos, é o único método seguro para avaliação de resistência, devido ao grande número de variáveis envolvidas. Embora diversas extrações de núcleos de bastonetes com trados de amostragem possam ser tomadas como medida para definir a área deteriorada, prevalece à possibilidade de hipótese que não foram retiradas amostras suficientemente na totalidade da área de infecção. Além disso, é exponencial e continua a perda de resistência em madeira com a biodeterioração por fungos de podridão parda, a menos que ações de manutenções imediatas sejam realizadas para deter o seu crescimento.

4.3.2.3.9 Avaliações de seção transversal residual

Tanto através da avaliação visual detalhada como pelas técnicas instrumentais básicas, tais como testes de sondagem superficial com puncionamento, picoteamento e percussão, Bonamini (1995) recomenda que o inspetor deva *in loco*, desenhar em papel a seção transversal do elemento efetivo, representando a localização medula, a distribuição entre cerne e alburno, localização e extensão de regiões de nós, fendas, rachas entre anéis, desenvolvimento de fissuras de retração, regiões biodeterioradas na madeira e/ou cavidades, orifícios, bolsas de resina, entre outras.

4.3.2.3.10 Avaliações de intervenções anteriores (históricas e/ou recentes)

As avaliações de intervenções anteriores, sejam históricas e/ou recentes, devem ser realizadas preferencialmente em conjunto com especialistas multidisciplinares, a fim de avaliar o desempenho real de intervenções em peças estruturais reforçadas e/ou reabilitadas, em nível de compatibilidade entre a madeira com outros materiais empregados, para propor recomendações de melhoria em função das condições de serviço, facilidades de manutenções periódicas e durabilidade esperada da intervenção [(RITTER; MORRELL, 1990); (BONAMINI, 1995); (UZIELLI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002); (BALLÁN BALLÁN, 2009)]. Para isso, diversos pesquisadores recomendam antever as hipóteses de manifestações patológicas de deterioração que favoreçam o desenvolvimento de danos futuros, incluindo recomendações para preveni-los, medidas preventivas contra a umidade, com tratamentos preservativos, medidas preventivas contra incêndio, entre outras.

4.3.2.3.11 Documentações técnicas do projeto de inspeção de Nível 2 (Relatórios e Registros)

Embora os formatos de documentações e relatórios técnicos específicos, variem entre jurisdições diferentes, em função do tipo de estrutura, toda documentação deve ser bem organizada, clara e concisa. Para o projeto de intervenção de Nível 2, o inspetor especialista em estruturas de madeira deve entregar pelo menos, mapeamentos detalhados indicando as regiões e os tipos de biodeteriorações e danos em peças de madeira, junto com um conjunto de desenhos em planta e cortes que indiquem:

- a representação gráfica de uma ou mais seções transversais residuais relevantes para cada elemento estrutural de madeira;
- as representações gráficas reais de cada ligação e/ou conectores;

Quanto ao *Relatório Técnico*, devem incluir, pelo menos, uma descrição detalhada:

- uma página com título e dados do local;
- registros de fotos devidamente identificadas e arquivadas;
- desenhos da estrutura (com indicações de todos os componentes, e por elemento estrutural individualizado);
- Os resultados das inspeções, com avaliações do estado da estrutura e dos elementos individualizados;
- a qualidade estrutural residual da madeira de cada elemento estrutural;
- as recomendações preventivas antevendo hipóteses biodeteriorações futuras;

- disposições para obtenção de estruturas de madeira funcionais e duráveis que cumpram os critérios estabelecidos pela NBR 7190 bem como associadas a demais normas técnicas correspondentes aos projetos complementares, à execução;
- um sumário narrativo das conclusões das inspeções;
- recomendações para manutenções e ações corretivas;
- dependendo do porte da construção e da agressividade do meio, deve-se propor a elaboração de um *manual de utilização, inspeções e manutenções periódicas preventivas*, necessário para garantir a Vida útil prevista da estrutura, conforme indicações na NBR 5674:1999.

Todas as documentações dos serviços de inspeções, intervenções e manutenções executadas devem ser registradas e arquivadas em anexo ao *manual de utilização, inspeções e manutenções periódicas preventivas*. Embora não sejam observadas alterações evidentes durante a inspeção, e a condição visual aparente relativamente sem importância significativa, uma documentação precisa da inspeção pode ser valiosa para avaliações futuras. Segundo Ritter e Morrell (1990), os relatórios técnicos fornecem meios de comunicação de informações sobre a estrutura e são úteis para:

- identificar as condições que possam limitar a capacidade da estrutura ou oferecer risco para usuários;
- desenvolver um registro cronológico da condição estrutural e fornecer as informações necessárias para completar uma análise estrutural quando as condições são alteradas;
- fornecer uma base para a identificação de necessidades de manutenção atuais e futuras, através da detecção das primeiras manifestações patológicas e deficiências ou defeitos estruturais;
- fornecer uma fonte de referência para futuras inspeções em análises comparativas.

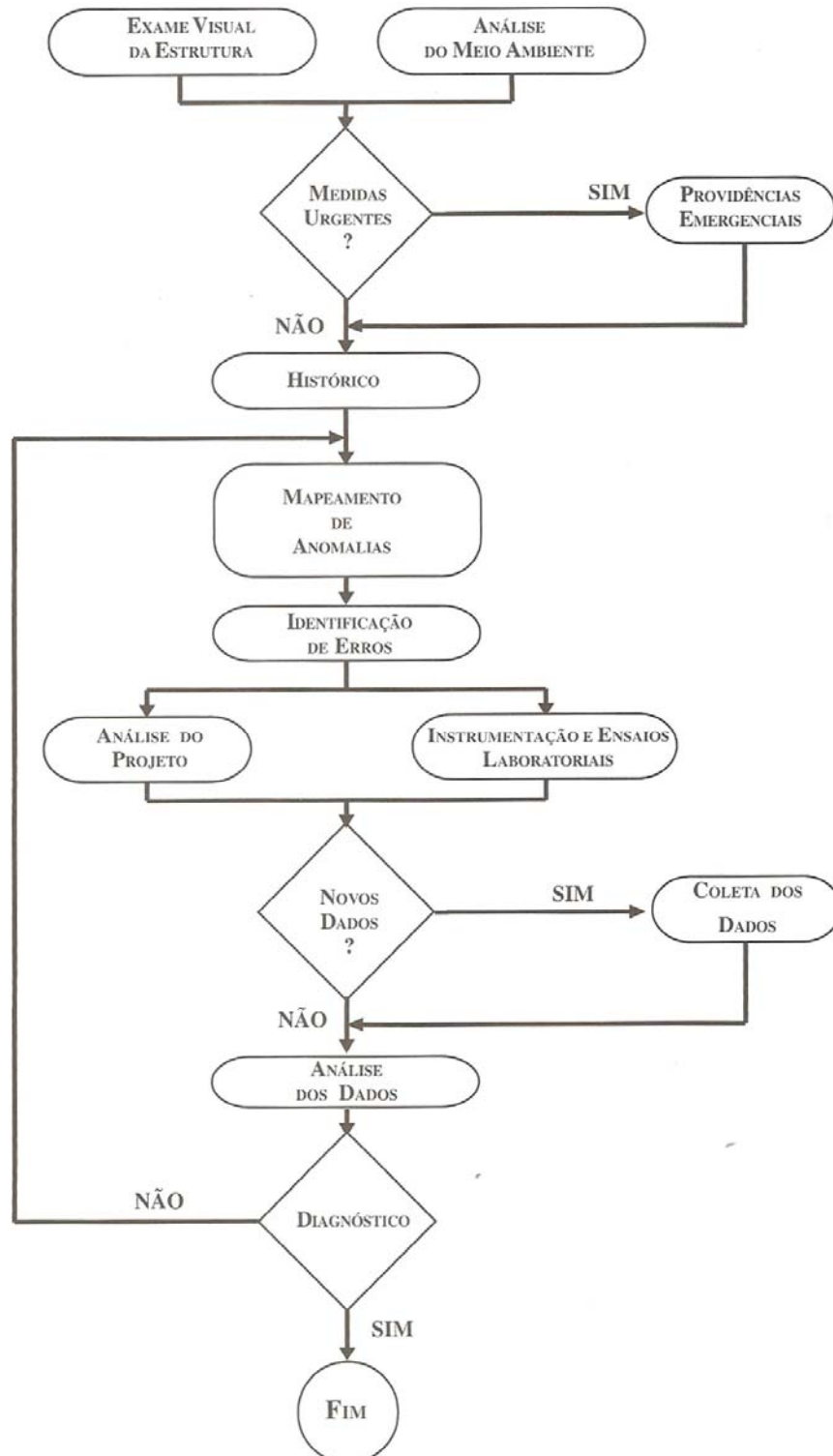
Quando devidamente concluído, o relatório de inspeção da estrutura é um importante documento e desempenha um papel fundamental para garantir a segurança dos usuários e na alocação de recursos para a manutenção e/ou substituição. Além disso, é um registro legal que pode ser uma parte importante de qualquer processo judicial futuro.

4.3.2.3.12 Diagnóstico

Ao se verificar que uma estrutura de madeira apresente sintomas e/ou sinais de manifestações patológicas, torna-se necessário efetuar uma inspeção detalhada e cuidadosamente planejada para que se possa determinar as reais condições da estrutura, de forma a avaliar as anomalias existentes, suas causas, providências a serem tomadas e os métodos a serem adotados para a reabilitação ou o reforço.

As providências a adotar, e mesmo os limites a seguir quanto à avaliação da periculosidade de determinados mecanismos de deterioração, pode e deve observar a importância das estruturas em termos de resistência e de durabilidade, assim como, muito particularmente, a agressividade ambiental. O Fluxograma 4.3 proposto por Souza e Ripper (1998) apresenta uma metodologia genérica para a inspeção de estruturas convencionais, dividida em três etapas básicas: levantamento dos dados; análise e diagnóstico.

A etapa do levantamento dos dados é extremamente delicada e deve ser feita por engenheiro experiente, especialista em Patologia das Estruturas, que seja capaz de caracterizar com o máximo rigor a necessidade ou não de adoção de medidas especiais.



Fluxograma 4.3. Esquema genérico para diagnóstico de avaliação de uma estrutura convencional. Fonte: SOUZA e RIPPER (1998).

4.4 Proposta de *Metodologia de Inspeção Visual Detalhada e Avaliação com o uso do Resistograph®*

Na atualidade, alguns pesquisadores como Valle, Brites e Lourenço (2006); Wang e Allison (2008) estudaram correlações entre combinações de inspeção visual com o Resistograph®. Wang e Allison (2008) avaliaram com a resistência microperfuração lenhos de árvores com o Resistograph® IML-RESI-F400, a fim de localizar com precisão os defeitos internos nos troncos e diferenciar entre biodeterioração por apodrecimento de fendas. Molina, Calil Jr., Freitas e Ferro (2011) apresentaram avaliações não destrutivas de biodeterioração em postes roliços de madeira, com o uso do Resistograph® IML-RESI-F500-S. Já Lima et al (2007) e Carrasco et al (2012), correlacionaram algumas propriedades físicas, de algumas espécies de madeira, com as relações dos resultados dos Índices de Penetração (IP), gerados pelos Resistógrafos.

Como a inspeção visual é sempre necessária, mas às vezes não conclusiva, Valle et al (2006) apresentam uma aplicação da técnica experimental de microperfuração controlada com o Resistograph® modelo 3450, como ferramenta auxiliar na estimativa do estado de deterioração de peças antigas de madeira, na avaliação da estrutura de cobertura do Laboratório Chimico, da Universidade de Coimbra, em Portugal. Nesse caso, Valle et al (2006), com o uso de uma técnica complementar contribui para uma melhor avaliação da seção residual da peça de madeira, como um método que possa ser aplicado de forma rápida, precisa e sem provocar danos na madeira, e entre as técnicas não destrutivas, a microperfuração controlada pode ser aplicadas na estimativa das características mecânicas da madeira e de seu estado de integridade. Esse trabalho de avaliação foi conduzido pelos pesquisadores da Universidade do Minho em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina. Nas seções em que Valle et al (2006) constataram a ocorrência de degradação, foram investigadas a extensão da área comprometida, complementando a inspeção visual com o Pilodyn® e o Resistograph®, quando se via necessário, para tratamento dos dados, comparando aos perfis obtidos com a perfuração controlada. Após a análise do estado de degradação de cada uma das seções, Valle et al (2006) organizaram as informações sob a forma de desenhos das seções transversais e de vistas de cada tesoura, indicando com legendas a ocorrência e o tipo de problema constatado, como degradação provocada por fungos, por insetos ou ocorrência de fendas.

O Autor considera que esse foi um dos trabalhos referenciais mais importantes, e representativos com o uso de Resistograph® em inspeções em elementos estruturais de

madeira, encontrados na revisão bibliográfica, e considera fundamental ilustrar a metodologia de avaliação de cada seção analisada conforme exemplo na Figura 4.29, proposta por Valle et al (2006) para a elaboração do mapeamento das regiões biodeterioradas nos detalhes da *Tesoura 2* na Figura 4.30 que auxilia-o como referência para a proposta da técnica de inspeção detalhada.

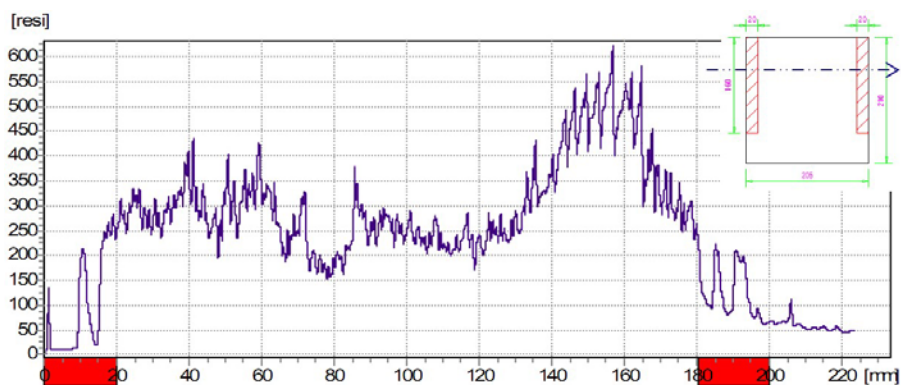


Figura 4.29. Exemplo de metodologia de avaliação da Seção 8 Linha 2 em função do Perfil do Resistograph®, na constatação da profundidade da camada degradada nas faces laterais, como critério para elaboração do mapeamento das regiões biodeterioradas nos detalhes da *Tesoura 2*, indicadas na Figura 4.28 Fonte: VALLE et al (2006)

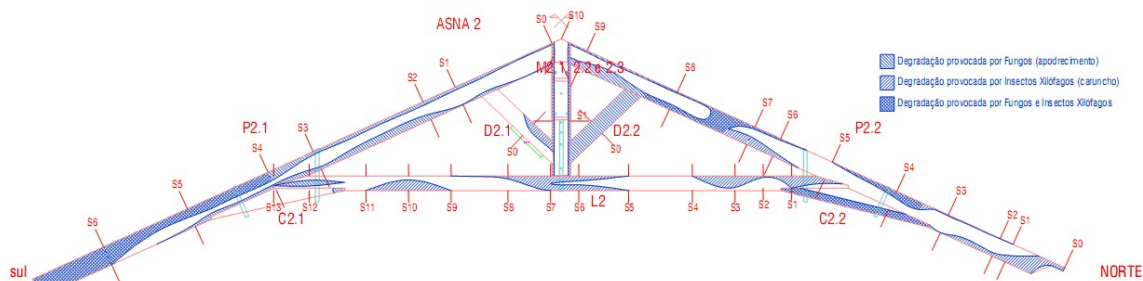


Figura 4.30. Exemplo de metodologia de avaliação por mapeamento, pela técnica de inspeção visual e com o uso do Resistograph® com identificação das regiões biodeterioradas nos detalhes da *Tesoura 2*. Fonte: VALLE et al (2006)

Os aparelhos resistógrafos têm sido muito utilizados no Brasil, principalmente para a avaliação do lenho de árvores. Mas até o momento, poucos pesquisadores têm estudado correlações de propriedades físicas com esses equipamentos, principalmente com o módulo de elasticidade e com a densidade, e em alguns trabalhos, não têm sido mencionados os modelos dos Resistógrafos, de tal maneira que dificulta as comparações de resultados, para avaliar se podem existir ou não compatibilidades ou correlações entre os resultados entre os estudos.

Lima et al (2007) estimaram a densidade básica (ρ_b) e a resistência à perfuração de madeiras de sete clones de *Eucalyptus* com 16 anos de idade, plantados experimentalmente na região de Aracruz, ES. Para isso, os caules das árvores foram perfurados no nível do DAP

com o Resistograph® IML-RESI-F500-S, seguindo-se a determinação da densidade básica da madeira de discos cortados da mesma região. A média de resistência à perfuração registrada pelo Resistograph®, denominada por amplitude (A), foi 24%, variando de 12% a 33%, entre clones. As densidades básicas médias das madeiras dos clones amostradas ao nível do DAP variaram de $0,433 \text{ g.cm}^{-3}$ a $0,642 \text{ g.cm}^{-3}$, entre clones. Segundo Lima et al (2007) os perfis gráficos diametrais da amplitude apresentaram tendência de crescimento de casca a casca. E os perfis diametrais da densidade básica, em geral mostraram tendência em aumentar da medula para o albúrnio. Entretanto, em vários clones, a densidade apresentou um valor máximo na região próxima do limite entre o albúrnio interno e o cerne externo. A estimativa da densidade básica média das madeiras dos clones em função da amplitude resultou em ajuste significativo pelo modelo linear para cinco dos sete clones. A estimativa da densidade básica dos sete clones, elaborada por Lima et al (2007), reunidos em função da amplitude do equipamento, resultou na equação:

$$DB = 0,430 + 0,0061A, \text{ com } R^2 = 64\% \quad (4.1)$$

Considera-se outro trabalho muito interessante, o de Carrasco et al (2012), que estimaram a densidade aparente, a resistência à compressão e o módulo de elasticidade paralelo às fibras em função do Índice de Penetração (IP) obtido, em cinco espécies de madeiras por meio de métodos de avaliação não destrutivos, com o uso Resistograph®, mas não mencionam o modelo do equipamento, e determinaram a umidade da madeira, densidade aparente, resistência à compressão e módulo de elasticidade paralela às fibras de acordo com a norma NBR7190:1997. As espécies de madeira que Carrasco et al (2012) utilizaram foram o Angelim-pedra, Cumaru, Paraju, Pinus e Sucupira, em que determinaram os ensaios com seis repetições por madeira, e utilizaram a análise de regressão para a determinação das correlações entre o IP e as respectivas características físicas e mecânicas da madeira. Os coeficientes R^2 variaram de 75,66% a 86,64%, que chegaram aos resultados apresentados na Tabela 4.22, Figura 4.31 e nas Equações 4.2; 4.3 e 4.4.

Tabela 4.22. Índice de Penetração médio e características físicas e mecânicas médias das espécies ensaiadas por CARRASCO et al (2012).

Espécie de madeira	IP (médio)	ρ_{ap} (kg/m ³)	f_{co} (MPa)	E_{co} (MPa)
Angelim	67,67	864	76,78	29807
Cumaru	77,05	1027	103,84	40557
Paraju	88,67	1142	87,80	41243
Pinus	19,83	442	37,17	19093
Sucupira	58,83	874	73,45	26675

Fontes: CARRASCO et al (2012); CARRASCO et al (2013)

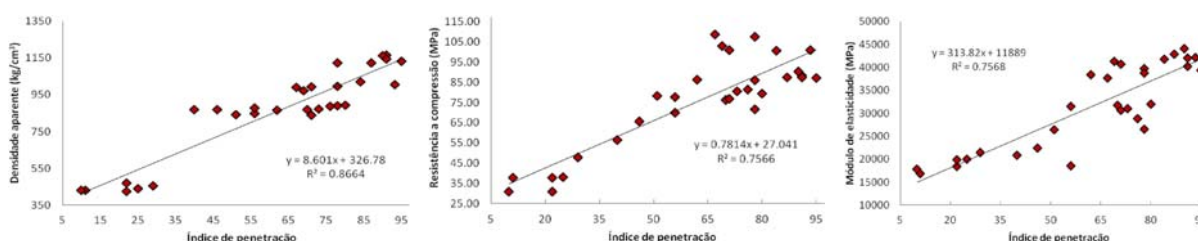


Figura 4.31. Relações entre as propriedades físicas e o e o índice de penetração: a) relação entre densidade aparente e o índice de penetração; b) relação entre a resistência à compressão paralela às fibras e o índice de penetração; c) relação entre o módulo de elasticidade e o índice de penetração. Fontes: CARRASCO et al (2012); CARRASCO et al (2013)

As equações elaboradas por Carrasco et al (2012), para determinar estas características são dadas por:

$$\rho_{ap} = 327 + 8,6x(IP), (R^2 = 86,64\%), \text{ válido p/ } \rho_{ap} (426 \text{ kg/m}^3 \text{ a } 1164 \text{ kg/m}^3); \quad (4.2)$$

$$f_{co} = 27 + 0,78x(IP), (R^2 = 75,66\%), \text{ válido p/ } f_{co} (30,88 \text{ MPa a } 108,92 \text{ MPa}); \quad (4.3)$$

$$E_{co} = 11889 + 313,82x(IP), (R^2 = 75,68\%), \text{ válido p/ } E_{co} (16897 \text{ MPa a } 44133 \text{ MPa}); \quad (4.4)$$

Essas equações elaboradas por Lima et al (2007) e Carrasco et al (2012), podem ser facilitadoras, por exemplo, para serem empregadas em inspeções detalhadas para avaliações de elementos estruturais de madeira de mesmas espécies, ou que possuam as características das propriedades físicas semelhantes.

4.4.1 Técnica de avaliação do perfil de sondagem do Resistograph®: exemplo aplicado nas inspeções nas coberturas da Igreja São Francisco em Florianópolis, SC

Para as avaliações internas em elementos estruturais de madeira das coberturas da Igreja São Francisco em Florianópolis - SC, durante as inspeções, foi utilizado o equipamento Resistograph® IML-RESI-F500-S (BRITO; CALIL JR., 2013)c. Esse equipamento, importado da Alemanha, é usado especificamente para avaliações em árvores vivas e postes de madeira, através de sondagens localizadas em pontos críticos de elementos estruturais, para

identificação de falhas internas na madeira, tais como cavidades de cupins e ou brocas, fendas, rachaduras, ocos de podridão ou com variação acentuada de resistência. Os principais diagramas do Resistograph[®], com os resultados registrados durante as inspeções localizadas nos elementos estruturais de madeira desse estudo, foram anexados no *APÊNDICE A* as *Fichas Técnicas de Pesquisas em Campo*. Nesses diagramas os eixos das abscissas dos perfis representam as profundidades de perfuração na altura Y da seção transversal dos elementos estruturais (cm), e os eixos das ordenadas representam as amplitudes de resistência da madeira à perfuração expressas em porcentagem. Esses diagramas foram obtidos no software F-Tools do sistema computacional oficial do modelo do Resistograph[®] IML-RESI-F500-S. Os resultados desse modelo de equipamento são representados graficamente por variação de amplitude, no intervalo de 0 a 100%, que representam a resistência à perfuração da sonda (broca) à peça de madeira. O valor zero na representação gráfica da escala de amplitude do diagrama gerado pelo equipamento tem equivalência à resistência zero de perfuração à madeira, podendo evidenciar regiões de cavidades de cupim, rachaduras ou ocos oriundos de apodrecimentos internos na seção transversal da madeira.

Durante o período da pesquisa, o Autor trabalhou em *Estudos de Caso* com o uso do Resistograph[®] IML-RESI-F500-S, em inspeções de elementos estruturais de madeira em laboratório e *em campo*, para validação da proposta de avaliação, e elaboração em *Metodologia de Inspeção* na empregabilidade de ensaios *in loco* com esse equipamento. Nesse modelo do Resistograph[®] existem duas alternativas para registrar os resultados dos diagramas de porcentagens de amplitudes obtidos em função das resistências à microperfuração à madeira, em cada ponto de sondagem:

- a *analógica* (Figura 4.32a; b), que é registrada no instante da perfuração *in loco*, com a agulha que risca a intensidade da amplitude de perfuração, na impressão do diagrama do perfil de sondagem à resistência à perfuração na madeira, no papel especial tipo carbono, acoplado ao compartimento superior do equipamento, podendo-se fazer uma pré-avaliação da seção transversal da peça *in loco*. O papel é substituído a cada nova perfuração.
- e a *digital*, que efetua o armazenamento de até 70 arquivos de base de dados digitais, gerados em um microcomputador de bordo acoplado ao equipamento (Figuras 4.32c e 4.33). Esse microcomputador tem funções para configurações de ensaios *in loco* e registros de dados em arquivos (.rgf), e que posteriormente pode ser transferidos via USB ou Bluetooth para um Notebook, para avaliações minuciosas dos resultados em laboratório, através do software denominado F-Tools IML-Resi F específico para a versão desse modelo de Resistograph[®].

A título de exemplificação, na avaliação da viga inclinada (perna) ID-NAVE-C27-P1S foram detectadas na *Inspecção preliminar de Nível 1*, pela *Técnica de Inspecção Visual Geral* (TIVG), fendas longitudinais expressivas, e cavidades significativas de ataques de cupins. Na *Inspecção Detalhada de Nível 2*, pela análise dos resultados do diagrama do perfil de sondagem do Resistograph®, nesse ponto da viga, pôde-se observar *in loco* as perdas significativas de resistência à perfuração e cavidades significativas internas na madeira, quando comparadas com o perfil impresso no papel na face externa da seção localizada da madeira pré-inspecionada (Figura 4.32b), verificando essas reduções, perdas significativas e trechos de amplitude ZERO próximas às fendas longitudinais (Figuras 4.32b e 4.33), BRITO e CALIL JR. (2013)b.



Figura 4.32. Registros analógicos e digitais dos perfis de sondagens gerados pelo Resistograph® IML-RESI-F500-S: a) no perfil em papel especial tipo carbono para impressão do diagrama gerado pelo Resistograph *in loco*; b) Comparação do diagrama do perfil de sondagem na face externa da viga deteriorada, (Foto BRITO, 2012); c) Microcomputador de bordo acoplado ao Resistograph, e os dados podem ser posteriormente transferidos via USB ou Bluetooth para Notebook. Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)b

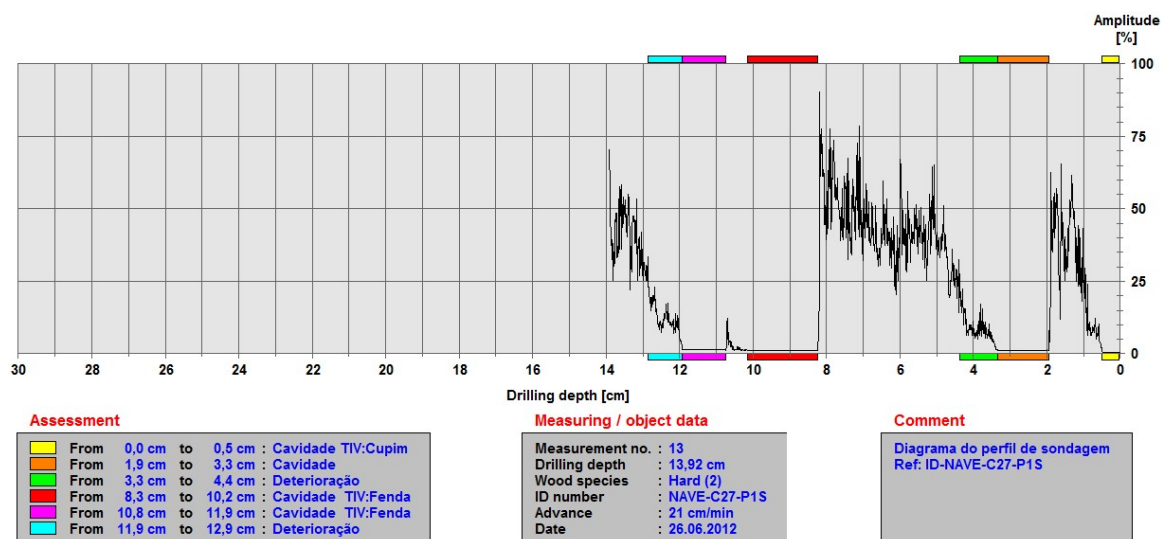


Figura 4.33. Software F-Tools Resistograph®: Diagrama colorido do perfil de sondagem da viga (perna) ID-NAVE-C27-P1S, da cobertura Nave da Igreja São Francisco, em Florianópolis, SC. Nos diagramas dos perfis de sondagem os eixos das abscissas representam as profundidades da microperfuração [cm], e os eixos das ordenadas representam as amplitudes de resistência à perfuração na madeira [%]. Ensaios: BRITO (2012)

Na sequência, na Tabela 4.23, são discutidas em detalhes as análises dos resultados do diagrama do perfil de sondagem, gerados pelo Resistograph[®], e avaliados no software F-Tools, trecho a trecho, no ponto localizado da viga inclinada (perna) ID-NAVE-C27-P1S (Figuras 4.32b e 4.33). A altura dessa viga de madeira ensaiada é de aproximadamente 14 cm. Na análise do primeiro trecho do diagrama destacado na cor amarela (Figura 4.33 e Trecho 1 no perfil da Tabela 4.23), que corresponde à perfuração entre 0,0 e 0,5 cm, o diagrama registrou ZERO por cento de amplitude na resistência à perfuração, ou seja, o trecho 0,5cm é a dimensão do espaçador embutido no equipamento, e o trecho subsequente, que representa perda significativa de resistência à perfuração, decorrente a uma cavidade de aproximadamente 0,4 cm de espessura devido à presença de ataque de cupins, como pôde ser observado *in loco* pela Técnica de Inspeção Visual Geral, Detalhada e nas sondagens superficiais de puncionamento e picoteamento. Esse trecho entre 0,5 cm e 0,9 cm apresentou baixo valor de amplitude, que pode caracterizar um trecho biodeterioração de 0,4 cm, em função da relação do valor máximo de amplitude pelo valor de amplitude do trecho. O trecho entre 0,9 cm e 1,9 cm apresentou um ganho gradual na resistência à perfuração, porém corresponde a um intervalo muito pequeno de 1,0 cm de espessura.

No entanto, em 1,9 cm teve queda brusca da resistência à perfuração na madeira, tornando a cair o valor de amplitude a ZERO, até o valor da profundidade de 3,3 cm. Esse trecho destacado na cor laranja caracteriza a detecção de uma cavidade de aproximadamente 1,4 cm de espessura (Figura 4.33 e Trecho 2 no perfil da Tabela 4.23). Observando-se a foto da Figura 4.32b, não foi possível detectar visualmente, na face externa lateral da viga, fenda longitudinal nesse trecho entre 1,9 cm e 3,3 cm, deduzindo ter cavidades internas de cupim nesse trecho, tendo em vista que na face superior dessa viga, estava deteriorada com visível infestação superficial de cupins. O recomendado é realizar vários pontos de sondagens ao longo do comprimento da viga, para fazer um mapeamento, e verificar se há possibilidade de reabilitação com reforço na viga, em um determinado trecho, ou se a mesma deverá ser condenada e substituída.

Analisando o trecho entre 3,3 cm e 4,4 cm, representado na cor verde, o diagrama registrou uma pequena porcentagem de amplitude de resistência à perfuração em aproximadamente 1,1 cm de profundidade, que caracteriza um trecho com deterioração (Figura 4.33 e Trecho 3 no perfil da Tabela 4.23).

Porém no trecho entre 4,4 cm e 4,8 cm a resistência à perfuração tem um ganho gradual em aproximadamente 0,4 cm de profundidade, e tende a estabilizar no trecho ente 4,8 cm e 8,3 cm. Nesse trecho ente 4,8 e 8,3 cm, as variações dos níveis de amplitude na resistência à

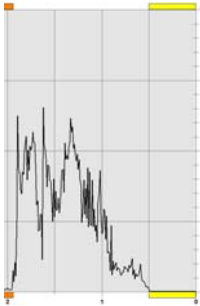
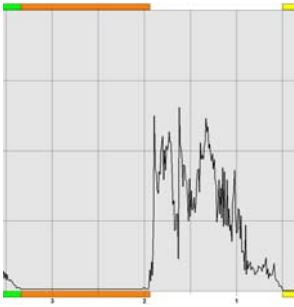
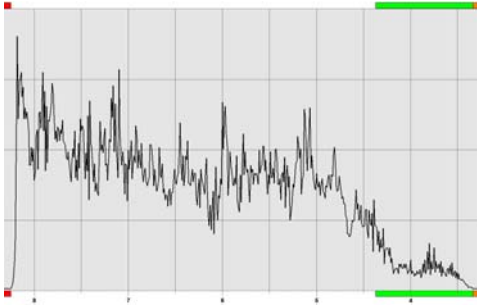
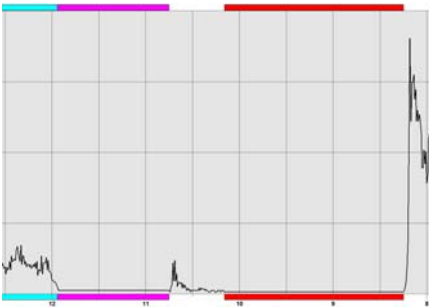
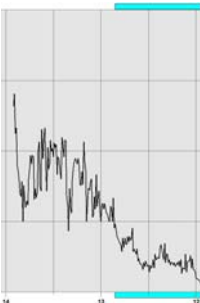
perfuração, ao longo da profundidade de 3,5 cm, nesse caso são naturais, devido às propriedades físicas de não homogeneidade da madeira.

No entanto, em 8,3 cm teve queda brusca da resistência à perfuração na madeira, tornando a cair o valor de amplitude a ZERO no trecho entre 8,3 cm e 10,2 cm representado pela cor vermelha, e no trecho ente 10,8 cm e 11,9 cm representado em magenta (Figura 4.33 e Trecho 4 no perfil da Tabela 4.23). Entre esses trechos, no intervalo entre 10,2 cm e 10,8 cm foi detectando resistência à perfuração desprezível, próxima de ZERO, que pode caracterizar um resíduo de madeira deteriorada, nesse pequeno intervalo. Os trechos ente 8,3 cm e 10,2 cm e 10,8 cm e 11,9 cm são os trechos mais críticos da seção transversal, pois foram caracterizados pelas fendas longitudinais internas, paralela às fibras, de aproximadamente 1,9 cm e 1,1 cm de espessura respectivamente, existentes lateralmente na viga (Figura 4.32b), que puderam ser observadas tanto na *Inspeção Preliminar de Nível 1* pela *Técnica de Inspeção Visual Geral* quanto na *Inspeção Detalhada de Nível 2*, sendo que nesse trecho já era previsível tais perdas totais de resistência à perfuração nas regiões dessas fendas longitudinais existentes.

Analisando trecho entre 11,9 cm e 12,9 cm, representado pela cor ciano, o diagrama do perfil de sondagem registrou uma pequena porcentagem de amplitude de resistência à perfuração em aproximadamente 1,0 cm de profundidade, que caracteriza trecho com deterioração (Figura 4.33 e Trecho 5 no perfil da Tabela 4.23). No trecho entre 12,9 cm e 13,92 cm apresentou um ganho gradual na resistência à perfuração de aproximadamente 1,02 cm de espessura, e corresponde à avaliação do último trecho dessa viga inclinada ID-NAVE-C27-P1S, cuja seção transversal avaliada apresentou diversas variedades de degradações na madeira, que foram detectadas superficialmente pela *Técnica de Inspeção Visual Detalhada* (TIVD) e em ensaio não destrutivo com o uso de equipamento Resistograph[®] IML-RESI-F500-S.

Esse modelo de equipamento, apesar de gerar graficamente um perfil com porcentagens de amplitudes nas resistências às perfurações, em uma determinada seção, tanto via papel *in loco*, quanto posteriormente via software em microcomputadores, esses resultados não apresentam valores precisos que possam ser correlacionados diretamente com as propriedades físicas de resistência e elasticidade da madeira, de interesse à Engenharia de Estruturas. No entanto, o Autor considera que empiricamente, esses valores intuitivos, podem ser representativos em avaliações qualitativas.

Tabela 4.23. Avaliação do perfil de sondagem da viga inclinada (perna) ID-NAVE-C27-P1S

Trecho no Perfil do Resistograph® IML-RESI-F500-S	Descrição do trecho em análise do perfil de sondagem da viga inclinada (perna) ID-NAVE-C27-P1S gerado no software F-Tools
	Trecho 1: o trecho representado na cor amarela, correspondente à profundidade de perfuração entre 0,0 e 0,5 cm. 0,5cm é a dimensão do espaçador embutido no equipamento, e o trecho subsequente, de aproximadamente 0,5 cm com baixa amplitude representa perda significativa de resistência à perfuração. Manifestação Patológica detectada nesse trecho na cor amarela: cavidade de cupim pela <i>Técnica de inspeção visual Geral e Detalhada</i> .
	Trecho 2: o trecho representado na cor laranja, correspondente à profundidade de perfuração entre 1,9 cm e 3,3 cm. Manifestação Patológica detectada nesse trecho na cor laranja: cavidade.
	Trecho 3: o trecho representado na cor verde, correspondente à profundidade perfuração entre 3,3 cm e 4,4 cm. Manifestação Patológica detectada nesse trecho na cor verde: deterioração na madeira.
	Trecho 4: o trecho representado na cor vermelha ente 8,3 e 10,2 a cavidade detectada nesse trecho pelo Resistograph®, é referente à fenda longitudinal, de aproximadamente 1,9 cm de espessura, detectada na <i>Inspeção Visual Detalhada</i> ; o trecho do intervalo entre 10,2 e 10,8 foi detectando resistência à perfuração desprezível, próxima de ZERO, que pode caracterizar um resíduo de madeira deteriorada, nesse pequeno intervalo; o trecho representado na cor magenta entre 10,8 e 11,9 a cavidade detectada nesse trecho pelo Resistograph®, é referente à fenda longitudinal, de aproximadamente e 1,1 cm de espessura, detectada na <i>Inspeção Visual Detalhada</i> .
	Trecho 5: o trecho representado na cor ciano, correspondente à profundidade de perfuração entre 11,9 cm e 12,9 cm. Manifestação Patológica detectada nesse trecho na cor ciano: deterioração na madeira.

Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)b

4.4.2 Proposta de Metodologia de Inspeção Visual Detalhada de Anomalias com Mapeamento de Imagens Digitais Assistidas Via Sistema CAD (TIVCAD)

Na atualidade, as máquinas fotográficas digitais de alta resolução estão acessíveis comercialmente e apresentam altíssima qualidade em definição de imagem digital (foto digital), inclusive com tecnologia HD [ingl.: High Definition], além da compatibilidade em expansões de memória com cartões de memória tipo SD, que favorecem na grande capacidade de armazenamento em registro de arquivos de imagens digitais. Seja em laboratórios e/ou escritórios de Engenharia e Arquitetura, são cada vez mais utilizados metodologias de desenhos assistidos em sistemas computacionais tipo CAD, com extensões DWG, DXF, dentre outros.

Preosck (2006) trabalhou com otimização da restituição fotogramétrica digital urbana, em relação à escala da fotografia e a resolução geométrica da escala em estudos na geração do mapeamento urbano. O que se pretende aqui é algo semelhante, porém em escala diferenciada e de maneira mais simplificada, aliando o uso das tecnologias de imagens digitais, inseridas em sistemas computacionais tipo CAD. A metodologia de *Técnica de Inspeção Visual Detalhada* de anomalias com mapeamento de imagens digitais assistidas via sistema computacional CAD (TIVCAD), é uma proposta em técnica não destrutiva do Autor, para analisar detalhadamente, trecho a trecho de um determinado elemento estrutural de madeira, a fim de contribuir no cálculo de porções de áreas em seções longitudinais, em avaliações de seção transversal residual, além da avaliação da seção transversal mais crítica, em função do nível de biodeterioração em determinado trecho na viga em análise. Por simplificação, esse trabalho enfatiza o estudo de cálculo de porções de áreas em seções longitudinais residuais em desenhos planos via CAD.

A validação dessa metodologia foi empregada para escolha das nomenclaturas dos corpos de prova para os ensaios em laboratório, e para o mapeamento de anomalias pela *Técnica de Inspeção Visual Detalhada*, na avaliação de transversinas do módulo m13 da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, pois os elementos estruturais do módulo m13 foram os que apresentaram níveis de biodeteriorações mais elevados de toda extensão da passarela, detectados previamente pela *Técnica de Inspeção Visual Geral*, durante as inspeções realizadas *em campo* pelo Autor.

4.4.2.1 Avaliação de transversinas da *Passarela Pênsil de Piracicaba* pela metodologia TIVCAD proposta

Para as avaliações pela *Técnica de Inspeção Visual Detalhada* (TIVD), além das inspeções *em campo*, foram analisadas no LaMEM 8 vigas de madeira biodeterioradas com características visuais de ataques de fungos apodrecedores, cuja função estrutural eram de vigas transversinas superiores (TS), que trabalhavam como suporte das peças do tabuleiro da *Passarela Pênsil de Piracicaba*. Para possibilitar os registros de imagens digitais com resolução aproximada a um padrão de escala numérica, o critério sugere traçar linhas de referência, com giz, dividindo uma determinada viga (ou outro elemento estrutural) em trechos de mesmas dimensões, de tal maneira que o foco e enquadramento da imagem apresente resolução e escala satisfatórias. As dimensões das seções transversais originais das vigas transversinas TS são de aproximadamente 5,5 cm de largura por 15 cm de altura, e 430 cm de comprimento. Das várias avaliações prévias, chegou-se a uma divisão dessas vigas em 14 trechos de “a” a “n”, com a dimensão longitudinal de cada trecho convencionalmente adequada em aproximadamente 30,7cm.

No entanto, essas 8 vigas transversinas TS da passarela, que foram analisadas no LaMEM, e, posteriormente, submetidas a ensaios de flexão, apresentavam alto nível de biodeterioração, principalmente na região superior, acima da linha neutra, nas regiões onde eram fixadas com pregos, as peças do tabuleiro (exemplos também no APÊNDICE A, subitem 9.2), em regiões em que são propensas a infiltrações e ao acúmulo de água e concentração de umidade. Na Tabela 4.24 são apresentadas as alturas críticas residuais nos trechos ao longo do comprimento das vigas transversinas superiores (TS1; TS2; TS3; TS4; TS5; TS6; TS7; TS8). As quadrículas na Tabela 4.24 com sombreamento cinza, caracterizam os pontos mais frágeis nas vigas, suscetíveis ao início da ruptura por tração na flexão. As avaliações das alturas críticas residuais foram medidas com auxílio de paquímetro digital.

Tabela 4.24. Alturas críticas residuais (em cm) nos trechos ao longo do comprimento das transversinas TS.

Trecho	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
$h_{TIVD,TS1-1}$	10,47	11,56	11,75	11,74	12,17	11,97	12,15	11,59	13,32	11,91	14,99	12,31	12,56	13,78
$h_{TIVD,TS1-2}$	10,86	11,23	9,65	11,26	10,71	9,93	9,65	9,96	10,87	11,43	9,59	10,08	10,01	12,11
$h_{TIVD,TS2-1}$	13,47	10,25	11,85	13,35	13,09	12,10	10,51	11,82	9,54	9,79	8,40	11,58	12,10	12,42
$h_{TIVD,TS2-2}$	9,93	10,26	9,51	10,91	10,03	10,90	11,81	10,83	10,99	10,30	10,45	11,60	13,68	9,43
$h_{TIVD,TS3-1}$	9,36	9,68	10,96	10,75	12,02	11,95	12,49	12,66	10,41	10,41	11,66	9,77	11,24	10,39
$h_{TIVD,TS3-2}$	9,11	10,18	10,74	9,14	12,85	12,25	12,55	11,62	11,45	10,30	11,03	8,37	10,35	11,45
$h_{TIVD,TS4-1}$	11,36	9,20	9,05	8,81	9,12	8,36	7,68	10,14	9,46	10,04	12,23	10,44	12,02	10,74
$h_{TIVD,TS4-2}$	10,50	9,20	9,11	9,10	9,10	10,26	6,52	9,39	11,11	10,70	11,76	9,23	10,01	10,71
$h_{TIVD,TS5-1}$	7,39	5,13	4,56	6,58	9,66	12,44	5,92	5,95	5,97	11,50	7,52	7,02	7,19	7,88
$h_{TIVD,TS5-2}$	5,73	5,74	4,21	5,32	4,95	5,88	5,66	7,41	7,54	8,94	5,70	5,93	7,90	8,47
$h_{TIVD,TS6-1}$	6,14	6,12	10,25	9,17	8,44	7,87	7,82	7,24	6,04	7,72	6,83	8,92	7,33	8,35
$h_{TIVD,TS6-2}$	8,27	6,62	8,84	10,12	9,75	7,61	7,41	7,12	4,97	4,66	6,35	9,25	8,79	10,43
$h_{TIVD,TS7-1}$	10,90	10,88	10,47	8,84	9,98	9,37	6,87	8,39	8,05	7,64	6,64	7,87	7,21	9,42
$h_{TIVD,TS7-2}$	10,36	9,93	9,60	7,95	7,69	7,81	7,22	7,72	7,25	6,90	7,98	7,87	8,96	10,51
$h_{TIVD,TS8-1}$	7,76	7,45	10,85	12,14	9,67	7,37	6,99	5,08	4,51	4,47	5,73	5,97	5,74	5,62
$h_{TIVD,TS8-2}$	9,96	7,96	9,98	11,15	9,14	5,37	7,34	4,90	5,25	4,94	5,99	6,37	6,30	5,28

Para a avaliação, foram registradas 1576 fotos de alta resolução, com aproximadamente 5 Mega Bytes cada, com máquina fotográfica digital SONY de 16.1Mega Pixels. No entanto, pretende-se apresentar como exemplo, algumas dessas imagens, avaliando visualmente o residual volumétrico efetivo, em que numericamente pôde-se avaliar o cálculo médio aproximado via sistema CAD, das áreas dos trechos de “a” a “n” das seções longitudinais analisadas nas imagens digitais, através dessa metodologia proposta pelo Autor (Figuras 4.34 e 4.35).

Para avaliação das regiões internas biodeterioradas, onde não foi possível detectar a biodeterioração externamente, pela inspeção visual *in loco* foram utilizadas as sondagens com as técnicas de puncionamento, picoteamento e o teste à percussão com uso de martelo.

Para a validação dessa técnica proposta, foi então utilizado, em uma fase do estudo posterior, o uso de microperfuração controlada com Resistograph® IML-RESI-F500-S, para detecção de anomalias internas e comparação das dimensões residuais efetivas, em cada trecho pré-definido, na linha de interseção dessas seções, previamente avaliadas pela *Técnica de Inspeção Visual Detalhada*.

Para avaliação aqui apresentada foram registradas 28 imagens digitais de cada viga, delineadas trecho a trecho, em ambas as faces, para obter uma melhor validação dos resultados nas análises. Os desenhos no sistema CAD sobre as imagens, foram desenhados

com *Command: spline*, com referência nos valores das alturas apresentadas na Tabela 4.24, e posteriormente convertidos em *Command: polyline* podem ser utilizados para a discretização do cálculo aproximado de áreas das regiões inferiores da seção residual, em ambas as faces nos trechos da viga TS1. Às regiões superiores dessas vigas apresentam alto nível de biodeterioração, e são as regiões delineaes acima das curvas com linhas amarelas e/ou vermelhas, geralmente sobre as fendas expressivas com características visuais da biodeterioração (Figuras 4.34 e 4.35). Como validação, são apresentadas nas Tabelas 4.25 e 4.26 as análises dos trechos de “a” a “n” em ambas as faces da viga TS1, comparados com os respectivos diagramas gerados pelo Resistograph[®].

Vale frisar que essas avaliações das alturas residuais medidas com paquímetro digital e desenhadas em sistema CAD sobre as imagens digitais, foram realizados antes das furações com o Resistograph[®], a fim de em uma avaliação posterior, poder validar a metodologia proposta da Técnica de Inspeção Visual Detalhada (TIVCAD).

Legenda (válida para todos os desenhos sobre as imagens de fotos desse subitem):

Linhas Verdes : contorno do trecho em análise, que representaria a altura real de 15cm da peça original de madeira sã;

Linhas Amarelas : linhas representativas sobre as fendas com características visuais da região biodeteriorada na face “1” da viga, detectada pela técnica de inspeção detalhada;

Linhas Vermelhas : linhas representativas sobre as fendas com características visuais da região biodeteriorada na face “2” da viga, detectada pela técnica de inspeção detalhada;

Linhas Magentas : linhas representativas de delineamento entre trechos, e para indicação nos casos dos eixos numerados nos pontos onde foram microperfurados com Resistograph[®].

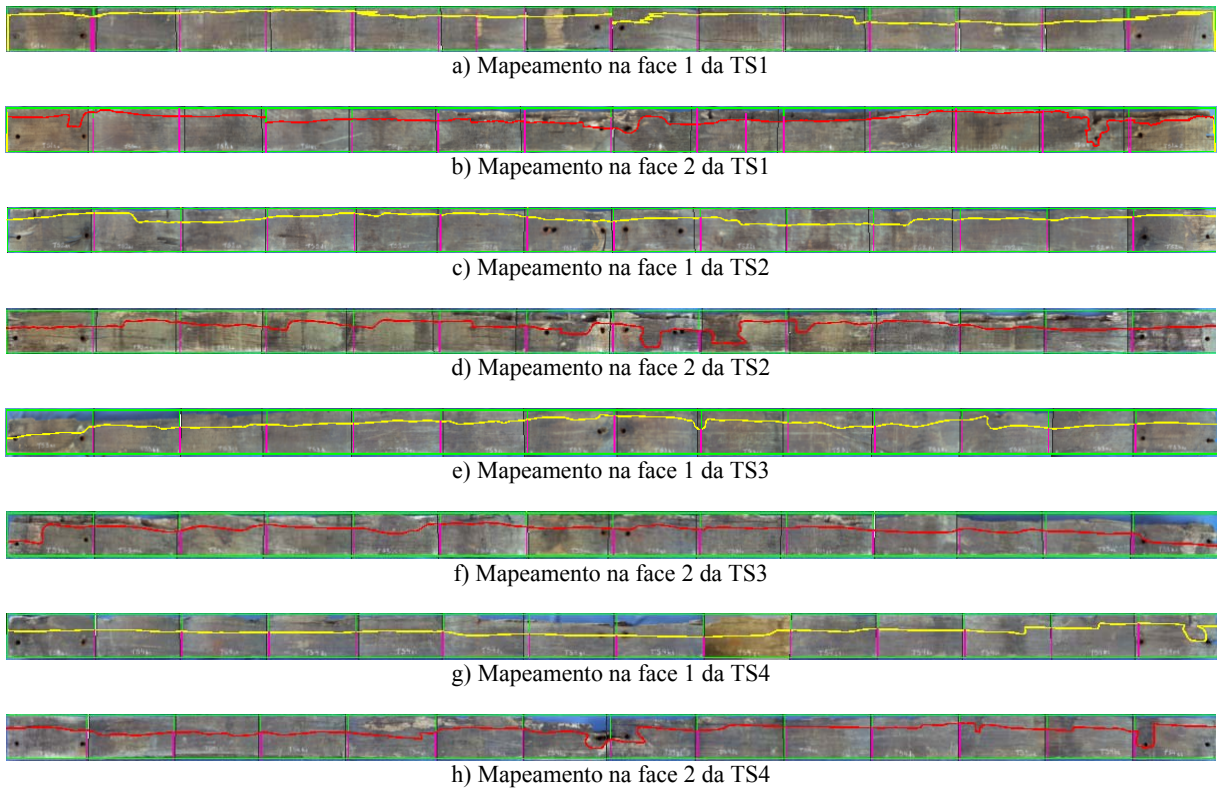


Figura 4.34. Visão geral com mapeamentos de anomalias nas vigas TS1; TS2; TS3 e TS4, para cálculo de áreas residuais efetivas, na aplicação da metodologia TIVCAD.

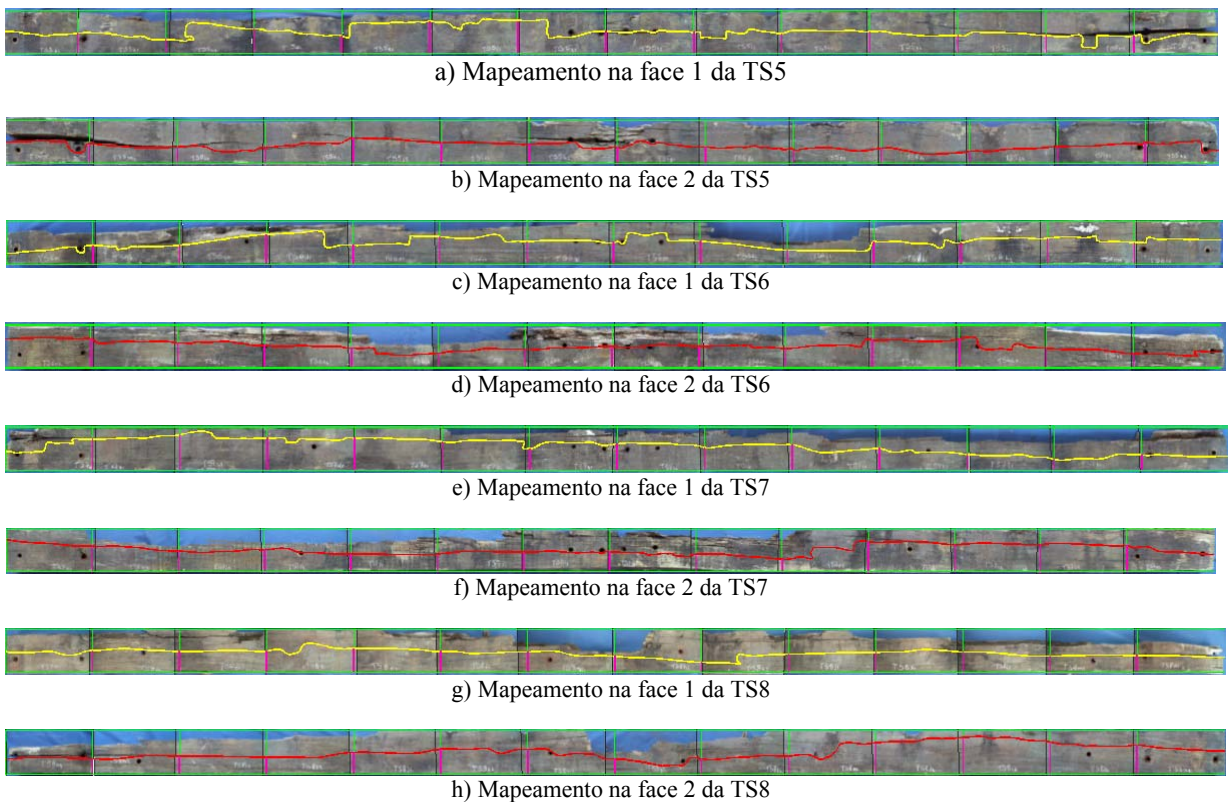


Figura 4.35. Visão geral com mapeamentos de anomalias nas vigas TS5; TS6; TS7 e TS8, para cálculo de áreas residuais efetivas, na aplicação da metodologia TIVCAD.

4.4.3 Resultados e discussões das avaliações de transversinas da *Passarela Pênsil de Piracicaba* pela metodologia de inspeção visual proposta

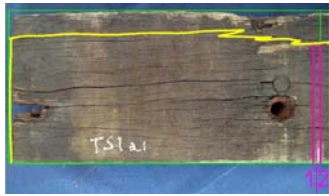
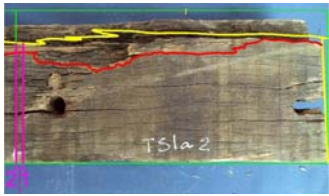
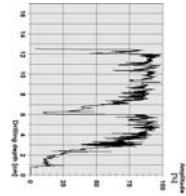


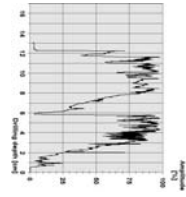
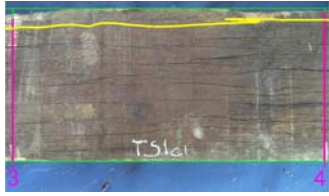
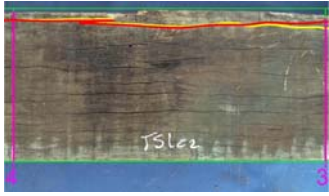
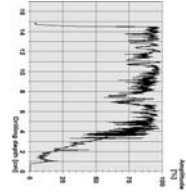


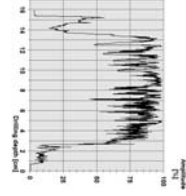


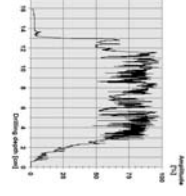
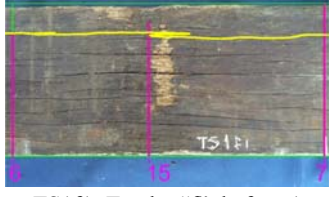
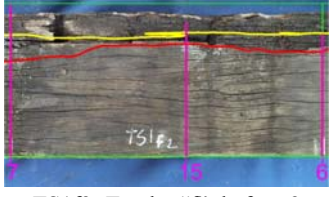
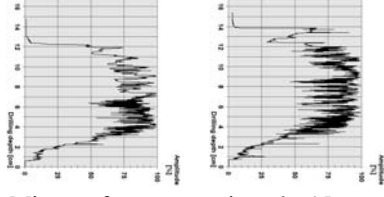

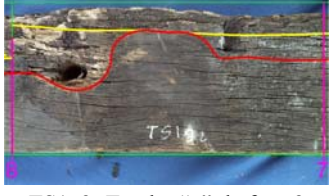
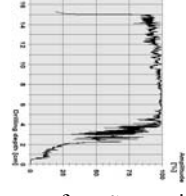
Em inspeções para avaliações de elementos estruturais de madeira, a técnica de inspeção visual, realizada por inspetores especialistas em patologias de estruturas de madeira, tem demonstrado muito eficiente para a detecção de anomalias visíveis, a fim de diagnosticar manifestações de patológicas, para estimar o dano na madeira causado por agentes abióticos, como fendas, rachas, flechas; e por agentes bióticos, como brocas, cupins e fungos, que são geralmente simples e exigem o mínimo de equipamentos.

Em análise aos resultados das avaliações em laboratório das 8 Transversinas Superiores (TS1, TS2, TS3, TS4, TS5, TS8) da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, à eficiência na contribuição dessa *Metodologia de Inspeção Visual Detalhada* proposta, assistida por computador com sistemas CAD (TIVCAD), foi validada na equivalência da aproximação gráfica dos diagramas gerados ensaios experimentais pelo uso do Resistograph® IML-RESI-F500-S, com avaliação das profundidades de biodeteriorações detectadas visualmente, pelas técnicas de sondagens com puncionamento, picoteamento e percussão, nessas 8 transversinas, quando observados em desenhos sobrepostos às imagens digitais inseridas em sistema CAD.

A título de demonstração da eficiência da metodologia proposta, é apresentada em detalhes a análise da transversina TS1, onde pôde-se observar coerências medianas nos posicionamentos das linhas desenhadas no sistema CAD sobre as imagens digitais em ambos os lados dos trechos da viga, quando comparados os resultados visuais dos diagramas de perfis de sondagens gerados pelo Resistograph®, apresentados nas Tabelas 4.25 e 4.26.

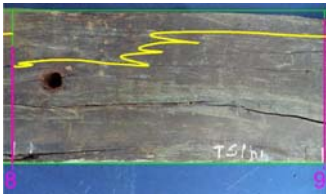
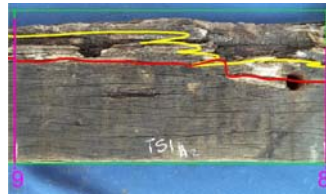
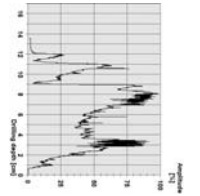
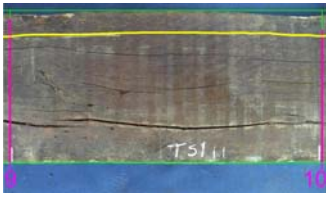

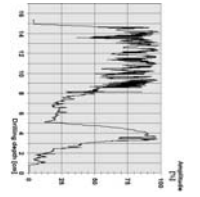

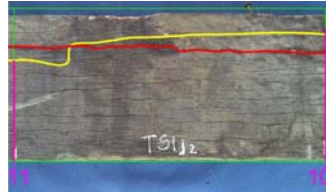
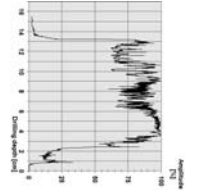

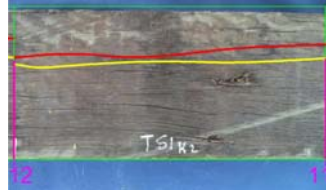
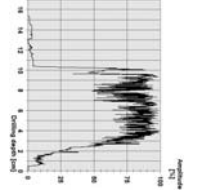


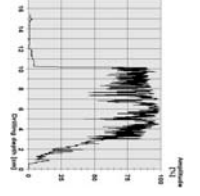

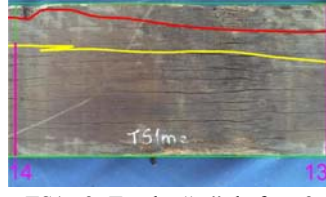
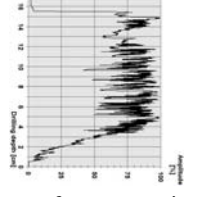
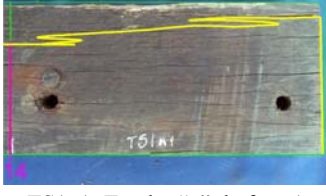

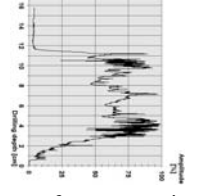
Um fator importante e prático dessa proposta, é que uma vez desenhada às posições dos detalhes das biodeteriorações em sistema CAD, nas peças sobre as imagens das fotos inseridas no software, pode-se automaticamente gerar os detalhamentos dos elementos, em escala aproximada, para o *Projeto de Inspeção de Nível 2 da Inspeção Detalhada*, facilitando em cálculos de estimativa de volumes aproximativos de perfis, em função das seções residuais, bastando detalhar em uma etapa posterior, as seções transversais pertinentes.

Tabela 4.25. Proposta de *Técnica de Inspeção Visual Detalhada* com avaliação da seção residual via CAD, validação a avaliação com perfis de sondagem com Resistograph®, na seção avaliada.

Vista do trecho na face 1	Vista do trecho na face 2	Perfil do Resistograph®
 TS1a1: Trecho “a” da face 1	 TS1a2: Trecho “a” da face 2	 Microperfuração no eixo 1
 TS1b1: Trecho “b” da face 1	 TS1b2: Trecho “b” da face 2	 Microperfuração no eixo 2
 TS1c1: Trecho “c” da face 1	 TS1c2: Trecho “c” da face 2	 Microperfuração no eixo 3
 TS1d1: Trecho “d” da face 1	 TS1d2: Trecho “d” da face 2	 Microperfuração no eixo 4
 TS1e1: Trecho “e” da face 1	 TS1e2: Trecho “e” da face 2	 Microperfuração no eixo 5
 TS1f1: Trecho “f” da face 1	 TS1f2: Trecho “f” da face 2	 Microperfuração nos eixos 6 e 15 resp.
 TS1g1: Trecho “g” da face 1	 TS1g2: Trecho “g” da face 2	 Microperfuração no eixo 7

Observações: as imagens estão espelhadas para comparação das biodeteriorações em ambas as faces 1 e 2 de cada trecho.

Tabela 4.26. (Continuação) Proposta de *Técnica de Inspeção Visual Detalhada* com avaliação da seção residual via CAD, validação a avaliação com perfis de sondagem com Resistograph®, na seção avaliada.

Vista do trecho na face 1	Vista do trecho na face 2	Perfil do Resistograph®
 <p>TS1h1: Trecho “h” da face 1</p>	 <p>TS1h2: Trecho “h” da face 2</p>	 <p>Microperfuração no eixo 8</p>
 <p>TS1i1: Trecho “i” da face 1</p>	 <p>TS1i2: Trecho “i” da face 2</p>	 <p>Microperfuração no eixo 9</p>
 <p>TS1j1: Trecho “j” da face 1</p>	 <p>TS1j2: Trecho “j” da face 2</p>	 <p>Microperfuração no eixo 10</p>
 <p>TS1k1: Trecho “k” da face 1</p>	 <p>TS1k2: Trecho “k” da face 2</p>	 <p>Microperfuração no eixo 11</p>
 <p>TS1L1: Trecho “L” da face 1</p>	 <p>TS1L2: Trecho “L” da face 2</p>	 <p>Microperfuração no eixo 12</p>
 <p>TS1m1: Trecho “m” da face 1</p>	 <p>TS1m2: Trecho “m” da face 2</p>	 <p>Microperfuração no eixo 13</p>
 <p>TS1n1: Trecho “n” da face 1</p>	 <p>TS1n2: Trecho “n” da face 2</p>	 <p>Microperfuração no eixo 14</p>

Observações: as imagens estão espelhadas para comparação das biodeteriorações em ambas as faces 1 e 2 de cada trecho.

No entanto, a priori, a utilização do modelo do Resistograph® IML-RESI-F500-S, ainda tem se limitado na interpretação visual das informações geradas graficamente, pelo equipamento, pelas representações em porcentagens de amplitudes apresentadas nos diagramas dos perfis de sondagens. Pois esse modelo de Resistograph® não quantifica numericamente valores diretos de resistências efetivas das propriedades físicas de resistência e elasticidade da madeira, ao longo da seção transversal do elemento estrutural.

No entanto, para as inspeções esse equipamento de simples manuseio tem demonstrado ser muito eficiente nas sondagens para avaliações internas na madeira em seções localizadas, em elementos estruturais pré-inspecionados, e pode contribuir nas identificações de regiões com variações de amplitudes de resistência à perfuração interna na madeira, para avaliações de perdas significativas de resistência à perfuração em detecções de biodeteriorações por fungos apodrecedores, e estimar possíveis defeitos internos na madeira como vazios decorrentes de fendas, rachas, cavidades internas na madeira de térmitas e brocas dentre outros.

Diante do estudo, recomenda-se uma rotina sequencial para a metodologia de *Inspeção Detalhada do Nível 2* em elementos estruturais de madeira, utilizada pelo Autor no LaMEM, durante o período da pesquisa em laboratório e *em campo*, como contribuição na proposta da *Metodologia de Inspeção* com técnicas não destrutivas (NDT) em avaliações, conforme indicada abaixo:

- ✓ *Técnica de Inspeção Visual Detalhada* (TIVD) com registros de fotos de alta resolução, assistidas por microcomputadores em sistemas CAD (TIVCAD);
- ✓ Sondagens superficiais com testes de puncionamento;
- ✓ Sondagens superficiais com testes de picoteamento;
- ✓ Sondagens internas com testes à percussão com martelo;
- ✓ Sondagens internas na seção da madeira, em ponto localizado pré-inspecionado, com microperfuração com o uso do Resistograph®.

Vale ressaltar a proposta de adoção na gestão de inspeções e manutenções periódicas preventivas, de maneira metódica, na defesa da hipótese entre essas combinações aliadas, em estruturas de madeira, a fim de assegurar os requisitos de durabilidade para prolongamento da Vida útil, e garantir a segurança dessas estruturas diante das condições atuais de uso. Dessa maneira, em casos principalmente de estruturas especiais, que requerem acompanhamento contínuo de manutenções preventivas, os registros de arquivos de documentos, uma vez gerados pela metodologia de inspeção proposta, poderão ser úteis como métodos para avaliação contínua da durabilidade em elementos estruturais de madeira, para acompanhamento na evolução das manifestações patológicas em inspeções periódicas futuras.

Dependendo do porte da estrutura e das condições ambientais em que ela está exposta, sugere-se que as inspeções periódicas e manutenções preventivas devam ter a periodicidade pré-definida, e para os casos das pontes, por exemplo, assim como a indicação na NBR 9452:1986, pela experiência adquirida pelo Autor, nos *Estudos de Caso* das pontes e da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, recomenda-se que seja pelo menos anualmente.

No capítulo seguinte são abordadas de maneira sistematizada as questões relacionadas à manutenção, técnicas de reabilitação, reforços ou substituições de elementos estruturais de madeira.

5 MANUTENÇÃO, TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO, REFORÇO OU SUBSTITUIÇÃO

O objetivo desse capítulo é fornecer descrições de métodos e análises críticas de algumas técnicas comumente usadas *in loco*, para trabalhos de manutenção em elementos estruturais de madeira. E descreve, resumidamente, algumas das principais técnicas frequentemente recomendadas em reabilitações e reforços de estruturas de madeira, utilizadas em diversos países, além da apresentação, em casos especiais, de modelos analíticos de critérios de cálculo. Em função da grande variabilidade de tipos de manifestações patológicas e de deficiências em determinadas estruturas ou parte delas, serem desenvolvidas a partir de uma grande variedade de causas, até aqui, percebe-se que é impraticável tratar o *Potencial de Risco* para cada tipo de deficiência. Em contra partida, os métodos de prevenção em manutenções e reparos podem ser discutidos, pois podem ser adaptados às circunstâncias específicas de uma determinada estrutura. Esses métodos incluem realizar *in loco* o controle de umidade, tratamento preservativo, reparação mecânica com reabilitações e/ou reforços com técnicas tradicionais e/ou com adesivos epóxi, além de casos extremos de substituição de elementos. Os principais tipos de detalhes de aplicações em técnicas de reabilitações e reforços para projetos de intervenções em elementos estruturais de madeira são apresentados de maneira sistematizada e concisa nas fichas técnicas do APÊNDICE B.

5.1 A importância de profissionais especialistas

A filosofia de restauração e reabilitação deve ser considerada ao estabelecer a lógica de decisões a serem tomadas. Na medida em que se encontram presentes valores históricos e patrimoniais, as intervenções de reabilitação de edifícios antigos e de conservação do patrimônio arquitetônico envolvem uma elevada especificidade, e uma complexidade superior a uma construção nova, exigindo um maior cuidado e rigor ao nível da definição estratégica, da coleta de informações, da concepção de projetos de manutenção, reabilitação e reforço, da execução e da fiscalização [(CÓIAS, 2005); (DIAS, 2008); (BALLÁN BALLÁN, 2009); (BRANCO et al, 2012)]. Nesse sentido, sendo necessário promover maneiras de formar os intervenientes no processo de intervenções em reabilitação, o Comité Internacional de Madeiras do ICOMOS apresenta, no item 15 do documento *Princípios para a Preservação de Edifícios Históricos em Madeira*, as seguintes considerações: A regeneração de valores

relacionados com o significado cultural de estruturas históricas de madeira, através de programas educacionais é um requisito essencial para a preservação sustentável e política de desenvolvimento. O estabelecimento e posterior desenvolvimento de programas de treino são encorajados na proteção, preservação e conservação de estruturas históricas de madeira. Tal treino deve ser baseado numa estratégia integrada e compreensiva dentro das necessidades de produção sustentável e consumo e inclui programa a nível local, nacional, regional e internacional. Os programas devem englobar todas as profissões multidisciplinares relevantes envolvidas nesse trabalho, em particular arquitetos, engenheiros, restauradores, artesãos e gestores de empreendimentos (ICOMOS, 2004). Valle et al (2013) apresentam resumidamente na Tabela 5.1, as recomendações fundamentais e os princípios conforme regulamentações do IPHAN (2013) e dos documentos do ICOMOS (1999) e ICOMOS (2003).

Tabela 5.1. Princípios fundamentais e recomendações da ICOMOS e do IPHAN, para trabalhos de análise, conservação, restauração e reabilitação estrutural do Património Arquitetónico.

Fundamental principles and recommendations as ICOMOS and Charters of Heritage Preservation	
1- Segurança estrutural;	7- Distinção harmoniosa;
2- Autenticidade;	8- Intervenção Mínima;
3- Equipe multidisciplinar;	9- Reversibilidade;
4- Importância da execução por profissionais especialistas;	10- Caráter didático;
5- Preferências ou semelhanças com as técnicas tradicionais;	11- Importância de registos e estudos anteriores;
6- Compatibilidade;	12- Importância da manutenção e documentos;
	13- Durabilidade.

Fonte: Tabela de VALLE et al (2013)

Vale destacar ainda, que NBR 9452:1986 preconiza que as inspeções detalhadas em vistorias especiais, com a finalidade de interpretar e avaliar ocorrências danosas, sejam visuais e/ou instrumentais, devem ser realizadas por engenheiro especialista.

5.1.1 Funções específicas do inspetor de estruturas de madeira

Alguns aspectos do trabalho de reabilitação são peculiares a estruturas de madeira e, normalmente, requer o conhecimento específico de um inspetor especialista em estruturas de madeira [(RITTER; MORRELL, 1990); (BONAMINI, 1995); (UZIELLI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002); (BALLÁN BALLÁN, 2009)]. Sua contribuição específica podem incluir os seguintes temas:

- a identificação de espécies de madeira;

- a avaliação da durabilidade dos elementos estruturais da madeira nas suas condições atuais (de acordo com as espécies de madeira, a distribuição do cerne, as condições ambientais, etc.), bem como qualquer necessidade para o tratamento preservativo de modo a assegurar a durabilidade desejada;
- e a avaliação do desempenho estrutural real dos elementos estruturais de madeira.

Através da ciência, na atualidade, com o melhor conhecimento fornecido por pesquisadores de estruturas de madeira, torna-se possível conservar elementos estruturais que até poucos anos atrás, seriam simplesmente removidos e substituídos. Além disso, quando a estrutura original que já não cumpre os requisitos mínimos de segurança, um bom conhecimento de estruturas de madeira, muitas vezes faz com que seja possível tomar medidas para que os elementos estruturais antigos possam ainda contribuir na capacidade resistente das cargas globais atuantes. Segundo Uzielli (1995) e Bonamini (1995), outros aspectos que o especialista em estruturas de madeira deve sobretudo antever são:

- a compatibilidade entre a madeira do elemento estrutural com os novos materiais utilizados;
- as influências do reparo na manutenção, confiabilidade e durabilidade de todos os elementos reparados e toda a estrutura.

Após a realização de inspeções em elementos estruturais de madeira existentes, o inspetor se faz necessário tomar decisões em relação ao acompanhamento dos trabalhos de manutenções e intervenções. Vários aspectos devem ser considerados, em estreita colaboração entre os especialistas, como engenheiros estruturais, arquitetos, tecnólogos de madeira, restauradores, historiadores, administradores de proprietários responsáveis pela edificação, e outras partes interessadas, tais como construtoras ou funcionários encarregados da conservação do património cultural. Uzielli (1995) recomenda três aspectos a serem levados em consideração:

- identificação dos objetivos, requisitos e restrições;
- medidas manutenção de conservação;
- intervenções estruturais.

5.1.2 Identificação de objetivos, requisitos e restrições

Os trabalhos de reabilitação em estruturas de madeira existentes, em muitos casos são realizados em estruturas antigas e/ou estão envelhecidas e geralmente possuem alguma importância cultural, envolvem muitos requisitos diferentes, e que muitas vezes podem ser conflitantes. A identificação clara dos objetivos e requisitos a serem satisfeitos pelos trabalhos

de reabilitação devem ser realizados antes que os aspectos técnicos sejam considerados, para que os inspetores possam trabalhar com base em prioridades e restrições claramente definidas [(UZIELLI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002); (BALLÁN BALLÁN, 2009)]. As principais alternativas ou objetivos complementares para intervenções de reabilitações e/ou reforços são:

- a restauração exige o conhecimento das técnicas construtivas da época;
- conservação da aparência estética da estrutura;
- conservação dos materiais originais, sempre que possível, por razões artísticas, históricas e/ou culturais;
- recuperação da capacidade de carregamento original;
- aumento ou alteração da capacidade de carregamento, rigidez, ou de manutenção;
- conformidade com segurança, prevenção de incêndio, regulamentos sísmicos ou outros.

Por outro lado, diversos requisitos devem ser considerados, tais como:

- os interesses das partes envolvidas;
- a economia;
- sustentabilidade;
- as condições ambientais;
- as prevenções de biodeteriorações futuras e/ou outros danos;
- o tempo disponível, conhecimento, materiais, mão-de-obra e tecnologias;
- a compatibilidade entre a madeira existente com os materiais envolvidos para as reabilitações e/ou reforços.

Por razões de clareza e simplificação desse vasto tema, apenas algumas dessas considerações anteriores serão apresentadas em detalhes. No entanto, deve notar-se que todos os problemas envolvidos são susceptíveis de ser interativo, e as medidas tomadas de decisão para resolver um desses requisitos pode afetar significativamente em vários outros.

5.1.3 Conservação dos materiais originais e conceito estrutural

Devido a motivos artísticos, históricos e/ou culturais, a conservação de estruturas antigas de madeira está se tornando cada vez mais importante e desejável, e muitas vezes a ênfase é colocada mais na conservação do que em aspectos econômicos. Além de que segundo Cóias (2011) a conservação e reabilitação de edificações antigas são alternativas sustentáveis. Por outro lado, em muitas edificações residenciais, por exemplo, ao menor custo possível, a fim de obter a durabilidade, facilidade de manutenção e conformidade com os regulamentos de construção é frequentemente o principal requisito: o custo da reabilitação e/ou reforço torna-

se então o parâmetro de orientação na escolha entre vários critérios para a realização de trabalhos de intervenções em estruturas de madeira existentes (UZIELLI, 1995).

5.1.4 Conservação da aparência da estrutura

A preservação da aparência da estrutura está relacionada com a quantidade de degradação dos elementos de madeira. Insetos, fungos e incêndios normalmente afetam as camadas externas de madeira, e trabalhos de reparos muitas vezes exigem a sua remoção. Em oposição Bonamini (1995), Uzielli (1995) e Arriaga et al (2002) descrevem que quando isto não for possível ou quando for desejável o fator de aumento de rigidez e durabilidade, a conservação da madeira deteriorada pode ser melhorada através de impregnação com resinas adequadas.

5.1.5 Recuperação da capacidade de suporte de carga original

Em certas situações, os elementos estruturais de madeira afetados pelo elevado ataque de agentes biodeterioradores ou danos podem ser reforçados através de trabalhos de reabilitação [(RITTER; MORRELL, 1990); (UZIELLI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002)]. Considerando-se os requisitos estruturais, convém, no entanto, notar que em diversas estruturas antigas de madeira as dimensões dos elementos estruturais são conservadoras. Dessa forma, depois de uma inspeção detalhada e cuidadosa avaliação, é possível notar que, apesar de elementos estruturais terem sofrido dano no passado, as seções residuais, geralmente ainda podem ser suficientes para fornecer uma capacidade de resistente em conformidade com as condições de serviço atuais e previstas. Em tais casos, não deve haver nenhum obstáculo para relatar: nenhum trabalho de reparo seja necessário, permitindo que o trabalho passe a se concentrar na prevenção de uma biodeterioração posterior (UZIELLI, 1995).

5.1.6 Reforço

A capacidade resistente de uma estrutura de madeira precisa em certos casos, ser melhorada por meio da consolidação estrutural adequada, a fim de cumprir boa performance nos requisitos de desempenho, por exemplo, com reforços de elementos estruturais em situações de modificações no tipo de utilização da estrutura existente [(RITTER; MORRELL, 1990); (UZIELLI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002)].

5.1.7 Condições de trabalho

O tempo disponível, a experiência, os materiais e às tecnologias devem ser claramente identificadas antes que os planos de trabalho sejam concluídos, a fim de assegurar que a qualidade desejada possa ser obtida em todo trabalho. Mais do que em outros tipos de

trabalhos de manutenção em reparos, às estruturas de madeira exigem que não se busque atalhos, especialmente nos estágios iniciais, e deve ser permitido o tempo hábil necessário para a coleta e análise de informações, *“a fim de evitar erros que tornariam às intervenções sucessivas com custos mais elevados, ou podendo até mesmo impossibilitar à intervenção”* (UZIELLI, 1995).

5.1.8 Compatibilidade entre diferentes materiais

A compatibilidade entre diferentes materiais deve ser sempre uma grande preocupação, isto é especialmente adequada para os materiais utilizados em reabilitação e/ou reforço das estruturas de madeira [(RITTER; MORRELL, 1990); (BONAMINI, 1995); (UZIELLI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002)].

As madeiras sempre que coladas ou executadas com conexões rígidas, se faz necessário tomar cuidados especiais para evitar concentrações de tensões e/ou possíveis falhas, causadas por deformações diferencial relacionadas com:

- retração diferencial entre a madeira e os materiais não higroscópicos;
- retração diferencial entre diferentes direções anatômicas da madeira;
- diferentes coeficientes de expansão térmica entre madeira e metais;
- diferentes deslocamentos entre as partes estruturais ou elementos com rigidez diferentes.

Outros problemas de compatibilidade podem surgir a partir de fatores químicos, tais como à corrosão de elementos de fixação de aço causadas por preservativos de madeira em condições de elevada umidade [(RITTER; MORRELL, 1990); (UZIELLI, 1995)]. Segundo Uzielli (1995), à condensação de umidade, e consequentes problemas de biodeterioração, são muitas vezes resultado de situações de compatibilidade insuficientes, tais como:

- a madeira colocada em contato direto com metais ou pedras, podem apresentar diferentes taxas de aquecimento ou resfriamento, em condições insuficientes de ventilação;
- a possível condensação de umidade no interior de peças de madeira, na interface entre a madeira e a resina.

5.1.9 Critérios de classificação geral

Em geral, não existem situações idênticas em reabilitações de estruturas antigas de madeira: portanto, os critérios de trabalhos de restauração, reabilitação e reparos precisam ser recomendados, concebidos e implementados caso a caso. Além disso, como já foi referido, os problemas e soluções estão profundamente interligados e não pode ser encarado separadamente. No entanto, é útil estabelecer os seguintes critérios de classificação geral, a fim de ajudar a esclarecer os significados, escopos e limites das várias soluções técnicas, que

até então têm sido, ou podem no futuro ser propostos para trabalhos de reabilitação estrutural. Segundo Uzielli (1995), as reabilitações podem basicamente tratar de um ou mais dos seguintes níveis da estrutura:

- elementos estruturais de madeira individualizados;
- unidades estruturais;
- estruturas inteiras;
- conexões em ligações;
- restrições externas ou conexões.

E após o trabalho de reparos as peças de madeira originais:

- podem cumprir as mesmas funções estruturais que foram originalmente atribuídas (quanto intocada, caso seja reconhecida à necessidade de reparo não estrutural, após o reparo ou reforço parcial, se necessário);
- ainda podem cumprir a função estrutural, embora em conjunto com elementos adicionados recentemente;
- ou ainda podem ser deixadas no local apenas por razões estéticas, ou para a conservação da autenticidade histórica do material, quando as funções estruturais podem ser totalmente cumpridas por outros elementos suportes de reforço, tais como a substituição de elementos de madeira, por aço ou concreto.

Segundo Uzielli (1995) *“uma vez que as propriedades de resistência da madeira foram perdidas em função da biodeterioração por apodrecimento ou em caso de fratura, à resistência original do material madeira não pode ser recuperada, mesmo em uma extensão parcial, por meio de impregnação com qualquer tipo de resina, ou por outro processo. Por outro lado, um elemento estrutural de madeira, principal ou secundário, pode ser reparado, reabilitado, reforçado e/ou enrijecido, de acordo com a sua necessidade, através de estudo de caso adequado”*.

5.2 Manutenção

No que tange a normalização brasileira, quanto aos requisitos de manutenções de edificações, tem-se a ABNT NBR 5674:1999, que denomina o termo manutenção como o conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de suas partes constituintes de atender as necessidades e segurança dos seus usuários.

Atualmente, diante do crescimento acelerado da construção civil no Brasil, sobretudo nos últimos 6 anos, movimentado por incentivo político e econômico, a comunidade científica

acadêmica e profissionais da engenharia e arquitetura, preocupados com a qualidade das novas construções de edificações, editaram um projeto de norma em dezembro de 2011, com uma série de prescrições normativas na ABNT, referentes ao desempenho das construções para edifícios habitacionais até cinco pavimentos, que seguem:

- Projeto CB-02 ABNT NBR 15575-1: Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais.
- Projeto CB-02 ABNT NBR 15575-2: Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais.
- Projeto CB-02 ABNT NBR 15575-3: Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos.
- Projeto CB-02 ABNT NBR 15575-4: Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas.
- Projeto CB-02 ABNT NBR 15575-5: Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas.
- Projeto CB-02 ABNT NBR 15575-6: Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Apesar dessa pesquisa estar diretamente associada às estruturas de madeira, enquadrando-se diretamente as partes da norma ABNT NBR 15575-2 e ABNT NBR 15575-5, as demais partes também podem estar direta ou indiretamente associadas pela multidisciplinaridade que envolvem a grande maioria das estruturas de edificações.

Segundo Ritter (1990)^{p14-1}, a madeira, desde que tratada adequadamente, pode se enquadrar como um material durável para estruturas, inclusive para construções de pontes, no entanto, durante longos períodos de serviço, estão sujeitas a deteriorações por agentes bióticos como apodrecimento, ataques de insetos, ou por agentes abióticos como os danos mecânicos, ações atmosféricas entre outras. As estruturas de madeira devem ser periodicamente conservadas e/ou reabilitadas, a fim de mantê-las em uma condição favorável ao *desempenho* e *Vida útil* prolongada, Figura 5.1. Para isso *devem ser implementados como imposição, programas eficazes de planos de inspeções e manutenções periódicas preventivas e monitoramentos*, sejam em obras públicas e/ou privadas, para melhorar a segurança dos usuários das estruturas de madeira, prolongar a Vida útil, e reduzir a frequência e custo dos reparos [(RITTER, 1990); (CRUZ, 2001); (VALLE et al, 2004)]. O objetivo não é apenas em reparar as deficiências existentes, mas também de tomar medidas corretivas para evitar ou reduzir problemas futuros. Quando vinculado a um programa eficaz de inspeções em estruturas, as

manutenções periódicas e preventivas representam uma melhor abordagem em relação ao custo-benefício para alcançar uma Vida útil prolongada satisfatória das estruturas existentes. Em tempos de orçamentos decrescentes, o primeiro programa como medida de redução econômica muitas vezes é a manutenção, quando, na verdade, com a manutenção reduzida aumenta substancialmente custos a longo prazo [(RITTER, 1990); (HELENE, 1992); (LOPES, 2005)]. Estudos realizados em diversos países, para diferentes tipos de edificações, demonstram que os custos anuais envolvidos na operação e manutenção das edificações em uso variam entre 1% e 2% do seu custo inicial, NBR 5674:1999. Esse valor pode parecer pequeno, porém acumulado ao longo da Vida útil das edificações chega a ser equivalente ou até superior ao seu custo de construção.

Dessa maneira, os trabalhos de manutenções devem ser sempre realizados levando em consideração o ponto de vista de *conservação contínua* em manter a estrutura. Nenhum trabalho pode ser considerado como “*o último trabalho*”, não necessitando de cuidados adicionais em manutenções periódicas e preventivas. Sempre devem ser previstas e evitadas, as ações ao *potencial de risco de agentes de deterioração*, tanto bióticos quanto abióticos. Helene (1992) afirma que as correções serão mais duráveis, mais efetivas, mais fáceis de executar e muito mais baratas quanto mais cedo forem executadas. A demonstração mais expressiva dessa afirmação é a chamada *Lei de Sitter* que demonstra que os custos crescem segundo uma *progressão geométrica de razão 5*, conforme pode ser observado na Figura 5.2.

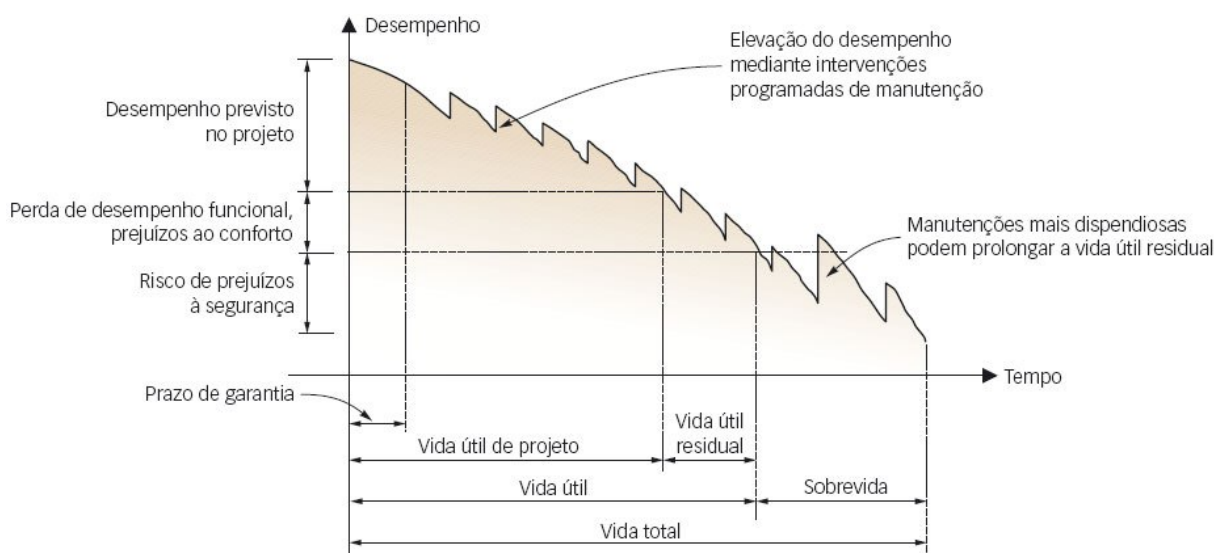


Figura 5.1. Gráfico de Desempenho x Vida útil. Fonte: Projeto: 02:136.01.0, Desempenho de edifícios, parte 1, ABNT, Atual NBR 15575-1.

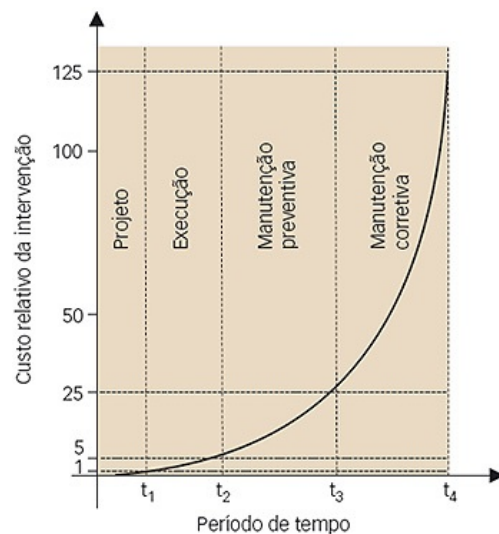


Figura 5.2. Gráfico da *Lei de Evolução de Custos*: custos relativos à fase de intervenção.

Fonte: SITTER (1984) apud HELENE (1992)^{p24}.

Uma interpretação adequada de cada um desses períodos pode ser a seguinte:

Fase de Projeto: toda medida tomada em nível de projeto com o objetivo de aumentar a proteção e a durabilidade da estrutura, como por exemplo, especificar tratamentos preservativos adequadamente conforme a Categoria de uso, especificar tratamentos superficiais com pinturas hidrofugantes-hidrorepelentes (Stains), escolher melhores detalhamentos construtivos adequados em projetos, entre outras, implica num custo que pode ser associado ao número 1 (um).

Fase de Execução: toda medida extra projeto, tornada durante a execução propriamente dita, incluindo nesse período a obra recém-construída, implica num custo 5 (cinco) vezes superior ao custo que teria sido acarretado se esta medida tivesse sido tomada a nível de projeto, para obter-se o mesmo grau de proteção e durabilidade da estrutura. No Brasil, um exemplo típico é a tomada de decisão em obra, na escolha de peças, sem uma classificação, ou ainda, na confecção dos detalhes *in loco*, principalmente de ligações, contando apenas com a prática do carpinteiro local. A mesma medida tomada durante a fase de projeto permitiria um melhor aproveitamento dos materiais, além de atender os requisitos de segurança, durabilidade, redução das dimensões dos componentes estruturais, economia de materiais, redução volumes e peso próprio, etc., quando são previstos em fases de projeto.

Manutenção preventiva: toda medida tomada com antecedência e previsão, durante o período de uso e manutenção da estrutura, pode ser associada a um custo 5 (cinco) vezes menor que aquele necessário à correção dos problemas gerados a partir de uma não intervenção preventiva tomada com antecedência à manifestação explícita de patologias. Ao mesmo tempo estará associada a um custo 25 (vinte e cinco) vezes superior aquele que teria

acarretado uma decisão de projeto para obtenção do mesmo *grau* de proteção e durabilidade da estrutura. Como exemplo pode-se citar a remoção de fuligem ácida e limpeza de elementos estruturais de fachadas, manutenção das pinturas com vernizes e hidrofugantes e hidrorrepelentes, limpezas de calhas, manutenção, renovação ou construção de rufos, pingadeiras, beirais e outras medidas de proteção (CALIL JR. et al, 2006)^{p58}.

Manutenção corretiva: corresponde aos trabalhos de diagnóstico, prognóstico, reparo reabilitação e proteção das estruturas que já apresentam manifestações patológicas, ou seja, correção de problemas evidentes, como será apresentado mais adiante. A estas atividades pode-se associar a um custo 125 (cento e vinte e cinco) vezes superior ao custo das medidas que poderiam ter sido tomadas em nível de projeto e que implicariam num mesmo *grau* de proteção e durabilidade que se estime da obra a partir da correção.

Segundo SITTER, colaborador do CEB (Comité Euro-international du Béton) formulador dessa lei de custos amplamente citada em bibliografias específicas da área, adiar uma intervenção significa aumentar os custos diretos em progressão geométrica de razão 5 (cinco), o que torna ainda mais atual o conhecido ditado popular citado por Helene (1992) “*Não deixes para amanhã o que podes fazer hoje, por cinco vezes menos*”.

Infelizmente no Brasil, em pleno Século XXI, de maneira geral, e mais evidente em obras públicas, as manutenções periódicas preventivas, ainda são frequentemente negligenciadas, sendo mais recorrentes os casos de manutenções corretivas, quando já se desenvolveram problemas críticos nas estruturas, que requerem grandes intervenções ou até mesmo substituição da estrutura ou parte dela. Isso se agrava ainda mais, quando relacionamos a durabilidade das estruturas de madeira (OLIVEIRA; MACEDO, 2004). Esse é um dos motivos, pelas quais, as normas técnicas nacionais e internacionais são cada vez mais exigentes em relação ao desempenho em que as estruturas sejam projetadas, executadas e utilizadas, redigidas não somente pela resistência e economia, mas também englobando questões de desempenho em manutenções e durabilidade, que favorecem diretamente a questão da sustentabilidade. A NBR 6118:2007, por exemplo, introduziu este conceito e tornou-se clara sua relevância, requerendo de todos envolvidos (projetista, construtor e usuário) as suas responsabilidades e seus empenhos para tal. Estas responsabilidades são distribuídas observando a existência de três fases distintas e complementares das estruturas, que são o planejamento, a execução e a utilização. As requisitos de durabilidade nas duas primeiras fases dependem fundamentalmente dos profissionais Engenheiros e Arquitetos, responsáveis pelo projeto e pela execução. Já a durabilidade de uma determinada estrutura durante a fase de utilização depende, em grande parte, do usuário, que está diretamente

relacionado com manutenção preventiva por ele determinada (MOREIRA et al, 2004). Dessa maneira, para inspeções e manutenções, demonstram a importância da existência de um programa de manutenção preventiva em estruturas de madeira, conforme NBR 5674: 1999, o que não acontece na maior parte dos casos. Valle et al (2004) descrevem que além da ausência de manutenções periódicas, diversos problemas constatados em uma avaliação, são decorrentes principalmente da intervenção estrutural por profissionais não habilitados e pela ausência de providências imediatas uma vez constatados os primeiros sinais de manifestações patológicas na estrutura, e cita que “*É mais fácil e seguro prevenir que reparar*”, o que torna ainda mais evidente o ditado popular “*É melhor prevenir que remediar*”. Freitas (2009) descreve na Tabela 5.2, os períodos recomendados para inspeções periódicas preventivas em postes de madeira, conforme a norma Australiana AS-NZS 4676:2000.

Tabela 5.2. Períodos recomendados para inspeções periódicas preventivas em postes de madeira.

Espécie e Classe	Tratamento preservativo	Inspeções periódicas recomendadas (anos)	
		Primeira	Subsequentes
Hardwood (Euc. Spp) Durabilidade Classe 1	Sem tratamento	10	Entre 3 a 6
Hardwood (Euc. Spp) Durabilidade Classe 1	H5 para Alburno	20	Entre 3 a 6
Hardwood (Euc. Spp) Durabilidade Classe 2	Sem tratamento	10	Entre 3 a 6
Hardwood (Euc. Spp) Durabilidade Classe 2	H5 para Alburno	20	Entre 3 a 6
Radiata pine plantation Softwood	H5	20	Entre 3 a 6

Fonte: AS-NZS 4676:2000 apud FREITAS (2009)

Conforme a NBR 5674:1999, é inviável sob o ponto de vista econômico e inaceitável sob o ponto de vista ambiental considerar as edificações como produtos descartáveis, passíveis da simples substituição por novas construções quando seu desempenho atinge níveis inferiores ao exigido pelos seus usuários. Isto exige que se tenha em conta a manutenção das edificações existentes, e mesmo as novas edificações construídas, tão logo colocadas em uso, agregam-se ao estoque de edificações a ser mantido em condições adequadas para atender as exigências dos seus usuários.

Em termos gerais, por exemplo, a manutenção da estrutura de uma ponte de madeira inclui as atividades necessárias para preservar a utilidade de uma ponte e assegurar a segurança dos usuários das vias rurais, urbanas e rodovias. Assim como prevalecem as mesmas atividades para demais estruturas de madeira convencionais. Na prática, toda a manutenção ou é

preventiva ou é corretiva. As atividades de manutenção são divididas em categorias que variam na definição e abrangência entre diferentes órgãos. Dessa maneira, Ritter (1990)^{p14-1} divide as manutenções das estruturas de madeira em três categorias:

- ✓ Manutenção preventiva: envolve manter a estrutura em bom estado de conservação para reduzir problemas futuros. Nessa fase, ainda não iniciou a deterioração, seja por apodrecimento ou outra manifestação patológica, mas as condições ou potenciais de risco estão presentes;
- ✓ Manutenção corretiva precoce: é realizada quando a deterioração seja por apodrecimento ou outras manifestações patológicas estão presentes, mas não afetam a capacidade resistente ou o desempenho normal da estrutura em serviço. Nessa fase, o dano estrutural mais grave é iminente, a menos que sejam tomadas medidas corretivas.
- ✓ Manutenção corretiva imediata: envolve medidas corretivas imediatas que necessitam reabilitar a estrutura para condição original de sua capacidade. A deterioração progrediu ao ponto em que os principais componentes estruturais avaliados têm apresentado de moderada à severa perda de resistência, em que de reabilitação ou a substituição é obrigatória para manter a capacidade de carregamento.

A reabilitação de uma estrutura é outra forma de restauração realizada em estruturas de madeira que estão funcionalmente ou estruturalmente obsoletas. De certo modo, a reabilitação é semelhante à manutenção, pois em muitos casos, envolvem os mesmos métodos e técnicas, no entanto Ritter (1990)^{p14-2} considera que “*a reabilitação é realizada para melhorar a geometria ou a capacidade de carregamento de uma ponte já existente, em vez de restaurar a capacidade original*”. E descreve que a reabilitação é mais comumente realizada em pontes mais antigas que foram construídas para menores capacidades de carga ou memores padrões geométricos do que as exigidas para o tráfego moderno da atualidade.

*No entanto, entende-se que a **Reabilitação** pode ser mais apropriada para o termo de restaurar a capacidade original, pois “o termo **Reabilitar** vem da Medicina, e define em restauração à normalidade, ou o mais próximo possível dela, de forma e de função alteradas por um tipo de lesão;¹ recuperar, restituir, regenerar,² definido em Aurélio (2004)”.*

*Já para os casos em que há a necessidade de melhorar a geometria ou a capacidade de carregamento seja de uma ponte ou de outra estrutura já existente antiga, prefere-se utilizar o termo **Reforço**.*

No entanto, é importante frisar que antes de reabilitar qualquer tipo de elemento estrutural, que esteja biodeteriorado, algumas providências de preparo devem ser tomadas, a fim de

evitar problemas futuros. O nível de preparo necessário para reabilitações, reforços ou reparos de elementos estruturais varia com o tipo de técnica e com a condição da madeira. “*Quando o defeito ou a perda de resistência no elemento estrutural original é o resultado da biodeterioração, devem ser tomadas medidas para retirar a parte da madeira danificada, impedir as infecções, e prevenir a reincidência do dano. Se as áreas a serem reparadas apresentarem sinais de biodeterioração, o tratamento preservativo in loco, pode ser suficiente para impedir a biodeterioração, desde que a capacidade resistente permaneça no elemento. Quando a biodeterioração visível está presente, uma abordagem mais intensa é a remoção da seção infectada*” (RITTER, 1990)^{p14-23}.

5.2.1 Controle de Umidade

O controle de umidade é o método mais simples, mais econômico de reduzir o risco de biodeterioração por apodrecimento em estruturas de madeira, inclusive em pontes. Ele pode ser usado como uma técnica de manutenção prática e eficaz para prolongar o tempo de Vida útil em serviço de muitas estruturas existentes. Quando a exposição à umidade é reduzida, os elementos podem chegar a um teor de umidade inferior ao necessário para suportar o crescimento da maioria dos fungos e insetos (aproximadamente em 25%) (RITTER, 1990)^{p14-2}. Conforme já comentado o EC 5 define o intervalo de risco compreendido entre 18%-20%. Segundo Ritter (1990)^{p14-2} o controle de umidade era o único método utilizado para proteger muitas estruturas de pontes cobertas construídas de madeira não tratada, algumas das quais proporcionaram Vida útil de 100 anos ou mais. Apesar das estruturas de madeira modernas no Brasil, serem protegidas com tratamentos preservativos, a biodeterioração por apodrecimento ainda pode ocorrer em áreas onde a camada de preservativo é muito superficial ou foi interrompida. Ritter (1990)^{p14-2} ainda descreve que este dano é a principal causa de deterioração em estruturas de pontes de madeira.

O controle de umidade envolve uma abordagem de senso comum na identificação de áreas úmidas visíveis ou com *alto teor de umidade*, em que se deve localizar da fonte geradora de água, e tomar medidas corretivas para eliminá-la. Para os casos das pontes, uma abordagem como alternativa está relacionada ao sistema de drenagem nas estradas, em que as canalizações de coletores de águas pluviais podem ser redirecionadas as para regiões fora de alcance das estruturas da ponte, ao invés de estarem direcionadas próximas ao tabuleiro. As limpezas periódicas de sujeiras e detritos da superfície de tabuleiros de pontes, calhas, drenos, e outros componentes horizontais também reduzem a retenção de umidade e melhora a circulação de ar.

Nas estruturas de pontes, uma das abordagens mais eficazes para o controle de umidade é restringir ou impedir a passagem de água através do tabuleiro. Os tabuleiros impermeáveis à penetração de umidade protegem elementos estruturais críticos e reduzem substancialmente o *Potencial de Risco de Biodeterioração* por apodrecimento. Os tabuleiros de MLC ou laminados protendidos, podem proporcionar a melhor proteção, pois podem ser dispostos de modo a formar uma superfície à impermeável. As infiltrações entre painéis de MLC ou em juntas de topo em tabuleiros laminados protendidos podem ser obstruídas com revestimentos de argamassas betuminosas (RITTER, 1990)^{p14-3}.

Outra alternativa é aplicar no tabuleiro manta geotêxtil e superfície asfáltica, que também desempenha um papel importante na proteção contra a umidade. Superfícies de rodeiros construídas de pranchões de madeira ou chapas de metálicas proporcionam pouca proteção e muitas vezes retém umidade sob os pranchões ou as placas. As pranchas de madeira corridas são um problema particular, pois inibem a drenagem em tabuleiro estanques e muitas vezes causam a formação de poças d'água na superfície de peças do tabuleiro. Quando ocorre a formação de poças d'água, a única opção prática para a sua remoção, consiste em instalar tubos através do tabuleiro, para drenar a água para baixo e longe do tabuleiro, e não direcionados para a parte inferior do tabuleiro e/ou em elementos estruturais de apoio. Nos tabuleiros laminado-pregado, MLC e laminado-protendido são normalmente adequados o uso de superfícies de revestimento asfáltico, no entanto, a utilização de superfícies asfálticas em tabuleiros laminado-pregado pode ser limitada pela condição do tabuleiro. Os tabuleiros laminado-pregado geralmente apresentam diferentes níveis de folga após 5 a 10 anos em serviço sob condições de carregamento pesado. No entanto, sem manutenções periódicas, a pavimentação asfáltica nesses tabuleiros torna-se inútil, pois a separação e a movimentação de delaminações faz com que a pavimentação asfáltica fissure e se desintegre. A melhor abordagem para impermeabilização em um tabuleiro laminado-pregado solto seria aplicar protensão para restaurar a integridade tabuleiro (técnica que será discutido mais adiante neste capítulo), seguido pela aplicação de uma superfície de revestimento asfáltico. Quando isso não for possível, a substituição do tabuleiro geralmente é a única opção (RITTER, 1990)^{p14-4}.

Em pontes de madeira com superfícies de revestimento asfáltico, podem desenvolver fissuras na superfície em serviço a partir de flechas diferenciais no tabuleiro, por ligações inadequadas, ou práticas de construção ineficientes. As deficiências desse tipo devem ser reparadas o mais rápido possível para evitar a deterioração mais grave. As fissuras desse tipo devem ser cuidadosamente limpas com escovas de cerdas rígidas e ar comprimido, e em seguida, preenchidas com emulsão de lama asfáltica ou líquida misturada com areia. Se a

pavimentação asfáltica estiver desintegrada ou removida, a pavimentação envolvente deve ser removida até o ponto em que esteja sólida e firmemente aderida ao tabuleiro, e deve ser aplicada uma correção imediata. Para melhores resultados, a área de reparo deve ser cortada em forma de quadrado ou retangular, com lados verticais, ser cuidadosamente limpa e ser corrigida com uma nivelção densa de pavimentação asfáltica (RITTER, 1990).

5.2.2 Tratamento preservativo *in loco*

Tratar ou preservar a madeira é, em primeira análise, proporcionar o aumento da sua resistência aos organismos biodeterioradores, pela aplicação de preservantes químicos (LELIS et al, 2001). Dessa maneira, cuidados especiais devem ser tomados para garantir a boa execução dos trabalhos recomendados em manutenções periódicas preventivas e/ou em intervenções em manutenções corretivas. Um exemplo são os tratamentos preservativos de madeira realizados de maneira imprecisa. Deixando uma superfície exposta, desprotegida, ou a sucessão inadequada de trabalhos, por exemplo, em perfurações ou entalhes em madeira após ter sido tratada, resultam em superfícies de madeira não tratadas, que ficam expostas, favorecendo ao ataque de agentes bióticos. Falhas como essas, dificilmente favorecem a melhoria quanto à durabilidade da estrutura de madeira [(RITTER; MORRELL, 1990); (UZIELLI, 1995)].

Por essa razão, os tratamentos *in loco* devem envolver em aplicações de produtos químicos de preservativos para prevenir ou impedir biodeterioração dos elementos estruturais existentes. Normalmente são utilizados dois tipos de tratamento: tratamentos de superfície e fumigantes. Os tratamentos de superfície são aplicados para impedir a infecção na madeira exposta, enquanto que os fumigantes são utilizados para tratar a biodeterioração interna [(RITTER, 1990)^{p14-5}; (LELIS et al, 2001)^{p41}; (PRIETO et al, 2008)^{p46}]. O tratamento *in loco* pode fornecer um método seguro, eficaz e econômico para prolongar a Vida útil em serviço de elementos estruturais de madeira, inclusive de pontes. A maioria das técnicas de tratamentos preservativos foram desenvolvidas para uso em dormentes de vias férreas e postes de utilidades de eletrificação e telefonia, que vem sendo utilizadas eficazmente durante vários anos. Ritter (1990)^{p14-5} descreve que um grande número de estruturas de pontes de madeira tratadas *in loco*, ampliaram a Vida útil em mais de 20 anos de serviço.

5.2.3 Tratamentos de superfície

Os tratamentos de superfície são aplicados aos elementos estruturais existentes, para proteger a biodeterioração na madeira tratada recém-exposta ou para complementar o

tratamento inicial, alguns anos após a instalação. Este tipo de tratamento é mais eficaz quando se aplicada antes do início da biodeterioração e é comumente usado para o tratamento em fendas, fendilamentos, rachas, delaminações, danos mecânicos, em pontos localizados de furos ou cortes que foram fabricadas em campo durante a construção, manutenção ou reabilitação. A facilidade de aplicação e eficácia dos tratamentos de superfície como barreiras tóxicas, tornam-nos úteis nas manutenções preventivas, no entanto, a sua eficácia contra a biodeterioração interna estabelecida se limita na penetração superficial (RITTER, 1990)^{p14-5}.

Os preservativos líquidos convencionais de madeira podem ser aplicados com pincelamento, injeção ou pulverização na superfície da madeira. Ritter (1990)^{p14-6} descreve que o óleo de creosoto aquecido em 150°F a 200°F (65,6°C a 93,6°C) é provavelmente o preservativo mais comumente utilizado nos Estados Unidos, mas o penta e naftenato de cobre são também utilizados. O uso de óleo de creosoto no Brasil está vetado por órgãos ambientais. Para garantia da eficiência, a superfície de madeira deve estar completamente saturada com preservativo para que todas as fendas e rachas sejam tratadas, no entanto, devem ser tomados cuidados especiais para evitar que quantidades excessivas se derramem ou escorram fora da superfície, a fim de prevenir a contaminação do solo ou da água.

Além de líquidos preservativos, alguns compostos preservantes estão disponíveis em graxas semi-sólidas ou pastosas. Esses preservativos, que utilizam geralmente o *fluoreto de sódio*, o *creosoto (atualmente uso do creosoto está proibido no BRASIL)*, ou *pentaclorofenol* como preservativo químico primário, são úteis para os tratamentos de superfícies verticais ou aberturas. A sua principal vantagem é que em maiores quantidades de produtos químicos tóxicos podem ser aplicados localmente em revestimentos pesados que aderem à madeira. A adsorção do preservativo durante um período prolongado de tempo pode produzir uma penetração mais profunda do que aplicações únicas de tratamentos líquidos de superfície. Os preservativos semi-sólidos são comumente utilizados no nível de interface na linha de afloramento do solo em de estacas, colunas, pilares e postes, onde as superfícies da madeira devem ser escovadas, em um trecho ente 18” a 24” polegadas (45,7 cm a 60,9 cm), acima e abaixo do nível do solo. Após o preservativo ser aplicado, na área tratada deve ser envolvido com uma camada de manta de polietileno, ou outro material impermeável, a fim de impermeabilizar contra a umidade e evitar a lixiviação do tratamento para o solo circundante (RITTER, 1990)^{p14-6}.

A eficiência dos tratamentos de superfície depende da profundidade de aplicação, espécies de madeira, dimensões e Teor de umidade no momento do tratamento. A madeira com água retida absorve menos preservativo do que a madeira seca. Esse é um fator importante à ser

observado em casos de pontes de madeira, pois muitas áreas que necessitam de tratamento estão susceptíveis à retenção de água [(CLARK; ESLYN, 1977) apud (RITTER, 1990)]. Embora certos pesquisadores descrevam que os tratamentos de superfície em locais acima do solo possam prevenir infecções de biodeterioração entre 20 a 35 anos ou mais, Ritter (1990) recomenda que os tratamentos usados para aplicações em elementos estruturais para pontes sejam sistematicamente reaplicados em intervalos de 3 a 5 anos para assegurar uma proteção adequada da biodeterioração. Na atualidade, o tratamento de superfície recomendado são as aplicações de pinturas fungicidas hidrorrepelentes tipo Stain, que também tem a função de acabamento final.

5.2.4 Fumigantes

Os fumigantes são preservativos químicos especializados em forma líquida ou sólida que são inseridos em furos pré-perfurados para deter a deterioração interna. Durante um período de tempo, os fumigantes volatilizam em gases tóxicos que se movem através da madeira, eliminando fungos apodrecedores e insetos. Os fumigantes podem difundir na direção das fibras da madeira por 8 pés (244 cm) ou mais, do ponto de aplicação em elementos verticais, como postes, colunas e estacas. Em elementos horizontais, a distância de movimento é aproximadamente entre 2 a 4 pés (61 cm a 122 cm) a partir do ponto de aplicação. Os três produtos químicos mais usados como fumigantes líquidos são Vapam (33% de N-metilditiocarbamato de sódio), Vorlex (20% de methylisothiocyanate, 80% de hidrocarbonetos clorados C3), e cloropicrina (nitrometano-tricloro). Os fumigantes sólidos estão disponíveis em cápsulas de methylisothiocyanate (MIT), que é o ingrediente ativo do Vapam e Vorlex (RITTER, 1990)¹⁴⁻⁸. No Brasil o fornecedor desses tipos de preservantes sólidos é a empresa PRESCHEM (2012).

Para maior eficiência, os fumigantes devem ser aplicados na madeira sã. Quando aplicado em madeira muito porosa ou próxima à superfície, parte do fumigante pode ser perdida por difusão para a atmosfera. Antes da aplicação de fumigantes, a condição do elemento deve ser cuidadosamente avaliada para identificar se o furo padrão não está próximo aos conectores em ligações, evitando fendilamentos, ou se a madeira não está excessivamente biodeteriorada, além de outras aberturas que possam favorecer a condensação para a atmosfera. Em elementos verticais, tais como estacas, e colunas, os orifícios devem ser furados em um ângulo agudo de queda em direção ao centro do elemento a fim de evitar fendilamentos cruzados. É melhor começar com furo quase perpendicular ao elemento, e rapidamente elevar a broca para um ângulo de 45° a 60° graus, uma vez que a pouca pega na madeira. Para os

elementos horizontais, os orifícios são furados em pares internamente em linha reta para dentro de 1-1/2 a 2 polegadas (3,8 cm a 5 cm) até acima da face inferior. Se estiverem presentes grandes fendilhamentos em elementos horizontais, as perfurações devem ser furadas em cada lado da fenda para proteger completamente a madeira, Figura 5.3. A quantidade de produto químico as dimensões e o número de furos de tratamentos dependem do tamanho e orientação do elemento estrutural. Para os elementos horizontais, os pares de orifícios não devem estar distanciados superiores a 4 pés (10 cm). No entanto, informações adicionais sobre dosagens e recomendações para o uso de fumigantes devem ser obtidos a partir de fabricantes dos produtos químicos.

Quando são utilizados fumigantes sólidos, esses são inseridos diretamente nos orifícios pré-perfurados [(HIGHLEY; SCHEFFER, 1989)^{p25}; (RITTER, 1990)^{p14-10}]. Os fumigantes líquidos são aplicados usando equipamentos específicos. Caso sejam observados vazamentos durante a aplicação de fumigantes líquidos, é importante parar o processo de enchimento, e tampar o orifício, e deve ser feito outro furo na madeira sã. Imediatamente após a colocação dos produtos químicos, o orifício deve ser tampado com uma cavilha de madeira tratada, apertada introduzida lentamente para evitar fendilhar a madeira. Para fumigantes líquida, o espaço suficiente entre 1,5 a 2 polegadas (3,8cm a 5 cm) deve ser deixado no orifício de tratamento de modo que a cavilha possa ser acionada, sem esguichar o produto químico.

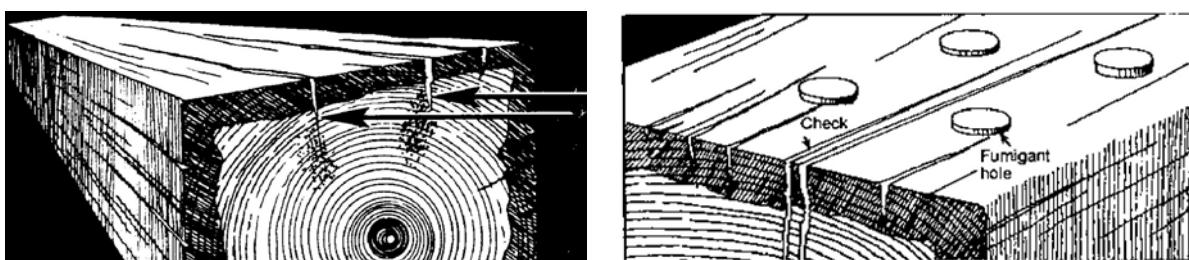


Figura 5.3. . Furos para tratamento de com fumigantes sólido em elementos horizontais deve ser colocado em ambos os lados de fendilhados, fendas ou rachas, e ser furado para dentro de 1-1/2 a 2 polegadas da parte inferior do elemento, HIGHLEY e SCHEFFER (1989)^{p25}; RITTER (1990)^{p14-10}.

No entanto, quando os fumigantes difundem para fora da madeira, favorecem que os fungos apodrecedores recolonizem. Em madeiras maciças tratadas adequadamente, Vorlex e chloropicrin permanecerão em eficazes em períodos entre 10 a 15 anos, enquanto o Vapam é um pouco menos eficaz. Esses períodos serão reduzidos quando na madeira possuem muitos furos de ligações, fendilhamentos, fendas, fibras de extremidade, e outras situações em que o produto químico é susceptível a difundir para a atmosfera. O retratamento pode ser feito durante intervalos periódicos durante nos mesmos furos utilizados no tratamento inicial. O

bastonete fumigante antigo pode ser perfurado ou puxado, para inserir um novo bastonete, e o furo deve ser tampado com uma cavilha de madeira nova tratada. Segundo Ritter (1990)^{p14-12} os ciclos retratamento são melhores definidos, recomendando-se que um ciclo de tratamento de 10 anos seja usado com um programa de inspeção regular em intervalos de 5 anos. Quando as inspeções indicam a presença de biodeterioração ativa, os efeitos nas cavilhas protetoras dos tampões do fumigante caem abaixo de um limiar tóxico, e é necessário um retratamento. É importante manter registros precisos de todos os locais de tratamento, incluindo a data e local da aplicação, o tipo de produto químico, e a dosagem. É conveniente também a colocação de etiquetas de registro em chapas metálicas sobre o elemento, com anotações das informações do tratamento, no entanto, essas marcas podem ser roubadas ou passar por vandalismo e não deve ser o único meio de registro de informação do tratamento (RITTER, 1990)^{p14-12}.

5.2.5 Precauções ambientais com uso de produtos químicos *in loco*

Tal como acontece com outros pesticidas, os preservativos madeira e fumigantes para tratamento *in loco* são tóxicos para os seres humanos e devem ser utilizadas em conformidade com as leis de instituições estaduais e/ou federais. Segundo Ritter (1990)^{p14-13}, quando aplicados corretamente, os tratamentos não representam risco ambiental ou à saúde humana, no entanto, o potencial de dano ambiental pode ser maior em certos locais de campo em função das condições variáveis e da proximidade com córregos e outras nascentes de água. Dessa forma, *os tratamentos in loco devem ser aplicados somente por profissionais treinados e de empresas licenciadas que dominem completamente seu uso e das garantias de seguranças exigidas.*

Observa-se que esta pesquisa relata determinados produtos químicos tóxicos. Nela não contém recomendações para o seu uso, nem implica que os usos discutidos são registrados em órgãos regulamentadores Estaduais/Federais, pois para que pesticidas e/ou produtos químicos apropriados possam ser utilizados, esses devem ser registrados por órgãos Estaduais e/ou Federais competentes. O uso de nomes de produtos ou empresas nesta publicação é para informação do leitor e não implica o endosso pelo pesquisador de qualquer produto ou serviço.

5.3 Técnicas de reabilitação, reforço ou substituição

No Brasil, muito pouco se tem pesquisado a respeito das técnicas de reabilitações e reforços de elementos estruturais de madeira, e pretende-se apresentar as principais técnicas realizadas em diversos países. Nas *Fichas Técnicas* do APÊNDICE B estão apresentadas de maneira sistematizada e concisa, as principais técnicas de reabilitações e/ou reforços, abordados por renomados pesquisadores internacionais, de estruturas de madeira, no intuito de fornecer subsídios para projetos de intervenções em reabilitações de elementos estruturais de madeira, engenheiros e arquitetos especialistas em estruturas de madeira.

5.3.1 Técnicas de reabilitações e reforços por meio de ligações tradicionais

As técnicas tradicionais de reabilitação e/ou reforço, geralmente utilizam componentes de fixação metálicos e/ou elementos adicionais de madeira para reforçar ou enrijecer os elementos estruturais.

As reabilitações de segmentos biodeteriorados ou danificados, podem ser emendadas e/ou substituídas por novas peças de madeira ou metálicas, conectadas por meio de técnicas de ligações tradicionais no exterior (Figura 5.4) [(RITTER, 1990)^{p14-13}; (UZIELLI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002); (CÓIAS, 2007); (LOPES, 2007); (COSTA et al, 2007) *apud* (DIAS, 2008); (REIS et al, 2008); (SAMPAIO da COSTA, 2009)]. No entanto, a resistência original raramente pode ser totalmente recuperada (UZIELLI, 1995). Nesses casos são utilizados apenas os métodos e materiais tradicionais, e geralmente a aparência estética e autenticidade dos materiais originais podem ser perdidas.

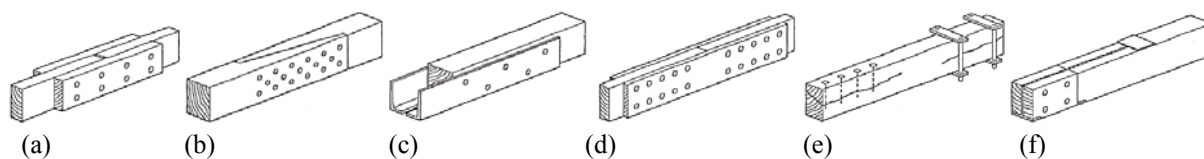


Figura 5.4. Principais tipos de técnicas de reabilitação de reforços em emendas e/ou substituições de segmentos ineficientes de elementos estruturais originais por meio de ligações tradicionais: a) emenda ou reforço com cobrejuntas externas de madeira, parafusadas; b) ligação de emenda tipo bisel; c) emenda com cantoneiras metálicas parafusadas; d) emenda com cobrejuntas com chapas metálicas externas, parafusadas; e) reforço de costura ao cisalhamento, de fendas longitudinais, com pregos ou grampos metálicos; f) emenda com chapa metálica interna, UZIELLI (1995).

5.3.1.1 Reabilitação ou reforços com cobrejuntas

Ritter (1990)^{p14-15} denomina a técnica de reabilitação com cobrejuntas externas, em técnica de aumento da geometria do elemento, que envolve a adição de material para reforçar ou

enrijecer os elementos estruturais existentes. As peças adicionais, geralmente de madeira ou chapas metálicas unidas com parafusos, servem para aumentar a seção efetiva e, conseqüentemente aumento de inércia e de capacidade de carregamento. As duas técnicas mais utilizadas em reabilitação com cobrejuntas, recomendados por Ritter (1990)^{p14-15} são as reabilitações de emendas com cobrejuntas pontuais [ingl.: splicing] em trechos pontuais específicos [(RITTER, 1990)^{p14-15}; (UZIELLI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002); (CÓIAS, 2007); (LOPES, 2007); (COSTA et al, 2007) *apud* (DIAS, 2008); (REIS et al, 2008); (SAMPAIO da COSTA, 2009)], e as reabilitações ou reforços com aumento de inércia com adição de cobrejuntas paralelas [ingl.: scabbing] (RITTER, 1990)^{p14-15}. Essa última é semelhante às técnicas que estão apresentadas no próximo item. Embora a distinção entre as duas seja bastante vaga, a técnica de reabilitação de emenda com cobrejuntas pontuais aplica-se geralmente em locais definidos onde é restaurada a transferência de carregamento em um ponto de ruptura, em fendas, ou outros danos pontuais (Figura 5.5A). Já a técnica de reabilitação ou reforços com aumento de inércia com adição de cobrejuntas paralelas, está mais associada com enrijecimento de elementos estruturais, onde a capacidade resistente é insuficiente e pode envolver a adição de peças de reforço sobre uma parte substancial, ou mesmo ao longo de todo comprimento do elemento (Figura 5.5B). Em ambos os casos, é necessária uma análise estrutural completa para assegurar a capacidade resistente do reforço e para verificar a distribuição de tensões nos elementos estruturais. No entanto, devem ser evitadas situações que apresentam cargas excêntricas ou tensões perpendiculares às fibras. Quando se utilizam cobrejuntas pontuais, recomenda-se que o elemento deteriorado seja completamente cortado de maneira mais simetricamente possível, de tal forma que a redistribuição das cargas seja transmitida para as placas das cobrejuntas. Nessas técnicas, em certos casos, a aparência estética original pode ser perdida.

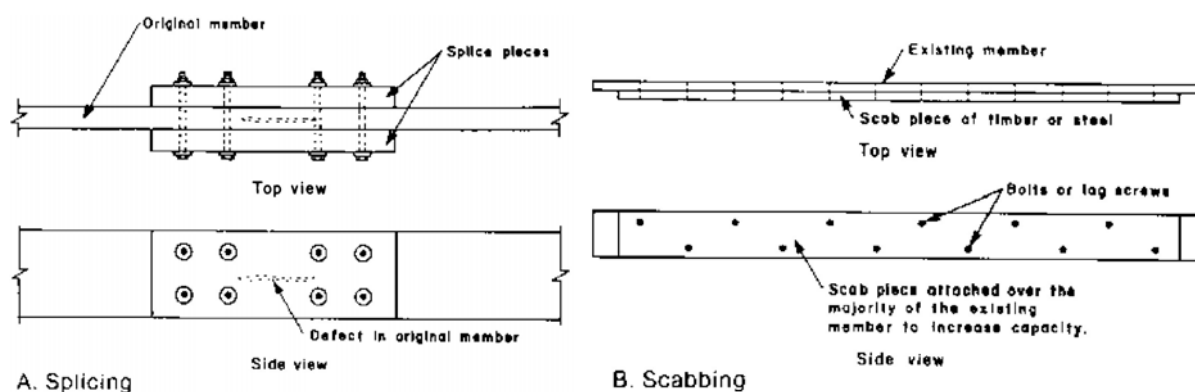


Figura 5.5. Reabilitação ou reforço com cobrejuntas: A) cobrejuntas pontuais; B) aumento de inércia com cobrejuntas paralelas, dispostas ao longo do comprimento da peça original. Fonte: RITTER (1990)^{p14-15}

5.3.1.2 Reabilitações ou reforços com aumento de inércia com adição de peças

A seção transversal de um elemento estrutural de madeira pode ser aumentada pela adição de peças de reforço com placas de madeira, vigas metálicas, entre outras, fixadas através de adesivos, pregos, parafusos, etc. (Figura 5.6) [(UZIELLI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002); (RODRIGUES, 2004); (GOMEZ, 2007); (LOPES, 2007); (DIAS, 2008); (SAMPAIO da COSTA, 2009)]. Nas fichas técnicas do APÊNDICE B, estão apresentados diversos exemplos com essa técnica. No entanto, nessas técnicas a aparência estética original geralmente é perdida.

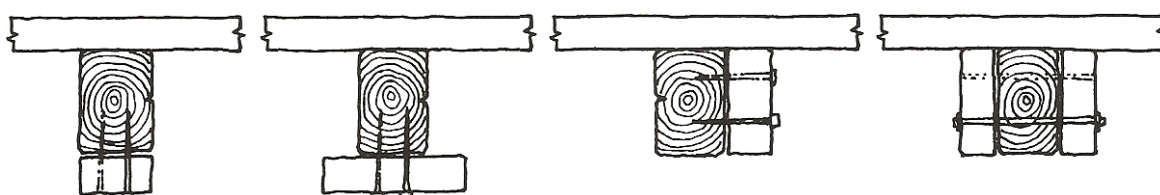


Figura 5.6. Técnicas de Reabilitações ou reforços com aumento de inércia com adição de peças, geralmente dispostas ao longo do comprimento das originais. Fonte: ARRIAGA et al (2002)

Uzielli (1995) faz a observação importante de casos de reabilitação cujo reforço em um determinado elemento estrutural que utilizem simultaneamente mais de uma técnica de ligação, por exemplo, pregos com adesivos, ou parafusos com adesivos, a intensidade das duas ligações distintas não serão adicionais, pois a ligação mais rígida, tais como o adesivo absorverá mais carregamento, e só em caso de falha do adesivo, a ligação mais dúctil irá adquirir importância, e por isso é apropriado adicionar pregos ou parafusos para suprir casos de falhas dos adesivos, caso o reforço não seja devidamente projetado para suportar todo o carregamento previsto. No entanto, os pregos ou parafusos podem ser de grande utilidade na contribuição em estado de tensão, em manter os elementos na posição enquanto ocorre a cura do adesivo.

5.3.1.3 Reabilitação com costuras de fendas longitudinais ou delaminações

Como já comentado, um problema típico associado com elementos de madeira são os desenvolvimentos de fendilhados longitudinais de extremidade [ingl.: splits]. Esses fendilhados geralmente se desenvolvem *in loco* como fendilhamentos e fendas em elementos estruturais madeira serrada. Os fendilhados também podem se desenvolver, em menor grau, em MLC em casos de delaminações nas linhas de cola, embora na atualidade, com a introdução de colas à prova de água, este dano é mais raro. Em ambos os elementos de madeira serrada e MLC, os fendilhamentos também pode desenvolver a partir de sobrecargas

ou detalhes de projetos estruturais ineficientes de ligações, que introduzem tensões perpendiculares às fibras. Quando o fendilhamento é detectado, deve ser determinado se os fendilhamentos são o resultado de defeitos naturais de secagem [ingl.: normal seasoning] ou o resultado de um dano estrutural mais grave (RITTER, 1990)^{p14-14}.

As técnicas de travamento [ingl.: clamping] e costura [ingl.: stitching] são métodos de manutenção em reforço que utilizam parafusos e abraçadeiras metálicas para costurar e travar fendas, rachas ou delaminações em elementos estruturais de madeira, Figura 5.4e. Esses métodos são mais comumente usados para edificações, mas também se aplicam a alguns componentes de pontes, particularmente em elementos de treliças ou outras estruturas com um elevado número de elementos estruturais de menores dimensões ou conexões fixas. O objetivo principal não é fechar as fendas ou as delaminações, mas sim para evitar o seu desenvolvimento, aproximando as duas partes juntamente (RITTER, 1990)^{p14-14}. O travamento geralmente utiliza parafusos passantes, com arruelas e porcas e abraçadeiras com chapas metálicas. Enquanto o método da costura utiliza parafusos passantes, com arruelas e porcas ou parafusos de rosca soberba, fixados através do elemento estrutural (Figura 5.4e) [(JOHNSON, 1980); (RITTER, 1990)^{p14-14}; (UZIELLI, 1995); (PFEIL, 2003); (CÓIAS, 2007); (LOPES, 2007); (DIAS, 2008); (REIS et al, 2008); (MACHADO et al, 2009); (PALMA; CUSTÓDIO, 2009)]. Embora ambos os métodos tenham sido utilizados de forma eficaz, o método de travamento com parafusos e chapas metálicas, geralmente é mais aconselhado, para que a seção transversal do elemento que não seja reduzida. *“Além dos requisitos normativos de concepção de projeto e cálculo para ligações, não existem critérios normativos específicos de concepção para o projeto e cálculo de travamento e costura, e a configuração da quantidade e dimensões dos parafusos, tem sido baseada no julgamento do projetista com base particular de cada caso”* (RITTER, 1990)^{p14-14}. *“Essa foi a principal razão da motivação do Autor na proposta de técnica de reabilitação com costura de fendas longitudinais em vigas MLC, com parafusos auto-atarraxantes, auto perfurantes HBS da Rothoblaas, conforme serão apresentados em tese os modelos analíticos e os ensaios experimentais, como parte da originalidade dessa pesquisa”*.

Segundo Ritter (1990)^{p14-14}, os pontos de costura dos parafusos [ingl.: stitch bolts] quando utilizados na extremidade de uma peça, devem ser dispostos a partir da extremidade entre 2” e 3” (5 cm e 7,5 cm), e são recomendados uso de parafusos de pequenos diâmetros entre 3/8” ou 1/2” (10 mm ou 12,7 mm). No entanto, os espaçamentos, podem se definidos conforme as recomendações normativas da NBR 7190. Normalmente, quando uma seção transversal é furada na região de tensão crítica de um elemento, a área da seção transversal removida da

madeira, na área do ponto de costura do parafuso não deve exceder a área da seção transversal máxima permitida que seria ocupada por um nó, conforme critérios de classificações de nós para nível de projeto. Na execução dos pontos de costuras dos parafusos, os mesmos devem ser apertados apenas até o ponto em que os parafusos começam a comprimir a madeira. Em reabilitação de estruturas de madeira, os pontos de costuras dos parafusos de devem ser bem apertados, assim como os demais parafusos. No entanto, nenhuma tentativa deve ser feita para unir uma fenda ou racha quando exista a possibilidade do fendilhamento estender-se até uma ligação existente.

5.3.2 Sistema de reabilitação de tabuleiro laminado pregado com sistema laminado-protendido

Segundo Ritter (1990)^{p14-17} a técnica de reabilitação com sistema laminado-protendido é provavelmente o método mais eficiente para a reabilitação de tabuleiros laminado-pregado. Tais tabuleiros frequentemente ocorrem o efeito de delaminação e separação das peças de madeira, em função da fadiga, decorrentes de cargas dinâmicas repetitivas, causando rompimentos de superfície do revestimento asfáltico, e favorecendo infiltrações de águas pluviais pelo tabuleiro, além de uma perda na largura útil na distribuição de carregamento. Nesses casos, a resistência estática da condição do tabuleiro é geralmente mantida, mas a sua utilização e a capacidade de distribuição uniforme de carregamentos entre as lâminas individuais é consideravelmente reduzida. Nessa situação, as laminações já não atuam em conjunto para distribuir os carregamentos, e ocorrem falhas localizadas. Esta condição também aumenta a taxa de biodeterioração, o que leva a falhas que necessitam de substituição completa do tabuleiro. O sistema de reabilitação laminado-protendido para tabuleiro laminado-pregado existente foi originalmente desenvolvido em 1976 pelo Ministério de Transportes e Comunicações, em Ontário, Canadá. Ritter (1990)^{p14-17} descreve que desde então, essa técnica tem sido utilizada com sucesso para reabilitar a integridade de tabuleiros laminados-pregados existentes, num número considerável de pontes no Canadá e nos Estados Unidos. Diante dessa abordagem, a qual utiliza os mesmos critérios de concepção de tabuleiro laminado-protendido discutido em Ritter (1990) e em Calil et al (2006), as lâminas são alinhadas com uma série de barras de protensão de aço alta resistência, inseridas transversalmente ao comprimento das lâminas. A protensão comprime as lâminas em conjunto e aumentam as características de distribuição de carregamento do tabuleiro. Além disso, como as lâminas são pressionadas em conjunto, a protensão sela do tabuleiro, proporcionando uma superfície impermeável de proteção.

No entanto a reabilitação com sistema laminado-protendido em tabuleiro laminado-pregado existente, se difere na concepção do sistema de uma nova construção de tabuleiro laminado-protendido, pois as barras de protensão são posicionadas nas faces externas das lâminas, ao invés de serem inseridas em furos internamente nas lâminas (Figura 5.7). Isso permite a que operação de protensão, seja executada *in loco* sem necessidade de remover o tabuleiro e sem a necessidade de processos dispendiosos de fabricação, além de que ainda pode ser liberado o tráfego na ponte durante o processo de manutenção. No entanto, geralmente é necessário adicionar lâminas no tabuleiro antes a atuação da protensão, pois a força de compressão na barra de protensão comprime às lâminas em conjunto, geralmente, reduzindo a largura do tabuleiro existente em 10” (25 cm ou mais, dependendo da largura original). O sistema de reabilitação laminado-protendido fornece uma boa solução a longo prazo para a reabilitação de tabuleiro laminado-pregado existente, além de aumentar a capacidade de carregamento substancialmente e prolongar a Vida útil em serviço da estrutura.

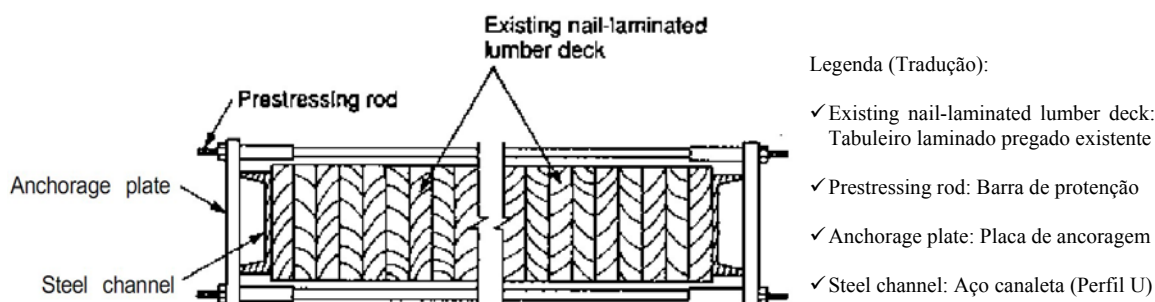


Figura 5.7. Configuração típica de barras de protensão e placas de ancoragem para sistema de reabilitação laminado-protendido em reabilitação de tabuleiros de madeira laminada-pregada. Fonte: RITTER (1990)^{p14-17}.

5.3.3 Reabilitações ou Reforços com encamisamentos de estacas com graute ou concreto armado

O concreto armado também pode ser utilizado para reforçar seções de estacas de madeira deterioradas, pela técnica de encamisamento (Figura 5.8) [(RITTER, 1990)^{p14-16}; (ARRIAGA et al, 2002); (GRAHAM, 2005)]. No uso desse procedimento, a estaca é envolvida com uma fôrma, tipo de encamisamento plástico, reforçado com fibra ou tecido que se adapta na estaca como uma luva, de maneira a proporcionar o efeito de confinamento. Também é confeccionado um encamisamento com barras aço ao redor da estaca, e a fôrma é preenchida internamente com concreto ou graute. O aumento da seção de concreto armado na estaca, além de ser um incremento de resistência, impede a continuação da degradação, no entanto esse método aumenta a dimensão da seção transversal da estaca, e podem ser necessários equipamentos especializados para o processo de execução (RITTER, 1990)^{p14-16}.

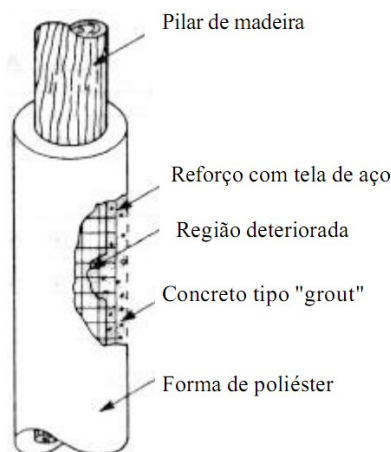


Figura 5.8. Reforço de estacas ou colunas com encamisamento de concreto ou graute, RITTER (1990)^{p14-16}.

5.3.4 Reforço com barras ou cabos de aço atirantado

Os tirantes de barras ou cabos de aço, equipados com esticadores ou outros dispositivos (Figuras 5.9 e 5.10), podem ser utilizados a fim de contribuir com a resistência e rigidez de elementos estruturais individuais ou treliças, por meio de esticadores, ou a tensão pode ser ajustada nas vigas com protensão ou ainda apenas para controlar desvios excessivos [(LOMBARDO et al, 1997); (MARRIDI et al, 1989) apud (UZIELLI, 1995); (TAMPONE et al, 1989); (UZIELLI, 1995); (ALFONZO et al, 1995); (ARRIAGA et al, 2002); (RODRIGUES, 2004); (PAIVA et al, 2006); (GÓMEZ, 2007); (LOPES, 2008); (MORAES, 2009)].

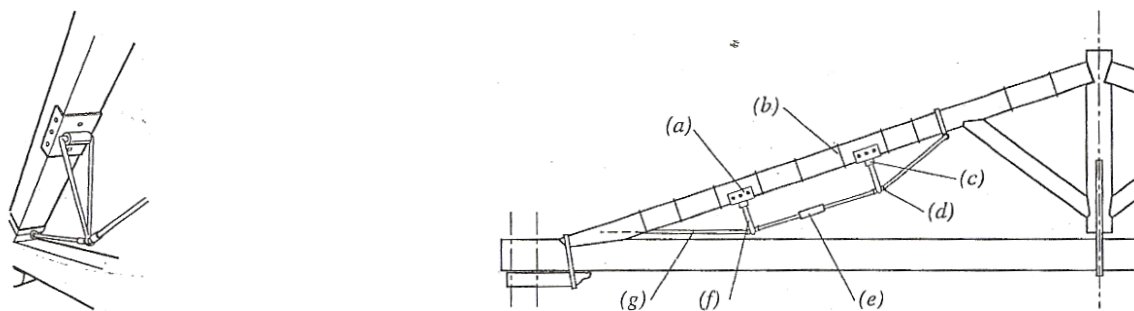


Figura 5.9. Reforços com tirantes em elementos estruturais individuais: (a) placa de base para suporte, (b) estribos colarinho de aço (c) dobradiça cilíndrica, (d) fixadores, (e) tensor (esticador); (f) suporte, (g), cabo de aço; à esquerda: perspectiva vista em detalhe. Fontes: TAMPONE et al (1989) apud UZIELLI (1995)^{pD4-7}

No entanto, nesses sistemas podem ser necessárias manutenções com ajustamentos periódicos ou inserção de elementos elásticos para compensar as deformações por efeito de retração e inchamento causados por variações no *teor de umidade* na madeira [(CECCOTTI; MARRADI, 1993) apud (UZIELLI, 1995)]. A concepção estrutural de treliças pode ser significativamente modificada.

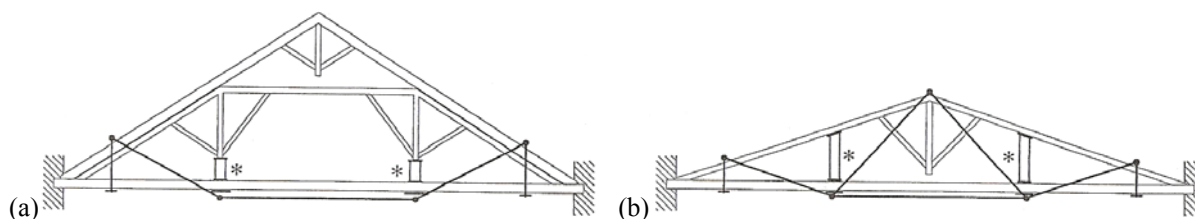


Figura 5.10. Exemplos de tirantes em dois tipos de treliças. Os elementos internos marcados com * são adicionados no conjunto com os tirantes, modificando significativamente a concepção estrutural, conseqüentemente podem ocorrer inversões de esforços. Fontes: MARRADI, MESSINA e PAOLINI (1989) apud UZIELLI (1995)^{pD4-7}

5.3.5 Evolução das técnicas de reabilitações com adesivos e resinas

O adesivo é definido como a substância capaz de unir materiais através do contato entre suas superfícies. No entanto, a capacidade de unir materiais não é uma propriedade intrínseca, pois depende do contexto em que a substância será utilizada. Para escolha adequada do melhor adesivo a ser utilizado em compatibilização com o tipo de fibra no desenvolvimento de compósitos de melhor desempenho versus custo benefício na aplicação em conjunto madeira-fibra, é determinante conhecer os tipos comerciais existentes e sua classificação. Os adesivos são classificados em vários tipos, e de acordo com sua composição química podem ser divididos em inorgânicos ou orgânicos (FIORELLI, 2002).

Os *adesivos inorgânicos* são geralmente à base de silicatos, e proporcionam uma ligação de elevada resistência mecânica entre os materiais, ficando difícil diferenciar o adesivo e o cimento. Nos adesivos a ligação se dá pela desidratação do solvente. O cimento, no entanto, é formado através de reações químicas (CARRASCO, 1984).

Os adesivos orgânicos, no entanto, destacam-se por serem mais recomendados para utilização em madeira. Esses adesivos dividem-se em dois grupos, o primeiro de origem natural e o segundo de origem sintética (OLMOS, 1992). Dentre os de origem natural destacam-se os de origem animal, amido, caseína e albumina de proteína vegetal. No entanto, o grupo sintético tem sido o mais empregado e mais importante pela indústria madeireira, por apresentar maior durabilidade pela ação da água e por não sofrerem à ação de biodeterioração por microrganismos. Esses adesivos são ainda classificados em Termoplásticos e Termofixos:

- Os **Termoplásticos** possuem a característica principal dos adesivos com sua cura reversível. Podem ser fundidos ou amolecidos quando é aumentada a temperatura, tornando-a a solidificar ao serem resfriados. São usados como solução ou em dispersão em água. O grupo dos acetatos sintéticos polivinílicos, que são adesivos pré-polimerizados, é empregado em colagem de madeira onde a cura é feita por perda do solvente dispersante. Tem Vida útil muito longa devido à alta estabilidade química e física da dispersão. Com grande resistência à ação de microrganismos, não mancham a madeira. São facilmente

manuseados, apresentando propriedades de contato e exigindo pouca pressão de prensagem (FIORELLI, 2002). Porém não devem ser aplicados em construções pesadas, onde a resistência das juntas deve ser alta e em peças coladas de construções expostas ao intemperismo (HENRIQUES DE JESUS, 2000). Os adesivos que se enquadram neste grupo são: adesivos animais, albumina de sangue, caseína, soja, tanino. Dentre estes os que apresentam melhores características para fins estruturais são os de caseína e tanino, porém reforça-se que não são resistentes a ambientes agressivos.

- Os **Termofixos** são os que endurecem por meio de reações químicas ativas pela temperatura ou catalizadores. Possuem elevada resistência à umidade e calor. Dentre eles destacam-se: resorcinol-formaldeído, fenol-formaldeído, ureia-formaldeído, poliuretanos e epóxi (FIORELLI, 2002).

No entanto, os adesivos epóxi e poliéster estão dentre os mais utilizados em compósitos FRPs para reforços de elementos estruturais de madeira, destacando-se principalmente os adesivos epóxi [(FIORELLI et al, 2000); (FIORELLI, 2002); (MIOTTO, 2009)].

5.3.5.1 Adesivos epóxi

Os adesivos epóxi consistem em bases de resinas e agentes químicos de endurecimento, que são misturados em conjunto numa forma de líquida, gel ou pasta. Quando misturado, o epóxi com o composto endurecedor (catalizador) para formar um material sólido, durável, proporciona um elevado nível de aderência à maioria de superfícies limpas. Os adesivos epóxis foram originalmente desenvolvidos pelas indústrias de tintas e aeronaves em 1950 e têm sido amplamente utilizados para reparar fissuras em concreto desde 1960. Diversos pesquisadores relatam que a primeira estrutura de madeira em que foi empregado o sistema de colagem com adesivo estrutural, foi a do *Avião Mosquito* (Figura 5.11), fabricado para a II Guerra Mundial (NEGRÃO, 2014). O primeiro estudo relatado no uso de epóxi para reparo de madeira foi apresentado por Avent et al (1976) apud Ritter (1990). Desde aquele tempo têm existido esforços consideráveis em pesquisas para desenvolver critérios de projeto e avaliar a eficácia das reabilitações e/ou reforços com adesivos epóxi em elementos estruturais de madeira. Embora ainda não existam normas ou especificações com critérios de projeto ou tensões admissíveis, para técnicas de reabilitação com adesivos epóxi, essas técnicas foram utilizadas com sucesso em pontes de madeira (alguns desde o início dos anos 1960) (RITTER, 1990)^{p14-18}. Recentemente têm sido estudadas diversas linhas de pesquisas em técnicas de reabilitações de estruturas, com adesivos epóxi e fibras de carbono.



Figura 5.11. Avião Mosquito: primeira estrutura de madeira a ser produzida com peças coladas com adesivos estruturais. Fonte: WARBIRD-NEWS (2014)

O adesivo epóxi tem sido utilizado para reabilitação de elementos de madeira como um agente de ligação (adesivo) e/ou grauteamento (preenchimentos em reabilitações estruturais e semiestruturais). Industrialmente é injetado sob pressão, mas também pode ser aplicado manualmente na forma de gel. O adesivo epóxi é mais eficaz quando utilizado como uma matriz de colagem para proporcionar resistência ao cisalhamento entre os elementos para reabilitações e/ou reforços estruturais em locais secos. Segundo Ritter (1990)^{p14-18}, em reparos semiestruturais, é utilizado para encher os vazios ou reparar superfícies de apoio. Avent (1985) apud Ritter (1990)^{p14-18} descrevem seis tipos básicos de sistemas epóxi para reparos estruturais (Tipo A), e reparos semiestruturais (Tipo B), como se segue:

Tipo A-1. Injeção de epóxi em fendas e rachas de elementos em ligações de treliça.

Tipo A-2. Injeção de epóxi e reforço de madeira biodeteriorada por apodrecimento.

Tipo A-3. Injeção de epóxi em fendilhamentos de elementos e colagens de cobrejuntas [ingl.: Splicing].

Tipo A-4. Injeção de epóxi em delaminações em vigas MLC.

Tipo B-1. Injeção de epóxi em fendas longitudinais e fendilhamentos em elementos de treliças fora das proximidades de ligações articuladas.

Tipo B-2. Reparos com gel epóxi em superfícies de entalhes.

Para aplicações em estruturas de pontes, os reparos, reabilitações e/ou reforços com epóxi podem ser utilizados como grauteamento [ingl.: grouting], em reabilitação de emenda e reabilitação estacas de madeira, por exemplo (RITTER, 1990)^{p14-18}.

Os procedimentos para a utilização de epóxi variam com o tipo e extensão da recuperação. Em geral, os procedimentos básicos para a injeção de epóxi podem ser resumidamente divididos em quatro etapas: preparação do elemento, preparação de furos ou cortes, selagem de conectores, a injeção de epóxi, e acabamento (RITTER, 1990)^{p14-23}. Tal como acontece com todos os tipos de recuperações, a avaliação e análise estrutural dos componentes existentes devem ser calculadas para determinar a capacidade de carregamento, antes e após a

manutenção. Também devem ser identificadas as causas dos problemas e tomadas às medidas corretivas para evitar a sua repetição.

O adesivo epóxi AR-300, por exemplo, é constituído por resina e endurecedor, e foi desenvolvido para fornecer uma excelente penetração a todos os tipos de fibras. Possui uma viscosidade extremamente baixa, possuindo um manuseio semelhante a uma resina poliéster. Este sistema de resina não desenvolve uma superfície pegajosa após o processo de cura, possibilitando laminações sucessivas de outras camadas de fibras (FIORELLI, 2002).

5.3.5.2 Reforço com cobrejuntas coladas

A reabilitação com próteses de cobrejuntas coladas [ingl.: splicing] envolvem a adição de placas ou chapas de cobrejuntas, que são introduzidas sobre as fendas ou elementos deteriorados e são coladas com adesivos epóxis *in loco*. Nesse tipo de reabilitação, o epóxi é usado como um adesivo para ligar as junções *in loco*. Diversos tipos de adesivos estão disponíveis no mercado, no entanto os epóxis são os preferíveis para utilização em reabilitações *em campo* de elementos de madeira, devido à sua elevada resistência e taxa de cura rápida. As com próteses de cobrejuntas coladas com adesivo epóxi tem sido utilizadas principalmente em edificações e Ritter (1990) comenta que até aquela época, suas aplicações não eram usuais em reabilitação e/ou reforços de estruturas ponte de madeira. No entanto, um método de emendas com próteses de cobrejuntas que tem sido usado de forma limitada em situações que envolvam a reconstrução da MLC. Nesse método, as lâminas danificadas ou biodeterioradas são cortadas a partir do elemento MLC e substituídas por próteses de MLC com laminações novas que são coladas com adesivos epóxis *in loco*. As lâminas na seção de substituição são banhadas sobre lâminas existentes a uma distância suficiente para absorver a resistência de cisalhamento necessária na ligação epoxídica. Existem evidências de que as variações no teor de umidade dos elementos de madeira expostas ao tempo podem causar uma redução significativa da resistência da ligação epoxídica. Portanto, não são recomendados reparos em emendas com próteses de cobrejuntas coladas em elementos estruturais expostos a intempéries ou variações significativas no teor de umidade. Além disso, as emendas com próteses de cobrejuntas coladas com epóxi não devem ser utilizadas em materiais tratados preservativos à base de óleos, pois a aderência fica comprometida entre a madeira e o epóxi (RITTER, 1990)^{p14-19}.

5.3.5.3 Elementos estruturais de madeira reforçados com compósitos fibras e matrizes

Na atualidade em diversos países, principalmente da Europa, diversos pesquisadores tem estudado diversas soluções de reabilitações, que consistem no uso de materiais de alta performance e não metálicos, aos quais tem sido desenvolvido desde o início da década de 40 e são compósitos chamados de polímeros reforçados com fibras, designados pela sigla FRP [ingl.: Fiber Reinforced Polymer].

Na norma ASTM D 3878-07 (2013) define *compósito* como uma substância que constitui em dois ou mais materiais, insolúveis uns aos outros, aos quais são combinados para formar um material engenheirado e que possuam certas propriedades não encontradas em seus constituintes isoladamente.

5.3.5.3.1 Fibras sintéticas

No início da década de 30, as fibras curtas de vidro foram utilizadas como reforço em cimento, nos Estados Unidos da América. De acordo com Tang (1997) apud Miotto (2009), após a Segunda Guerra Mundial, os produtores norte-americanos começaram a utilizar fibra de vidro e resina poliéster na produção de cascos de embarcações. Nos anos 50, foi à vez da indústria automotiva introduzir os materiais reforçados com fibras em seu processo produtivo, preliminarmente no corpo dos veículos, devido ao seu baixo peso e elevada resistência mecânica e à corrosão. A primeira aplicação das fibras sintéticas na engenharia civil foi na construção de uma cúpula, em 1968, em Benghazi na Líbia.

Em geral, os polímeros reforçados com fibras são materiais versáteis, constituindo de:

- fibras sintéticas, incluindo vidro, carbono (ou grafite) e aramida (nome comercial Kevlar), em diferentes formas, que são responsáveis pela resistência do compósito;
- uma matriz polimérica, a qual serve para manter unidas as fibras, transferir forças para as fibras e protegê-las contra os efeitos ambientais. As resinas poliéster, vinílicas e epoxídicas são mais comumente empregadas na composição dos FRPs [(FIORELLI, 2002); (MIOTTO, 2009)].

Embora os compósitos de FRPs apresentem algumas vantagens expressivas, a preocupação principal com a sua utilização sempre está relacionada com a sua durabilidade a longo prazo, uma vez que não se dispõem de dados suficientes de comportamento histórico desses materiais, aplicados em elementos estruturais. No entanto, a facilidade de fabricação, manuseio e içamento são algumas vantagens do uso desses compósitos como peças estruturais. Algumas das suas desvantagens são o alto custo inicial, a fluência e a retração

(MIOTTO, 2009). Em função das seções transversais geralmente esbeltas, também se deve ater com as questões de instabilidades, como a flambagem local e global.

A norma que estabelece recomendações para a determinação das propriedades mecânicas das fibras de vidro, dimensões padronizações de corpos-de-prova, e procedimentos de ensaio é a ASTM D 3039/D 3039M (2006). Na Tabela 5.3 são indicadas as principais características dos tecidos de fibras, apresentadas por Fiorelli (2002).

Tabela 5.3. Características dos tecidos de fibras a 20°C.

Fibras	Características		
	Resistência à tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Densidade (g/cm ³)
Vidro unidirecional	900	76	2,55
Orgânica (Kevlar)	1500	125	1,44
Carbono unidirecional	2200	160-300	1,75
Carbono lâmina	2400	165-300	1,90

Fonte: FIORELLI (2002)

5.3.5.3.2 Fibras naturais

Reforçar materiais de construção, com fibras naturais, é uma técnica que vêm sendo aplicada desde a Antiguidade. Em 800 A.C. os israelitas usaram a palha como reforço na produção de tijolos. Sua importância é indiscutível se consideradas as suas vantagens relacionadas à abundância, biodegradabilidade e baixo custo, quando comparadas com as fibras sintéticas (MIOTTO, 2009).

Carvalho (2005) apresentou a investigação realizada sobre a aplicabilidade das fibras de sisal como reforço de elementos estruturais de madeira, encontrando-se resultados promissores. Nesse trabalho foram utilizados os tecidos de sisal, impregnados com resinas poliméricas, como matéria-prima para a reabilitação estrutural. Como vantagens, Carvalho (2005), observou a abundância, biodegradabilidade e baixo custo quando comparadas com as fibras de vidro e as fibras de carbono. Seus ensaios foram realizados com fibras têxteis e fios de sisal, que foram caracterizados por ensaios de tração, e desenvolveu um novo tecido de sisal industrializado com base nos tecidos usados em compósitos estruturais com o objetivo de melhorar o alinhamento das fibras e reduzir as deformações transversais. Esses ensaios de tração foram utilizados para avaliar os compósitos de sisal com matrizes epóxi e poliuretanas derivadas do óleo de mamona. Na investigação realizou ensaios de flexão e cisalhamento, que foram utilizados para avaliar a resistência e a rigidez, além de ter analisado as interfaces entre a madeira e os compósitos e avaliou os modos de ruptura (Figura 5.12). Estudando esses compósitos de sisal-epóxi Carvalho (2005) observou que os corpos-de-prova com reforço

apresentaram um aumento médio de rigidez de 14,2%, quando solicitados à flexão. Segundo Carvalho e Calil Jr. (2004) e Carvalho (2005) os resultados mostraram que o compósito de epóxi e sisal foram suficientemente rígidos e resistentes para reforçar os elementos de madeira. Existem, ainda, outras fibras naturais que podem ser estudadas como reforços de madeira, tais como a juta, o coco e o algodão.

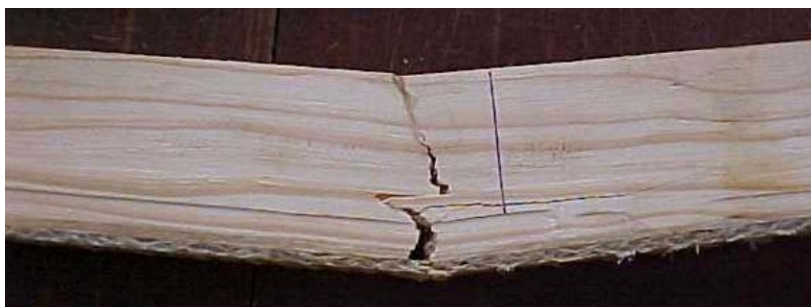


Figura 5.12. Modo de ruptura típica de exemplares de madeiras coníferas reforçadas com compósitos de Sisal – e epóxi submetidos à flexão. Fonte: CARVALHO (2005)

5.3.5.4 Argamassa epoxídica

Segundo Ritter (1990)^{p14-18}, como material de preenchimento, o adesivo epóxi pode ser utilizado para preencher fendas, rachas, delaminações, danos de vazios de insetos e biodeterioração por apodrecimento. Já Bonamini (1995) e Uzielli (1995) recomendam cautela, antevendo com estudos específicos na compatibilidade entre os materiais nessas aplicações. No entanto, o adesivo epóxi pode selar a área afetada, evitando a entrada de água e outros detritos. Segundo Ritter (1990)^{p14-19}, também pode restaurar a ligação entre seções separadas, aumentar a capacidade resistente ao cisalhamento, e reduzir o efeito do fendilhamento. Em aplicações de construção, o epóxi tem sido utilizado com sucesso em reparações estruturais para preencher fendas em conexões de treliça. Em reforços, também tem sido utilizado em conjunto com barras de aço e de fibra, a fim de substituir partes de elementos estruturais existentes, severamente deterioradas [(RITTER, 1990); (ARRIAGA et al, 2002)]. Segundo Ritter (1990), em aplicações de estruturas de pontes, a sua utilização como argamassa (grauteamento) tem sido limitada principalmente em reparos semiestruturais ou reparos que envolvam danos superficiais ou danos internos causados por insetos. Para reparos superficiais, vazios ou outros defeitos as manutenções são realizadas preenchidos com gel epóxi. Para reparos internos envolvendo fendas, rachas ou danos de insetos, epóxi líquido deve ser injetado para o interior do elemento a fim de preencher o vazio (RITTER, 1990).

5.3.5.5 Reforço com pinos colados em emendas com entalhes tipo Júpiter

Em algumas situações as barras (em forma de pinos ou cavilhas) podem ser usadas como técnicas de reforço em regiões de emendas de peças de madeira, como o exemplo típico de emenda com entalhes tipo *Júpiter* indicado na Figura 5.13. As barras coladas, nesse caso atuam como elementos de ligações tipo pinos ou cavilhas, admitidas como se fossem ligações parafusadas, com a diferença de serem coladas.

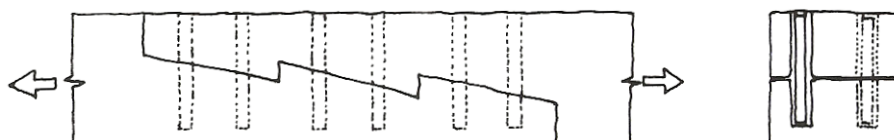


Figura 5.13. Reforço com cavilhas coladas em emendas de tirantes de madeira, com entalhes tipo Júpiter.
Fonte: ARRIAGA et al (2002)

Para o cálculo pode-se aplicar as regras definidas no EC 5 relativas às ligações tipo cavilha. Essas se destinam a elementos metálicos e as propriedades mecânicas do aço são utilizadas em função do momento plástico da barra (deduzida a partir da resistência à tração).

5.3.5.6 Reabilitação de estacas com prótese de madeira fixada com barras coladas

A reabilitação de estacas em emendas com prótese de madeira fixada com barras coladas, em substituição parcial pode ser utilizada na recuperação de estacas de madeira carregadas predominantemente em compressão axial. Nas emendas das estacas, com prótese de madeira, a parte danificada da estaca é completamente removida e um novo trecho da seção transversal similar é instalado em seu lugar, Figura 5.14. A nova seção é posicionada com abertura entre 1/8" para 1/4" na parte superior e na parte inferior, e as ligações são fixadas enrijecidamente nas extremidades sãs da estaca. Após a colocação da nova seção, os furos são posicionados em ângulo agudo descendente acima de cada conjunto. Os pinos metálicos são então conduzidos através dos furos para unir mecanicamente as duas seções. As laterais das juntas são seladas película ou fita plástica, e é injetado adesivo epóxi em gel nas ligações, preenchendo os espaços vazios e colando as seções da estaca antiga na seção nova. Segundo Ritter (1990) esse tipo de técnica de reabilitação pode ser um método econômico de recuperação de subestrutura que restabelece eficazmente a resistência à compressão dos elementos deterioradas.

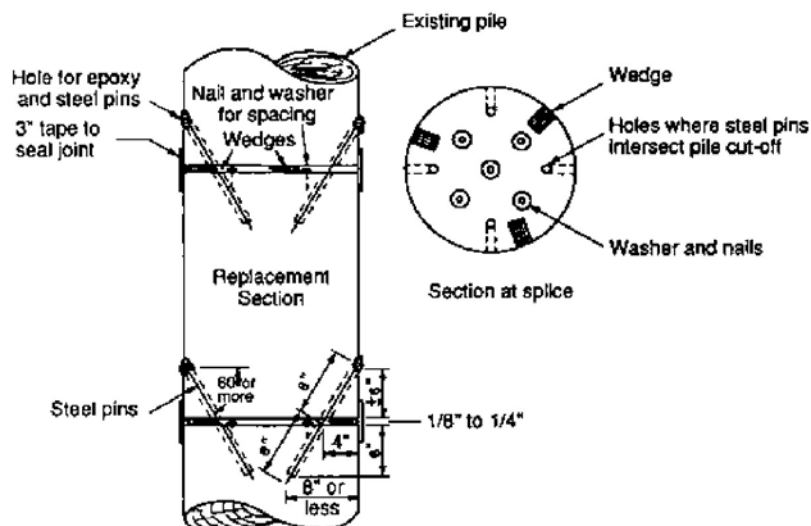


Figura 5.14. Detalhe esquemático do sistema de emendas de estacas com próteses de madeira nova fixadas com pinos metálicos colados com adesivo epóxi. Fonte: RITTER (1990)^{p14-20}.

5.3.5.7 Prótese de reconstituição de estaca ou coluna com grauteamento epoxídico

A prótese de reconstituição de estaca ou coluna com grauteamento envolve a remoção e substituição parcial de uma seção em forma de cunha vertical da estaca, em vez de a seção transversal total, e podem ser utilizada na recuperação de estacas de madeira carregadas predominantemente em compressão axial. Esse tipo de recuperação tem sido utilizado com sucesso em estacas com deterioração localizada em uma parte da seção com outra sã. Para utilização desse método, é removida a parte da estaca existente com corte em entalhe numa seção em forma de cunha. A seção de substituição adequada é fabricada a partir de um material novo tratado. A seção de substituição é montada de maneira a corresponder a seção removida, no entanto é ligeiramente menor em dimensão. Após a substituição são confeccionadas as superfícies de contato das seções antigas e novas e são revestidas com gel de epóxi, geralmente aplicado com espátula. A nova seção é inserida na posição, e são instaladas as abraçadeiras metálicas em torno da seção para mantê-la posicionada *in loco*, antes da cura do epóxi. A prótese de reconstituição de estacas é menos econômica do que a prótese de madeira em emenda de estacas e normalmente é utilizada somente quando a emenda é impraticável em função da limitação no acesso (RITTER, 1990)^{p14-21}.

5.3.5.8 Reforço com barras coladas em peças submetidas a esforços axiais

Os reforços de peças submetidas a esforços axiais, com barras coladas em casos de possibilidade de acesso à extremidade da peça, o reforço deve ser instalado em furos perfurados a partir do topo. Dessa maneira, a barra colada fica protegida por uma camada de

madeira das ações de agressividades externas, contra as variações na umidade e temperatura. No entanto, nem sempre isso é possível. Na inacessibilidade pelo topo, Arriaga et al (2002) recomendam executar furos inclinados formando um ângulo menor possível, com a diretriz de orientação da peça. Outra possibilidade, menos adequada devido à sua maior exposição às ações de agressividades externas, é a forma de executar frisos (ranhuras) na superfície da madeira para alojar as barras. Ainda segundo Arriaga et al (2002), caso seja possível colocar apenas uma barra de reforço, deve-se colocá-la no centro de gravidade da seção de madeira. Mas, em geral, o número mínimo recomendado são três barras em seções circulares e quatro seções retangulares, e suas disposições devem ser simétricas em relação aos eixos principais de inércia da seção (Figura 5.15).

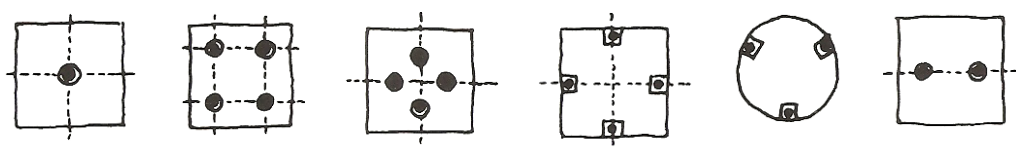


Figura 5.15. Disposição de barras (vergalhões) em reforços de peças submetidas a esforços axiais.
Fonte: ARRIAGA et al (2002)

5.3.5.8.1 Modelo analítico para reforço com barras coladas em peças submetidas a esforços axiais

Segundo Arriaga et al (2002), geralmente a abordagem para projetar a ligação na seção de reforço, com barras coladas em peças submetidas a esforços axiais, pode ser admitida de tal maneira que tenha a mesma capacidade de transmissão de carregamento que a própria seção teria. Assim, para o esforço axial de tração, a capacidade de carga das barras ($n \cdot A_b \cdot f_{b,t,d}$) se iguala com a capacidade de carga da seção da peça ($A \cdot f_{t,0,d}$), deduzindo a seguinte equação:

$$n \cdot A_{b,d} \cdot f_{b,t,d} = A \cdot f_{t,0,d} \quad (\text{Eq. 5.1})$$

$$\text{Sendo, } n = \frac{f_{t,0,d}}{f_{b,t,d}} \cdot \frac{A}{A_{b,d}} \quad (\text{Eq. 5.2})$$

Onde:

$f_{t,0,d}$ é a resistência de cálculo à tração paralela às fibras.

$f_{b,t,d}$ é a resistência de cálculo à tração da barra.

A é a área da seção transversal da peça de madeira.

$A_{b,d}$ é a área da seção transversal de uma barra.

n é o número de barras necessárias

Para os casos de esforços de compressão a carga total (que pode igualar-se à capacidade de carga da seção $A \cdot f_{t,0,d}$) é transmitida parte pelo contato entre as peças e parte pelas barras, e

essa distribuição é admitida pela proporcionalidade à sua rigidez axial, conforme indicação na Figura 5.16 (ARRIAGA et al, 2002).

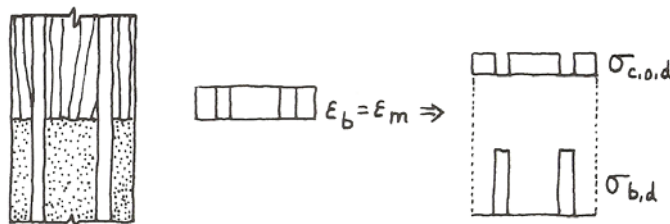


Figura 5.16. Distribuição de tensões em peças reforçadas com barras coladas, comprimidas axialmente.
Fonte: ARRIAGA et al (2002).

Admitindo-se a relação de proporcionalidade entre as tensões e deformações podem ser deduzidas as seguintes equações:

$$A \cdot f_{c,0,d} = n \cdot \sigma_{b,c,d} \cdot A_b + \sigma_{c,0,d} \cdot (A - A_b) \quad (\text{Eq. 5.3})$$

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_{b,c,d}}{E_b}; \quad \varepsilon_m = \frac{\sigma_{c,0,d}}{E}; \quad \varepsilon_b = \varepsilon_m \quad (\text{Eq. 5.4})$$

$$m = \frac{E_b}{E} = \frac{\sigma_{b,c,d}}{\sigma_{c,0,d}} \quad (\text{Eq. 5.5})$$

Dessa relação, podem ser deduzidos os valores das tensões para cada material:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,d} \cdot A}{n \cdot A_b \cdot (m - 1) + A}; \quad \sigma_{b,c,d} = \sigma_{c,0,d} \cdot m \quad (\text{Eq. 5.6})$$

Onde:

$\sigma_{b,c,d}$ é a tensão de compressão nas barras.

$\sigma_{c,0,d}$ é a tensão de compressão paralela às fibras na madeira.

$f_{c,0,d}$ é a resistência de cálculo à compressão paralela às fibras da madeira.

A é a área da seção transversal da peça de madeira.

A_b é a área da seção transversal de uma barra.

n é o número de barras.

m é a relação entre os módulos de elasticidade $\frac{E_b}{E}$

E, E_b são os módulos de elasticidade da madeira e das barras, respectivamente.

5.3.5.8.2 Modelo analítico para cálculo da capacidade de carga de ligações mediante barras de aço coladas conforme o anexo A informativo ENV do Eurocode EC 5

Nesse item são indicadas as regras sem valor normativo, retiradas do Anexo A informativo do projeto de norma ENV 1995-2:1997 do Eurocode EC 5, também citado em Arriaga et al (2002), sobre as ligações com barras de aço nervuradas coladas na madeira, e que se aplicam em situações de Classe de Serviço 1 e 2. Para as barras coladas na madeira, submetidas a um esforço axial deve-se verificar os seguintes modos de falha:

- ✓ a falha da barra por tensão.

- ✓ a falha de aderência entre a barra e a madeira.
- ✓ a falha da madeira adjacente à linha de cola.
- ✓ a falha na peça de madeira, na hipótese de ruptura de um bloco de madeira com várias barras coladas.

A fim de evitar a ruptura frágil em barras de aço, o informativo ENV do EC 5 recomenda que a capacidade de carregamento seja limitada pela resistência da própria barra e não pela capacidade do dispositivo de ancoragem do adesivo na ligação com a barra com a madeira e ou pela resistência da madeira. As expressões utilizadas são baseadas no diâmetro externo d das barras de aço, ou quando a resistência do adesivo não é crítica, em um diâmetro equivalente d_{eq} igual ou menor aos seguintes valores: o diâmetro do furo ou $(1,25 \cdot d)$.

5.3.5.8.2.1 Verificação de falha da barra individualmente conforme o ENV do EC 5

A capacidade de carregamento axial na barra depende da resistência ao escoamento do aço (limite elástico). Na compressão deve-se considerar à flambagem quando a tensão de compressão superar 300 N/mm^2 . O valor característico da capacidade de carregamento axial correspondente à tensão de cisalhamento na madeira e pode ser obtido de acordo com a seguinte equação:

$$F_{ax,Rk} = \pi \cdot d_{eq} \cdot L_a \cdot f_{v,k} \quad (\text{Eq. 5.7})$$

Onde $f_{v,k}$, é a resistência de arrancamento em N/mm^2 , e em geral para um ângulo α pode ser obtida admitindo-se seguinte equação derivada de Hankinson:

$$f_{v,a,k} = \frac{f_{v,90,k}}{\text{sen}^2 \alpha + 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} \quad (\text{Eq. 5.8})$$

Onde:

$$f_{v,90,k} = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot d_{eq}^{-0,2} \cdot \rho_k^{1,5} \quad \text{é válido para relação } \frac{L_a}{d} \leq 18 \quad (\text{Eq. 5.9})$$

ρ_k é a densidade característica em kgf/m^3

L_a é o comprimento de ancoragem, cujo valor mínimo deve ser o maior entre os dois valores:

$$L_{a,\min} = 0,4 \cdot d^2; \quad L_{a,\min} = 8 \cdot d$$

Sendo d o diâmetro externo da barra.

Para obter o valor de cálculo da capacidade de carregamento axial $R_{ax,d}$ pode-se recorrer às indicações do ENV 1995-1-1 do EC 5, utilizando o valor de K_{mod} correspondente para a madeira maciça ou MLC, mas com a ressalva de que a Classe de Serviço 2 seja reduzida em 20%. Isso se deve pela perda significativa da resistência na madeira à carga axial, quando o teor de umidade é elevado.

5.3.5.8.2.2 Verificação de falha na peça de madeira conforme o ENV do EC 5

A falha na peça pode ser gerada pelo arrancamento de uma camada de madeira, devido ao esforço de tração na parte inferior da barra. A área efetiva A_{ef} é considerada para cada barra submetida a um esforço paralelo às fibras na região que está envolvida por um quadrado de lado igual à $6 \cdot d$; ou resultante da sua intersecção com a borda da peça, Figura 5.17.

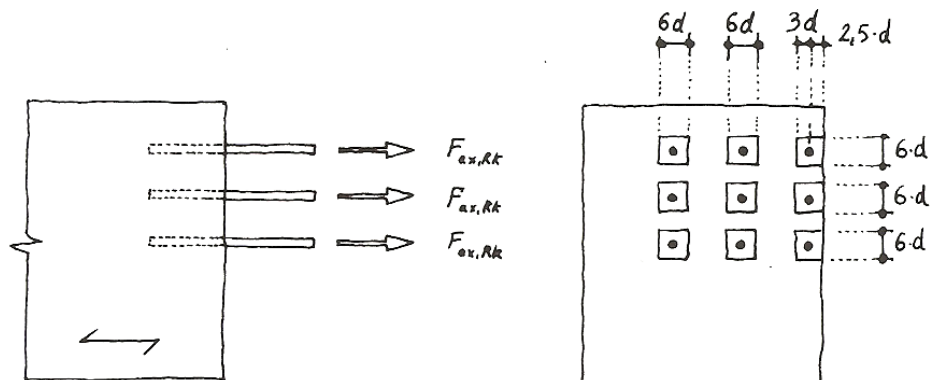


Figura 5.17. Áreas efetivas para ancoragem de barras sujeitas a esforços axiais paralelos às fibras com $b_{ef} = 6 \cdot d$, conforme o Anexo A informativo ENV 1995-2:1997^{p37} (sem valor normativo) do EC 5.

Fontes: ENV 1995-2:1997^{p37}; ARRIAGA et al (2002)

Em um grupo de barras, o valor característico da capacidade de carregamento paralelo às fibras, $F_{ax,Rk}$ é obtido pela seguinte equação:

$$F_{ax,Rk} = f_{t,0,k} \cdot A_{ef} \quad (\text{Eq. 5.10})$$

Onde $f_{t,0,k}$ é a resistência característica a tração da madeira.

5.3.5.8.2.3 Dimensões e espaçamentos mínimos conforme o ENV do EC 5

As dimensões e espaçamentos mínimos recomendados para barras coladas em madeira, conforme o Anexo A informativo do projeto de norma ENV do EC 5 são indicadas na Figura 5.18.

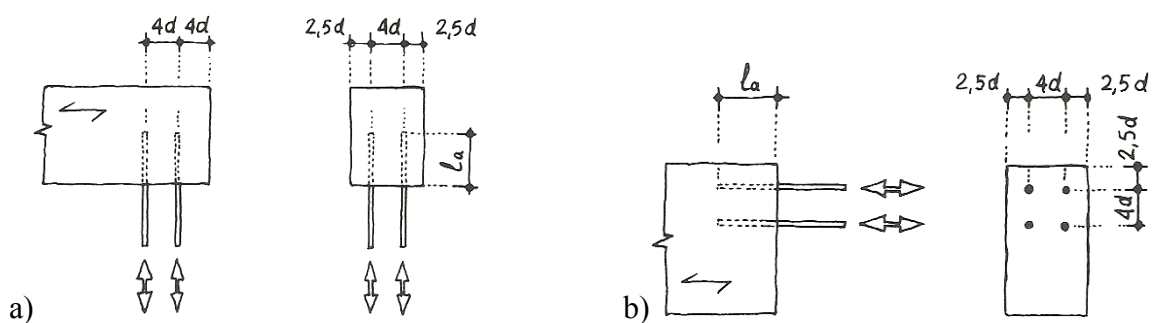


Figura 5.18. Dimensões e espaçamentos mínimos entre barras axialmente carregadas, conforme o Anexo A informativo ENV 1995-2:1997^{p34} (sem valor normativo) do EC 5: a) para barras dispostas perpendicularmente às fibras; b) para barras dispostas paralelamente às fibras. Fontes: ENV 1995-2:1997^{p34}; ARRIAGA et al (2002)

5.3.5.8.2.4 Barras com carregamento lateral conforme o ENV do EC 5

Para a determinação da capacidade de carregamento lateral nas barras Arriaga et al (2002) recomendam aplicar as regras especificadas no ENV do EC 5 para o cálculo de elementos mecânicos de ligação tipo pino. No caso em que as barras são dispostas paralelas às fibras (de topo), a resistência ao esmagamento deve ser admitida em 10% da resistência de esmagamento perpendicular às fibras. Em barras dispostas com um ângulo α em relação às fibras, pode-se admitir à interpolação linear (ARRIAGA et al, 2002).

5.3.5.8.2.5 Barras submetidas a uma combinação de carregamento lateral e axial

Arriaga et al (2002) descrevem que para os casos de barras submetidas a uma combinação de carregamento lateral e axial, deve ser cumprida a seguinte equação:

$$\left(\frac{F_{ax,d}}{R_{ax,d}} \right)^2 + \left(\frac{F_{la,d}}{R_{la,d}} \right)^2 \leq 1 \quad (\text{Eq. 5.11})$$

Onde $R_{ax,d}$ e $R_{la,d}$ são os valores de cálculo das capacidades de carregamento das barras com uma carga axial $F_{ax,d}$ e uma carga lateral $F_{la,d}$.

5.3.5.8.2.6 Considerações construtivas

Conforme recomendações no ENV do EC 5, às superfícies dos furos que irão alojar as barras a serem coladas devem estar isentas de impurezas, e deve-se garantir que a folga entre a barra e a madeira seja completamente preenchida com adesivo.

Arriaga et al (2002) complementam que no ato de colar as barras dispostas na direção perpendicular às fibras, a umidade da madeira, obtida como uma média de toda a seção da peça não deve exceder mais de 3% ao valor mínimo esperado em serviço. Para as barras coladas na direção paralela às fibras, o desvio do teor de umidade mencionado, se limitada a um valor de 6%.

5.3.5.9 Reforços de vigas com barras coladas

As barras de aço ou de fibra de vidro, geralmente são coladas em ranhuras (frisos) cortadas ao longo da borda mais tracionada da viga. Assim, na região deteriorada, a falha deixa de ser causada pela redução de resistência localizada na região de extremidade, por redução da tensão de tração, e passa a ocorrer na região comprimida, cuja resistência não é aumentada, e o comportamento da falha também se torna mais dúctil, Figura 5.19. A confiabilidade do

Estado Limite é, portanto, garantido pelo efeito de incremento de força, ao invés de resistência ou rigidez [(CECCOTTI; MARRADI, 1993) apud (UZIELLI, 1995)].

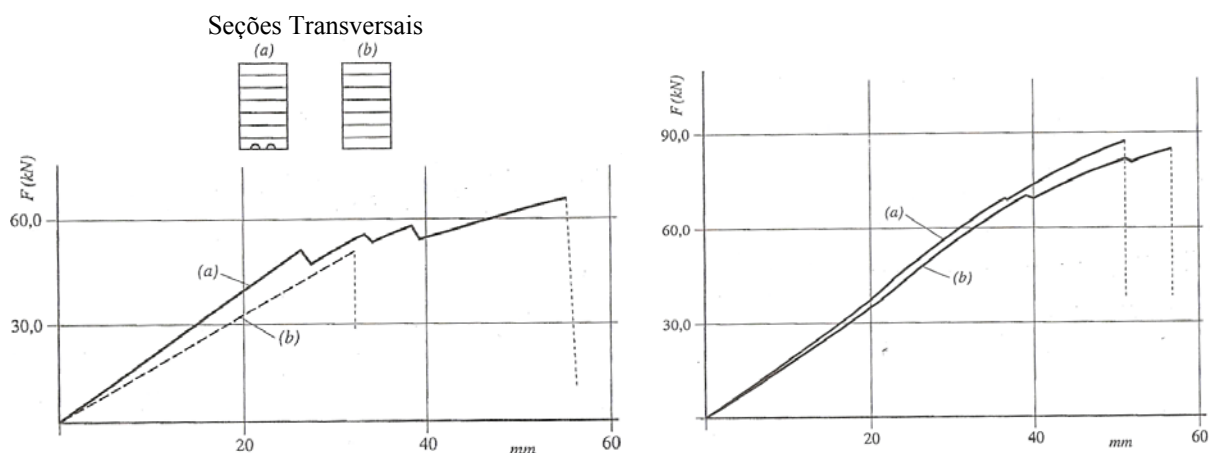


Figura 5.19. Diagramas de Força x Deslocamento referente aos efeitos do comportamento das barras coladas com resina epóxi em ranhuras cortadas, na região tracionada ao longo de extremidades de viga de madeira: (a) seção transversal com barras de reforço; (b) seção transversal de madeira sem reforço. Diagrama à esquerda: vigas com grandes defeitos; Diagrama à direita: vigas com pequenos defeitos. Fonte: UZIELLI (1995)

5.3.5.10 Reforços de vigas com Fibras Reforçadas com Polímeros (FRP)

As principais técnicas de reforços com Fibras Reforçadas com Polímeros (FRP) [ingl.: Fiber Reinforced Polymer] são as técnicas de Fibras de Vidro Reforçadas com Polímeros (GFRP) e as Fibras de Carbono Reforçadas com Polímeros (CFRP) [(FIORELLI, 2002); (ARRIAGA et al, 2002); (RODRIGUES, 2004); (ROTAFIX, 2007); (LOPEZ, 2007); (REIS et al, 2008); (MACHADO et al, 2009); (D' AMBRISI et al, 2013); (NEGRÃO, 2014a); (NGUYEN TRUNG, 2010)]. Dentre elas, a que vem se destacando com melhores resultados de aumento de resistência e rigidez de peças estruturais, é a matriz com Fibras de Carbono Reforçadas com Polímeros (CFRP). Este tecido vem se mostrando como material promissor para desempenhar funções de recuperação e reforço de estruturas na construção civil. Fiorelli (2000), em sua pesquisa, de reforço de elementos estruturais de madeira reforçados com polímeros de fibra de carbono, concluiu que na avaliação teórica da influência da fibra de carbono na resistência e rigidez de vigas de madeira, permite verificar a ocorrência de um aumento significativo da rigidez da peça reforçada, ficando esta na faixa de 130% para madeiras moles (*Pinus elliotti*). Constatou também um aumento máximo de 65% no módulo de resistência das vigas de madeiras de baixa densidade e de aproximadamente 45% para madeiras de densidade elevada. Na Figura 5.20 são apresentadas as principais configurações de sistemas de reforços com FRP em vigas biapoiadas de Madeira Laminada Colada (MLC), apresentados em Nguyen Trung (2010). No entanto, no Brasil, tanto as Fibras de Carbono

quanto a resina epóxi, ainda existem poucos fornecedores, geralmente esses produtos têm que ser importados, e seus custos são muito elevados, tornando-se inviáveis economicamente, para a maioria dos casos de reabilitações e/ou reforços de madeira.

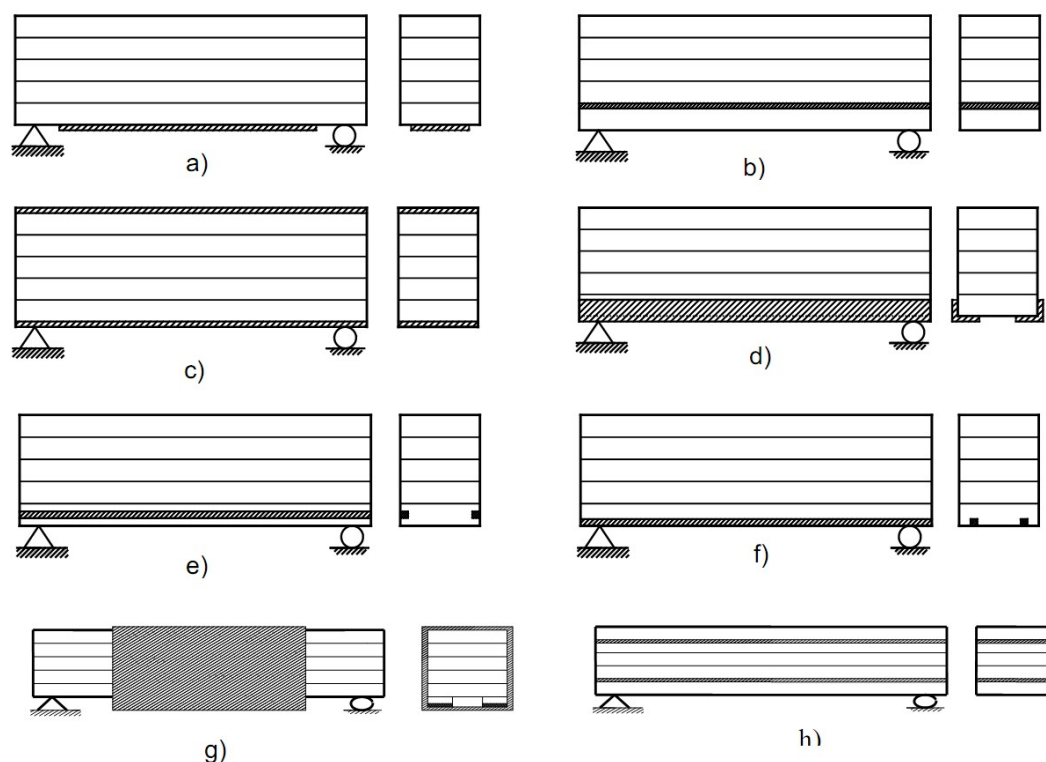


Figura 5.20. Principais configurações de sistemas de reforços com FRP em vigas biapoiadas de Madeira Laminada Colada (MLC). Fonte: NGUYEN TRUNG (2010)

5.3.5.11 Próteses de extremidades de vigas com barras coladas *in loco*

Freqüentemente segmentos de extremidades de viga são biodeteriorados ou seriamente danificados, e recentemente em diversos países, tem sido realizadas pesquisas de substituições por técnicas de reabilitação parcialmente adicionadas, com próteses de madeira, madeira laminada colada, argamassa epoxídica, etc., geralmente interligadas com barras de aço ou de fibra de vidro, coladas com adesivos especiais (Figura 5.21) [(UZIELLI, 1995); (DUARTE et al, 2004)]. Nesses casos o projeto estrutural de reabilitação deve-se basear principalmente na adesão das barras adicionadas paralelamente às fibras de madeira, uma vez que as variações de umidade e retrações diferenciais podem danificar a resistência das linhas de cola perpendiculares às fibras [(CECCOTTI et al, 1990) apud (UZIELLI, 1995)]. Nesse tipo de reabilitação, a aparência estética e autenticidade dos materiais originais geralmente, podem ser perdidas.

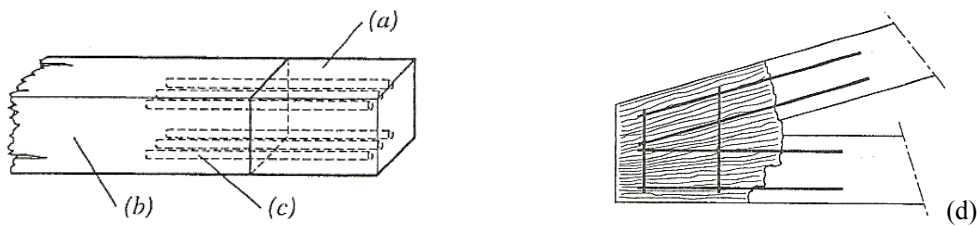


Figura 5.21. Reabilitação de extremidade de viga: (a) Prótese de madeira armada com barras horizontais coladas com adesivo epóxi para reconstituição total de extremidade de viga de madeira em região de apoio; (b) viga de madeira original; (c) barras de aço galvanizado ou de fibra de vidro coladas com adesivo epóxi; (d) Prótese de argamassa epóxi armada com barras de aço galvanizadas ou de fibra de vidro para reconstituição total de nó de extremidade entre banzos de treliça, executada *in loco*. Fonte: UZIELLI (1995)

5.3.5.11.1 Modelo analítico para dimensionamento de próteses de extremidades de vigas com barras coladas

O modelo analítico para o dimensionamento dos casos de próteses de extremidades de elementos estruturais submetidos à flexão, com barras coladas *in loco*, como é o caso de reconstituição de extremidades de vigas, pode-se admitir que o momento fletor é transmitido entre a peça de madeira e à prótese de resina, através do binário de forças geradas nas barras tracionadas e na madeira. Para a sua determinação, pode-se admitir a *Hipótese de Bernoulli* no plano de deformação na seção com a relação linear Tensão x Deformação (*Lei de Hooke*). Na análise apresentada, assume que as barras são dispostas em paralelo ao eixo da peça (na horizontal no caso das vigas); e geralmente pode-se ocorrer a condição oblíqua o que exige uma nova correção da força axial dividindo pelo cosseno do ângulo de inclinação (esse aumento é da ordem de 6% para um ângulo usual de 20°) (ARRIAGA et al, 2002).

Geralmente são dispostas duas ou mais barras inseridas na parte inferior, na região tracionada, e mais duas inseridas na região superior. As superiores ficam próximas ao eixo neutro da seção na área de contato entre o compósito e a madeira; por essa razão e a favor da segurança não se leva em consideração o seu efeito de flexão. E sob a ação do momento fletor na seção admite-se que as seções planas, permanecem planas após a deformação (Figura 5.22).

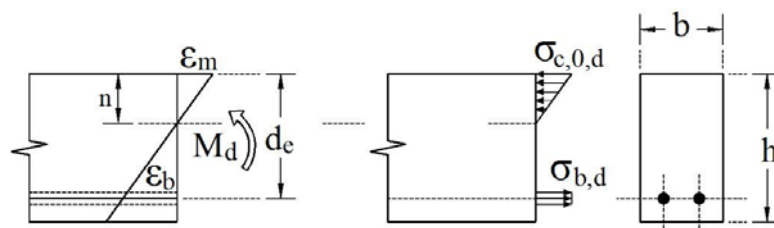


Figura 5.22. Equilíbrio da seção pela hipótese de Bernoulli no plano de deformação e pela proporcionalidade linear tensão x deformação. Fonte: ARRIAGA et al (2002)

Admitindo-se a proporcionalidade entre as deformações unitárias da madeira ε_m , e das barras ε_b ligando n à profundidade da região comprimida obtém-se a relação:

$$\frac{\varepsilon_m}{n} = \frac{\varepsilon_b}{d_e - n} \quad (\text{Eq. 5.12})$$

Admitindo-se as relações das deformações unitárias com as tensões de compressão na madeira $\sigma_{c,0,d}$ e nas barras $\sigma_{b,d}$, pela *Lei de Hooke* obtém-se:

$$\varepsilon_m = \frac{\sigma_{c,0,d}}{E_m}; \varepsilon_b = \frac{\sigma_{b,d}}{E_b} \quad (\text{Eq. 5.13})$$

Sendo E_m e E_b os módulos de elasticidade da madeira e das barras de reforço, respectivamente. Das expressões anteriores pode-se determinar a tensão nas barras pela equação:

$$\sigma_{b,d} = \frac{\sigma_{c,0,d} \cdot (d_e - n) \cdot m}{n} \quad (\text{Eq. 5.14})$$

Onde m é a razão modular $\frac{E_b}{E_m}$. E do equilíbrio de momentos entre o momento fletor de cálculo M_d e as tensões resulta:

$$M_d = \frac{\sigma_{c,0,d} \cdot b \cdot n \cdot \left(d_e - \frac{n}{3}\right)}{2} \quad (\text{Eq. 5.15})$$

Onde se pode determinar a altura n da região comprimida:

$$n = 1,5 \cdot d_e \pm \sqrt{2,25 \cdot d_e^2 - \frac{b \cdot M_d}{\sigma_{c,0,d} \cdot b}} \quad (\text{Eq. 5.16})$$

Para estabelecer o equilíbrio entre as forças horizontais:

$$\frac{\sigma_{c,0,d} \cdot b \cdot n}{2} = \sigma_{b,d} \cdot A_b \quad (\text{Eq. 5.17})$$

Do sistema de equações formado pelas equações 5.13, 5.15 e 5.16 com três incógnitas (n ; $\sigma_{b,d}$ e $\sigma_{c,0,d}$) pode-se deduzir seus valores, limitando as tensões para resistências de cálculo e obter a área necessária das barras.

5.3.5.11.2 Comprimento de ancoragem das barras

Para a reconstituição de apoio em viga, com prótese de materiais compósitos armados com barras geralmente lisas de resina de poliéster e fibras vidro, de seção circular, simplificada determina-se o comprimento de ancoragem admitindo uma distribuição de

tensões tangenciais uniformes ao longo de seu comprimento. A capacidade de carga $R_{ax,k}$, nessa hipótese, é dada pela menor das resultantes das seguintes equações:

$$R_{ax,k} = d \cdot \pi \cdot L_a \cdot f_{ad,b,k}; R_{ax,k} = d_t \cdot \pi \cdot L_a \cdot f_{ad,m,k} \quad (\text{Eq. 5.18})$$

Onde:

d é o diâmetro da barra

d_t é o diâmetro do furo, geralmente entre 6 mm e 8 mm maior que o diâmetro da barra.

$f_{ad,b,k}$ é a resistência característica de aderência entre a barra e o adesivo.

$f_{ad,m,k}$ é a resistência característica de aderência entre a madeira e o adesivo.

L_a é o comprimento de ancoragem.

Na maioria dos casos, o ponto mais crítico está na região de ancoragem com a madeira e conseqüentemente depende diretamente da resistência de cisalhamento da própria madeira. Mas, por outro lado, se a resistência à cortante da madeira tem uma forte penalização relacionada com a qualidade de madeira utilizada, em contrapartida trabalha-se com valores conservadores na determinação do comprimento de ancoragem (ARRIAGA et al, 2002).

5.3.5.11.3 Disposições construtivas

Como esses tipos de próteses situam-se na região de apoio, e sabendo-se que os esforços cortantes são predominantes nessa região, Arriaga et al (2002) apresentam modelos construtivos de cortes nas extremidades das vigas que favorecem a transmissão das forças cortantes, através das próteses de compósitos em forma de consolos conforme indicado na Figura 5.23.



Figura 5.23. Modelos construtivos de cortes nas extremidades das vigas que favorecem a transmissão das forças cortantes através das próteses de compósitos em forma de consolos, ARRIAGA et al (2002).

Em reconstituição de apoio em viga de difícil acesso, com prótese de compósitos armados, o modo usual e recomendado por Arriaga et al (2002) é a realização de furos inclinados partindo da face superior da viga. Em casos usuais com execução de corte transversal reto na extremidade da viga, introduz-se às barras em furos inclinados, confeccionados com ângulo $\alpha \leq 20^\circ$. Nesse caso à transmissão de forças pode ser justificada por três resultantes no sistema de forças indicado na Figura 5.24a, onde à F_1 é oriunda de tração nas barras inferiores, à F_2 de compressão nas barras superiores e à F_3 também de compressão na madeira, que no conjunto equilibram a reação R , situada a uma distância “x” da seção de corte. Na

Figura 5.24b são indicadas as recomendações de dimensões e espaçamentos mínimos para esse tipo de técnica de reabilitação.

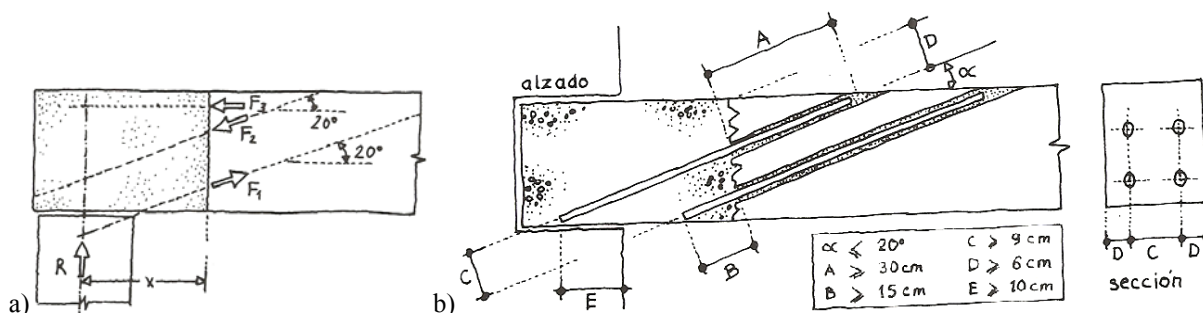


Figura 5.24. Metodologia de prótese de compósitos com corte transversal reto e com barras inclinadas: a) sistema de equilíbrio de forças; b) dimensões e espaçamentos mínimos recomendados, ARRIAGA et al (2002).

5.3.5.12 Reabilitação de vigas com placas internas coladas *in loco*

O sistema de reforço com placas coladas *in loco*, consiste na adição de uma ou mais placas metálicas, relativamente da mesma altura da viga, inseridas em ranhuras (frisos) cortadas verticalmente no local, na direção longitudinal da viga (Figura 5.25) [(STUMES, 1979); (ARRIAGA, 1986); (TAMPONE, 1989); (UZIELLI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002)]. Essas placas ficam escondidas, são protegidas do fogo e da corrosão, e suportam quase todo carregamento. No entanto, é necessário um equipamento especial para o corte dos sulcos (TAMPONE, 1989). Para o dimensionamento precisa ser levada em consideração no projeto de reforço, a viabilidade geométrica, a flambagem, as condições de apoio, etc. [(UZIELLI, 1995); (ARRIAGA et al, 2002)].

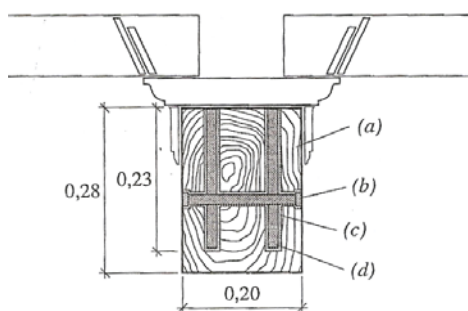


Figura 5.25. Chapas coladas em frisos ao longo de todo o comprimento de uma viga de madeira: (a) viga de madeira original; (b) Barras de aço rosqueadas passantes, arruelas e porcas; (c) chapa de aço de 10 mm de espessura; (d) adesivo de resina epóxi. Fontes: TAMPONE (1989) modificado por UZIELLI (1995)

5.3.5.12.1 Próteses de madeira em extremidades de vigas coladas com placas *in loco*

A proposta da técnica de reabilitação de próteses de madeira em extremidades de vigas com placas coladas *in loco*, possibilita a execução de reforços estruturais em locais de difícil acesso e limitadas condições de trabalho, além de permitir conservar uma boa aparência da

estrutura [(STUMES, 1979); (ARRIAGA, 1986); (ARRIAGA et al, 2002); (CRUZ, 2004); (NEGRÃO, 2014)].

Arriaga et al (2002) propõe para a solução de projeto as seguintes verificações:

- ✓ a resistência à flexão nas placas.
- ✓ a resistência ao cisalhamento placas.
- ✓ a resistência das placas que enfrentam problemas de instabilidade local (flambagem lateral e esmagamento).
- ✓ o comprimento de ancoragem das placas em madeira são.

5.3.5.12.2 Resistência à flexão nas placas

O momento resistente de flexão $M_{p,d}$ para “ n ” placas de reforço em seção retangular (Figura 5.26), é determinado pela seguinte expressão:

$$M_{p,d} = n \cdot W_p \cdot f_{m,p,d} \quad (\text{Eq. 5.19})$$

Onde:

n é o número de placas

W_p é o módulo resistente da placa determinado por $W_p = \frac{t \cdot d^2}{6}$

t é a espessura da placa

d é a altura da placa

$f_{m,p,d}$ é a resistência de cálculo à flexão da placa

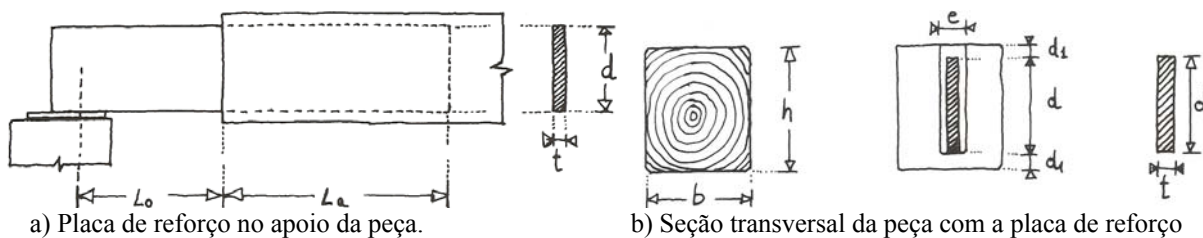


Figura 5.26. Placa de reforço na região de apoio de vigas de madeira. Fonte: ARRIAGA et al (2002).

Segundo Arriaga et al (2002) esse momento deve ser menor ou igual ao valor de cálculo do momento existente. Quando se deseja projetar a seção das placas para resistir ao mesmo momento que a capacidade da viga de madeira, $M_{m,d}$:

$$M_{m,d} = W_m \cdot f_{m,d} \quad (\text{Eq. 5.20})$$

Onde:

W_m é o módulo resistente da seção de madeira determinado por $W_m = \frac{b \cdot h^2}{6}$

b é a largura da seção de madeira

h é a altura da seção de madeira

$f_{m,d}$ é a resistência de cálculo à flexão da madeira

Igualando ambos os momentos ($M_{p,d} = M_{m,d}$) deduz-se o número de placas necessárias:

$$n = \frac{f_{m,d}}{f_{m,p,d}} \cdot \frac{b \cdot h^2}{t \cdot d^2} \quad (\text{Eq. 5.21})$$

5.3.5.12.3 Resistência ao cisalhamento nas placas

O valor de cálculo da tensão máxima de cisalhamento sobre a placa é determinado pela seguinte expressão:

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{n \cdot t \cdot d} \quad (\text{Eq. 5.22})$$

Essa tensão deve ser menor ou igual à resistência de cálculo de cisalhamento do material da placa ($f_{v,p,d}$). Stumes (1979) apud Arriaga et al (2002) limitam a tensão máxima na metade da resistência de cálculo de cisalhamento: $\tau_d \leq 0,5 \cdot f_{v,p,d}$.

Em uma viga simplesmente apoiada com um vão L e com carga uniformemente distribuída de valor q , a cortante máxima de cálculo V_d pode ser expressa em função do momento máximo de cálculo $M_{m,d}$ da viga igualando à capacidade da seção, de acordo com a seguinte expressão:

$$V_d = 4 \cdot \frac{M_{m,d}}{L} \quad (\text{Eq. 5.23})$$

Onde se pode deduzir a tensão máxima de cálculo de cisalhamento na placa:

$$\tau_d = \frac{6 \cdot M_{m,d}}{n \cdot L \cdot t \cdot d} \quad (\text{Eq. 5.24})$$

5.3.5.12.4 Instabilidade local na placa

Na consolidação de um apoio em uma prótese de uma viga (Figura 5.26), a placa é encaixada na madeira sã e transpassada para a região de apoio. Nessa situação, a placa está submetida à possibilidade de flambagem lateral, e esmagamento, e a tensão máxima de flexão na placa é limitada pelo fenômeno de instabilidade de flambagem e de esmagamento. Stumes (1979) apud Arriaga et al (2002) propõem alguns fatores de minoração de resistência denominados por K_a e K_b , definidos pelas seguintes expressões:

$$K_a = 20 \cdot \frac{t}{d}; \quad K_b = 0,5 + \frac{d}{L_0} \quad (\text{Eqs. 5.25})$$

Sendo L_0 o comprimento livre de flambagem na placa (Figura 5.26). Caso algum desses coeficientes resulte menor que a unidade, as seguintes expressões devem ser verificadas:

$$\sigma_{p,d} \leq K_a \cdot f_{m,p,d}; \quad \sigma_{p,d} \leq K_b \cdot f_{m,p,d} \quad (\text{Eqs. 5.26})$$

Onde: $\sigma_{p,d}$ é a tensão de cálculo máxima de flexão na placa;

$f_{m,p,d}$ é a resistência de cálculo de flexão da placa.

Outra abordagem para o problema de instabilidade local pode ser baseada pelas formulações clássicas da resistência dos materiais. Segundo Argüelles et al (1996) apud Arriaga et al (2002), a força de reação R_d correspondente para o momento crítico que provoca a instabilidade na placa em situação de engastamento, com a carga aplicada na borda mais desfavorável é definida pela seguinte expressão:

$$P_{cr} = \frac{4,013}{L_0^2} \cdot \sqrt{G \cdot I_T \cdot E \cdot I_y} \cdot \left(1 - \frac{d}{2 \cdot L_0} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_y}{G \cdot I_T}} \right) \quad (\text{Eq. 5.27})$$

Onde:

L_0 é a distância do eixo de reação até à secção da madeira sã.

G é o módulo de elasticidade transversal (aço $G = 81.000 \text{ N/mm}^2$).

E é o módulo de elasticidade longitudinal (aço $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$).

I_T é o módulo de torção. Para secção retangular: $I_T = \frac{h \cdot b^3}{3}$

I_y é o momento de inércia da secção em torno do menor eixo. Para secção retangular: $I_y = \frac{h \cdot b^3}{12}$

5.3.5.12.5 Comprimento de ancoragem

O comprimento de ancoragem da placa na madeira sã deve ser calculado para transmitir os esforços de cisalhamento e momento fletor existente na secção interrompida. Por aproximação a expressão baseada na experimentação de Arriaga (1986) foi derivada para a determinação desse comprimento:

$$L_0 = \frac{V_{p,d}}{2 \cdot \mu} + \sqrt{\left(\frac{V_{p,d}}{2 \cdot \mu} \right)^2 + \frac{M_{p,d}}{\mu}} \quad (\text{Eq. 5.28})$$

$$\mu = f_{v,d} \cdot K_r \cdot \frac{d}{3} \quad (\text{Eq. 5.29})$$

Onde:

$f_{v,d}$ é a resistência de cálculo ao cisalhamento paralelo às fibras (deslizamento das fibras);

K_r é o coeficiente que multiplicado pela resistência ao cisalhamento paralelo às fibras resulta na resistência ao cisalhamento por rotação. O seu valor varia entre 0,10 e 0,50, dependendo da espécie.

d é a altura da placa

$V_{p,d}$ é a cortante de cálculo na secção interrompida (a uma distância L_0 do apoio), dividido pelo número de placas.

$M_{p,d}$ é o momento fletor de cálculo existente na seção intermediária do comprimento de ancoragem a uma distância igual a $L_0 + 0,5 \cdot L_a$, dividido pelo número de placas. Essa distância L_a não é conhecida e deve ser pré-dimensionada.

Na avaliação de instabilidade para a esbeltez da viga à relação L/h (vão / altura da seção) deve ser maior ou igual a $f_{m,d} / f_{v,d}$ (para uma madeira típica de conífera esta relação vale 10, em que abrange a maioria dos casos cuja esbeltez varia entre 17 a 19) e tomando como valores médios de $K_r = 0,3$ e $d = 0,9 \cdot h$, a expressão anterior pode ser simplificada, considerando-se três zonas ou seções nos tramos da viga (Figura 5.27):

- Zona Z1, para $x \leq \frac{L}{8} - 1,2 \cdot h$, e corresponde a consolidação na região de apoio das vigas. A cortante máxima e atinge o valor de cálculo $V_d = \frac{q \cdot L}{2}$, e o momento fletor de cálculo $M_d = \frac{q \cdot L^2}{18,3}$, para uma carga q uniformemente distribuída.
- Zona Z2, para $\frac{L}{8} - 1,2 \cdot h < x \leq \frac{L}{4} - 1,2 \cdot h$, a cortante máxima atinge o valor de cálculo $V_d = 3 \cdot \frac{q \cdot L}{8}$, e do momento fletor de cálculo $M_d = \frac{q \cdot L^2}{10,6}$.
- Zona Z3, para $x > \frac{L}{4} - 1,2 \cdot h$, a cortante máxima atinge o valor de cálculo $V_d = \frac{q \cdot L}{4}$, e o momento fletor máximo de cálculo $M_d = \frac{q \cdot L^2}{8}$.

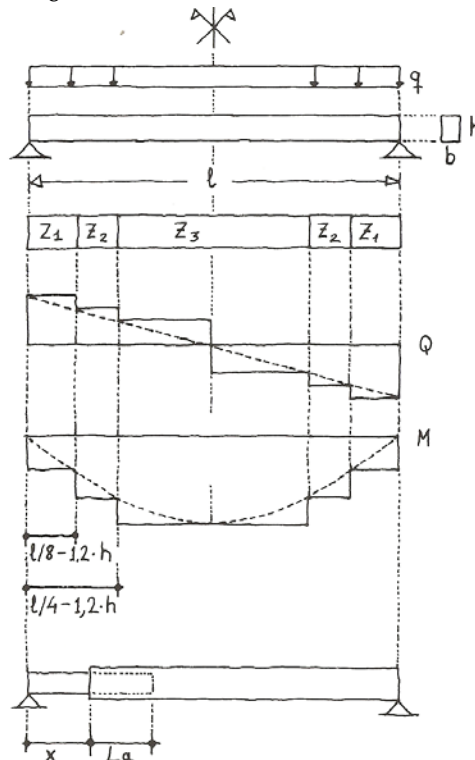


Figura 5.27. Zonas em vigas para simplificação na determinação do comprimento de ancoragem.
Fontes: ARRIAGA (1986); ARRIAGA et al (2002).

A expressão para o cálculo do comprimento de ancoragem é simplificada em:

$$L_a = K_1 \cdot \frac{A_n}{L} + \sqrt{\left(K_1 \cdot \frac{A_n}{L}\right)^2 + K_2 \cdot A_n} \quad (\text{Eq. 5.30})$$

Onde:

$A_n = \frac{b \cdot h}{n}$ é a seção da viga dividida pelo número de placas em cm^2

L é o vão da viga em cm.

$K_1 = 37$ e $K_2 = 8$ para Zona Z1

$K_1 = 27,7$ e $K_2 = 13,8$ para Zona Z2

$K_1 = 18,5$ e $K_2 = 18,5$ para Zona Z3

Arriaga et al (2002) recomendam o comprimento de ancoragem mínimo de $L_a = 2,5 \cdot d$.

No entanto, na Figura 5.28 são dispostos 3 ábacos para pré-dimensionamento do comprimento de ancoragem de acordo com a equação simplificada para cada zona referida (Z1; Z2 ou Z3).

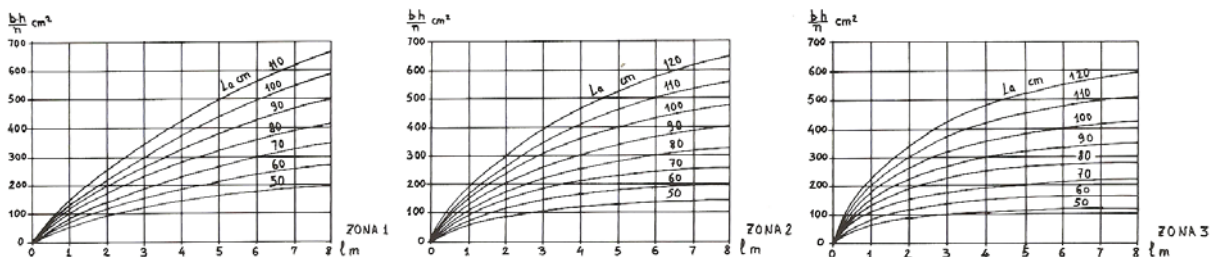


Figura 5.28. Ábacos para o pré-dimensionamento do comprimento de ancoragem. Fonte: ARRIAGA et al (2002)

5.3.5.12.6 Disposições construtivas

A posição das placas deve ser distribuída de tal forma que o eixo da linha neutra coincida com a seção da madeira, e devem ser posicionadas simetricamente em torno do eixo vertical de simetria da seção. Na Figura 5.29 são indicados os valores recomendados para os espaçamentos entre às placas e as bordas da seção [(STUMES, 1979); (ARRIAGA et al, 2002)].

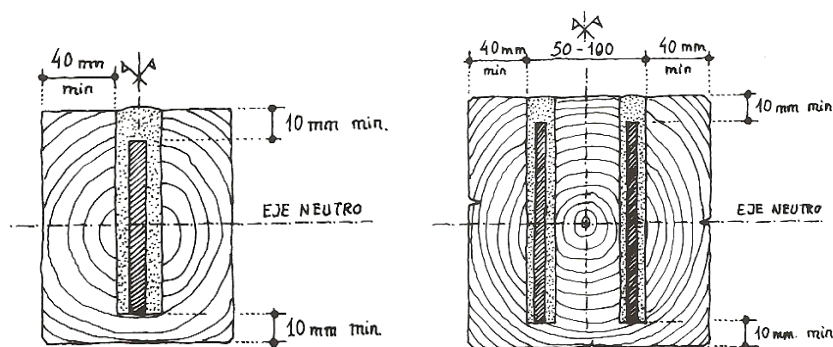


Figura 5.29. Recomendações por STUMES (1979) de disposições construtivas de placas na seção. Fontes: STUMES (1979); ARRIAGA et al (2002)

Cruz (2004) abordou aspectos fundamentais em sua tese referentes às emendas de próteses de madeira em extremidades de vigas de madeira, com deterioração nas proximidades das regiões de apoio, em reabilitações da parte afetada, de forma que suas características mecânicas e estéticas fossem alteradas o mínimo possível.

Cruz (2004) realizou ensaios experimentais em peças emendadas com placas de FRP coladas com resina epóxi, colada com resina poliéster e com resina poliéster e pinos de FRP, de maneira, para estudo do comportamento dessas ligações. Como mostram os estudos realizados anteriormente, que se referem à relação especial da resina poliéster e fibra de vidro com a madeira, as características de ductilidade encontradas na regeneração da viga são tão elevadas que permitem deformações notáveis sem que o colapso possa ser alcançado. No Brasil um exemplo dessa técnica não convencional de reabilitação de peças de madeiras antigas, utilizando resina poliéster reforçada com fibra de vidro foi aplicada por Cruz (2004) uma edificação de três pavimentos do Século XVII, do antigo Seminário de São Dâmaso, localizado no Centro Histórico de Salvador. As peças foram consolidadas inserindo duas chapas de resina de poliéster reforçadas com fibras de vidro, fixadas com posterior adição da mesma resina (Figura 5.30).



Figura 5.30. Reforço com placas de fibra de vidro coladas com resina de poliéster. Fonte: CRUZ (2004).

Segundo Cruz (1999) apud Cruz (2004) para que essas peças de reforço apresentem uma ruptura total do seu arranjo, em serviço, é preciso que ocorra um colapso da estrutura secundária, ou um enfraquecimento das fibras da madeira da viga, ou, ainda, que aconteçam outras causas secundárias.

5.3.6 Reforço com modificação da posição de apoio com adição de consolo

Essa técnica consiste na modificação do posicionamento dos apoios de peças biodeterioradas, geralmente em extremidades de viga, que são deslocadas para locais onde a madeira encontra-se sã, e isso pode resultar também na redução do vão da viga [(ARRIAGA et al, 2002); (GÓMEZ, 2007); (DIAS, 2008); (SAMPAIO da COSTA, 2009); (CARDOSO,

2010)]. Muitas vezes essa técnica pode ser utilizada em casos de vigas não visíveis apoiadas nas extremidades em paredes espessas, onde os suportes podem ser fixados de forma eficaz, Figura 5.31 (UZIELLI, 1995). Em elementos adicionais suporte para carregamentos, as cargas são parcialmente ou totalmente realizadas absorvidas por elementos adicionais, por exemplo, em vigas de aço ou concreto, colunas, etc.. Nessa técnica a concepção estrutural é alterada, a aparência estética e autenticidade são parcialmente perdidas.

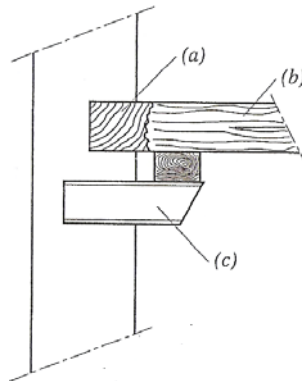


Figura 5.31. Exemplo modificação da posição de apoio com adição de consolo: extremidade de viga biodeteriorada (a), descarregada pela técnica de modificação da posição do apoio, movendo o ponto de apoio para a região da viga que esteja sã; (b) viga suportada sobre uma peça de madeira, que por sua vez é suportada sobre um consolo suporte com perfil metálico em forma de I (c), através de aparelhos de apoio de neoprene, destinado a evitar a condensação de umidade causada por diferenças de temperatura. Fonte: UZIELLI (1995)

5.3.7 Restabelecimento da estabilidade

A deformação estrutural excessiva ou instabilidade pode ser prevenida ou reduzida pela utilização de técnicas de reabilitação ou reforços com sistemas de contraventamentos (geralmente os elementos tracionados são confeccionados com aço, e os elementos comprimidos com madeira) (UZIELLI, 1995)^{pD4/9}. A autenticidade, geralmente é conservada, mas possivelmente com pequenas alterações estéticas. As melhorias significativas são obtidas no comportamento estático e dinâmico, embora a concepção estrutural original possa ser alterada. É necessário um grande cuidado na concepção de conexões entre elementos com diferentes deslocamentos previstos.

Sistemas de reabilitação como esse, podem ser utilizados para reestabelecer a correta geometria global (por exemplo, com objetivo de reduzir ou eliminar as deformações, de elementos estruturais, como colunas ou pilares, fora de prumo, etc.). No entanto, tem-se que tomar muito cuidado e precisão necessária na concepção e execução da obra, na escolha e fabricação de ligações, etc., utilizadas nessa técnica, pois podem ocorrer inversões de esforços na concepção estrutural (UZIELLI, 1995)^{pD4/9}.

5.3.8 Reabilitação e reforços de pavimentos

Uma espécie efetiva de trabalho, já implementado em diversos casos em diferentes países, é a técnica de sistemas de compósitos mistos de madeira-concreto-armado (Figura 5.32a) [(GODYCKI; PAWLICA; KLESZCZEWSKI, 1984 na Polônia); (SCHEWEIZERISH TECHNISCHE ZEITSCHRIFT, 1985 na Suíça); (NATTERER; HOEFT, 1987 na Suíça); (ERLER, 1989 na Alemanha); (ALESSI; RAFFAGLI; LAMBORGHINI, 1989 na Itália); (DI STEFANO, 1990); (MEIRHOFER; WIELAND; WILHELM, 1992 na Suíça); (UZIELLI, 1995); (CECCOTTI, 1995); (LOMBARDO et al, 1997); (ROS, 1997); (ESPARZA, 1998); (ARRIAGA et al, 2002); (JORGE, 2005); (CALIL et al, 2006); (GÓMEZ, 2007); (MOLINA, 2008); (CARVALHO, 2008); (DIAS, 2008); (REIS et al, 2008); (CARDOSO, 2010); (DIAS, 2014)]. Uma laje de concreto armado é ligada às vigas por meio de conectores de cisalhamento, de vários tipos tais como, fixação parcial de parafusos na madeira, pinos metálicos encaixados em ranhuras, pinos colados com adesivos epóxi, etc., de modo que o carregamento no pavimento não fique apenas suportado pelas vigas, mas também na contribuição efetiva na resistência, pelos momentos de flexão em que as lajes absorvam as tensões de compressão e vigas absorvam as tensões de tração. A resistência à flexão e a rigidez aumentam consideravelmente, e melhora o comportamento dinâmico. No entanto, as vigas precisam estar em boas condições, como forma a contribuir como comportamento de uma estrutura mista (UZIELLI, 1995).

As reabilitações e reforços com sistemas de tabuleiros com tábuas cruzadas (Figura 5.32b) e os de painéis de madeira (Figura 5.32c) também são técnicas semelhantes ao sistema misto madeira-concreto-armado, e geralmente são ligados por meio de pregos, parafusos ou fixadores semelhantes, aos utilizados nos sistemas mistos. No entanto, segundo Uzielli (1995) os sistemas de reforços com painéis de madeira, ainda não é amplamente utilizado na reabilitação de estruturas, no entanto, é muito mais leve do que o concreto, mas em contrapartida, proporciona uma melhoria estrutural menos eficiente que o sistema misto.

Pigozzo (2004) apresentou investigações realizadas sobre o comportamento dos sistemas mistos de madeira-concreto, apresentando estudos, projetos e aspectos construtivos de dois tabuleiros de pontes compostos de concreto armado e toras de *Eucalyptus citriodora*, tratadas com CCA. O sistema de ligação consiste na aplicação de barras de aço coladas com resina epóxi. O principal objetivo do trabalho de Pigozzo (2004) foi à investigação experimental da resistência de ancoragem desses conectores, fixados em furos formando 0°, 45° e 90° com as fibras da madeira, com diferentes tipos de resina epóxi e uma resina poliuretana.

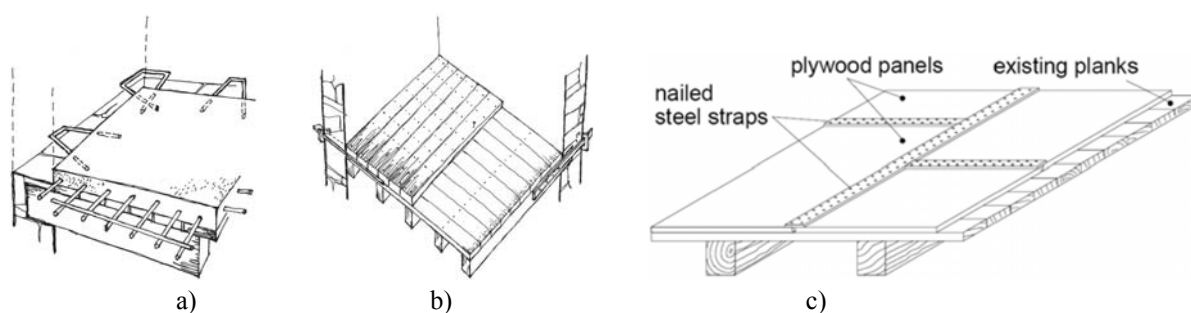


Figura 5.32. Reabilitações e reforços de pavimentos: a) sistemas mistos de madeira-concreto-armado GÓMEZ (2007); b) sistemas de tabuleiros com tábuas cruzadas, GÓMEZ (2007); c) sistemas com painéis de madeira, DIAS (2008).

5.3.9 Substituição de elementos estruturais

Há situações em que a falta de manutenção ou outras causas levam à deterioração tão graves que a substituição do elemento é a única alternativa economicamente viável. Nesses casos, a estrutura deve ser temporariamente escorada, o elemento deteriorado removido, e um novo elemento deve ser instalado em seu lugar. Antes de substituir os elementos, a causa da deterioração do elemento original deve ser eliminada corrigindo-a. Se o problema for estrutural, pode ser garantida uma maior capacidade na substituição. Se a biodeterioração é a fonte geradora de deterioração, devem ser tomadas medidas corretivas para excluir a umidade de elementos recém-instalados. Sempre que um elemento é substituído, é aconselhável inspecionar minuciosamente todos os componentes adjacentes até o ponto em contato com a biodeterioração, que pode não ter sido detectada quando o elemento estava no local. Áreas confirmadas ou suspeitas de biodeterioração devem ser tratadas no local antes de instalar o novo elemento. Vale ressaltar que a falha de um elemento estrutural original resulta de uma causa específica que também poderia causar uma falha prematura ou altos custos de manutenção para a substituição (RITTER, 1990)^{p14-27}. No entanto, para substituição de alguns ou de todos os elementos estruturais, por peças novas de madeira, sempre que possível, adota-se as técnicas originais. No entanto, devem ser tomados cuidados necessários, ao considerar a compatibilidade dessa técnica, na substituição de alguns elementos com espécies de madeira diferentes. Por exemplo, utilizando madeira insuficientemente seca, a retração pode levar a desequilíbrios não previstos ou problemas com redistribuições de tensões indesejadas (UZIELLI, 1995). A intervenção na substituição de peças originais em estruturas historicamente significativas é questionável, principalmente por arquitetos, uma vez que a autenticidade dos materiais é perdida, a estética e a autenticidade da concepção pode ser conservada (UZIELLI, 1995).

No entanto, em algumas estruturas pode ser impraticável substituir um determinado elemento em função das dificuldades com a remoção do elemento deteriorado ou posicionamento de um novo elemento em seu lugar. Uma solução alternativa é a de adicionar um elemento paralelo, como foi apresentado a exemplo das *técnicas de reabilitações ou reforços com aumento de inércia com adição de peças*, como por exemplo, com cobrejuntas, e que seja estruturalmente capaz de resistir às cargas aplicadas anteriormente para o elemento original. A utilização de elementos paralelos, do mesmo grupo (peças de mesmas propriedades físicas, dimensões e comprimentos dispostas paralelamente), são mais aplicáveis quando se verificam danos de sobrecarga ou outros danos mecânicos. Quando os elementos existentes estão biodeteriorados, certas medidas adequadas devem ser tomadas para erradicar a infecção e evitar a sua propagação para o novo componente. As partes biodeterioradas do elemento devem ser removidas e as regiões restantes tratadas *in loco*. Vale frisar, que a fonte de umidade, e infiltrações que favoreçam as condições de biodeterioração devem ser eliminadas (RITTER, 1990).

5.4 Propostas de Técnicas de Reabilitação

5.4.1 Estudo de Caso R1: Propostas de técnicas de reabilitação em vigas MLC com parafusos auto-atarraxantes

Como contribuição, nessa etapa do trabalho, foram estudadas duas propostas de técnica de reabilitação com o uso de parafusos auto-atarraxantes em vigas de Madeira Laminada Colada (MLC), com o propósito de aumentar a rigidez efetiva do elemento estrutural.

5.4.1.1 Metodologia

O desenvolvimento desse trabalho foi realizado através de pesquisas bibliográficas, análises analíticas e ensaios em laboratório. A contribuição original nessa linha está relacionada à avaliação de rigidez das propostas de *Técnicas de Reabilitação* de viga de Madeira Laminada Colada (MLC) utilizando parafusos auto-atarraxantes em prótese de MLC Proposta R1-MLC1 e em reabilitações de fendas longitudinais Proposta R1-MLC2.

5.4.1.2 Escolha dos parafusos auto-atarraxantes HBS

Os parafusos auto-atarraxantes, como a maioria dos pinos metálicos, são resistentes a carregamentos axiais e às forças laterais [(CORREIA, 2002); (DUARTE, 2004); (CALIL NETO, 2014)]. Esses parafusos auto-atarraxantes são muito utilizados em vários países da Europa, EUA e Japão. Para a realização dessa pesquisa, foram escolhidos os parafusos auto-atarraxantes para usos estruturais da série HBS Rothofixing, da empresa Rothoblaas. No Brasil, recentemente esses parafusos tem sido importado, e existem poucas linhas de pesquisas com o uso desses conectores em Vigas de Madeira Laminada Colada (MLC) em nosso País. No entanto, uma das mais recentes alternativas para as ligações em elementos estruturais de MLC, estudadas por Calil Neto (2014) foi a utilização de parafusos auto-atarraxantes solicitados por esforços que podem ser laterais e axiais, de cisalhamento, tração ou compressão.

No entanto, a utilização desses parafusos no nosso País, ainda tem sido muito restrita, em função principalmente do alto custo, na taxa de importação que continua expressiva no Brasil. Outro fator é que a ligação com estes pinos ainda não é abordada pela Norma Brasileira ABNT NBR 7190:1997 de Projeto de Estruturas de Madeiras, mas além da pesquisa de Calil Neto (2014) pode-se recorrer com auxílio de Normas Internacionais, tais como as Europeias EN 26891:1991, EN 28970:1991 e EN 1995-1-1:2004; as Norte-Americanas ASTM D 1761:2012, ISO 261:1998, ISO 262:1998; a Chilena NCh 1198:2006 e a Alemã DIN 1052:2004. Analisando por exemplo a situação americana, Calil Neto e Rocco Lahr (2014) apresentam algumas vantagens dos parafusos auto-atarraxantes se comparados aos parafusos comuns, que justificam sua extensa utilização:

- ✓ em certos casos podem ser mais baratos que os parafusos comuns;
- ✓ apresentam menores efeitos prejudiciais que os parafusos comuns, quando as peças ligadas estão sujeitas à variação de umidade;
- ✓ esses parafusos, em relação aos pregos, apresenta reversibilidade na ligação, pois podem ser removidos e reaplicados, praticamente sem perda de capacidade de resistência ao arrancamento.

Além das vantagens já apresentadas, e como geralmente os locais a serem reabilitados são de difícil acesso, aqui as principais motivações que levaram à escolha das propostas das *Técnicas de Reabilitação* e de vigas de Madeira Laminada Colada (MLC) com os parafusos auto-atarraxantes para usos estruturais da série HBS (Figura 5.33) que podem promover facilidades em auxiliar as reabilitações *in loco*, foram:

- ponta tipo saca-rolhas cavidade autoperfurante, sem necessidade de perfuração, Figura 5.33a;
- roscas afiadas para otimização da passagem na penetração, Figura 5.33b;
- fresa na parte superior da rosca para aperto final, aproximando as lamina de madeira, umas contra as outras na região e unindo as fendas e/ou delaminações, Figura 5.33c;
- haste lisa que segundo fornecedor, se a superfície for encerada, pode reduzir o esforço de aparafusamento em até 25%, Figura 5.33d;
- possui sistema de cabeça anti-deslizante, Figura 5.33e;
- podem ser vantajosos em ligações em que o comprimento necessário do parafuso passante é muito grande ou quando o acesso a um lado da ligação é restrito;
- podem ser menos agressivos às peças de madeira, pois são inseridos de apenas um lado da ligação, ficando a ponta sempre embutida e protegida na peça.

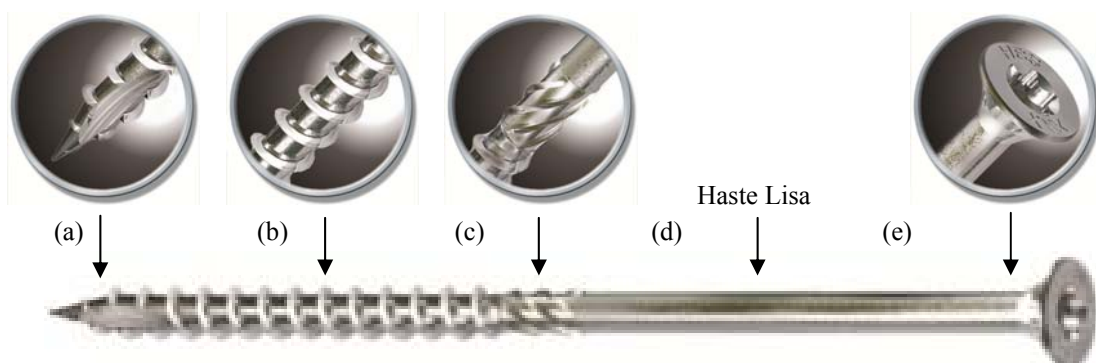


Figura 5.33. Características funcionais dos parafusos auto-atarraxantes para usos estruturais da série HBS.

5.4.1.3 Conceitos fundamentais de rigidez das ligações da NBR 7190:1997

A NBR 7190:1997 não admite ligações com um único pino, e ligações com 2 ou 3 pinos são consideradas deformáveis, sendo seu uso permitido apenas para estruturas isostáticas. O dimensionamento da ligação é feito como se ela fosse rígida, dando-se uma contra-flecha compensatória à estrutura em questão. Dessa maneira, Oliveira (2001) observa que, de acordo com o texto normativo, fica praticamente impedido o uso de 2 ou 3 pinos em ligações de estruturas hiperestáticas, por influenciar a distribuição de esforços de maneira não conhecida.

Já as ligações com 4 ou mais pinos são consideradas rígidas, quando respeitadas as condições de pré-furação adotadas para pregos e parafusos. No entanto, essa analogia está muito simplificadora, e as condições propostas pela NBR7190/97, quanto à rigidez da ligação, devem ser criteriosamente analisadas e questionadas para cada caso e para cada estrutura. Tais afirmações podem ser contrariadas em diversas situações nas quais o comportamento da

ligação pode indicar uma rigidez e uma estabilidade perfeitamente compatíveis com as condições de exposição e de utilização de uma determinada estrutura. Da mesma forma, o uso de quatro pinos não pode garantir que a ligação seja considerada rígida (OLIVEIRA, 2001). Pois na atualidade, já é de conhecimento às ligações possuem comportamentos semi-rígidos.

5.4.1.4 Estudo de Caso R1: Proposta R1-MLC1 técnica de reabilitação com prótese MLC com ligação momento-resistente

Como contribuição a título de originalidade a Proposta R1-MLC1 de reabilitação, trata-se da proposta desenvolvida de prótese de MLC (para região próxima ao apoio) fixadas com ligação tipo coroa, com parafusos auto-atarraxantes HBS dispostos alternadamente, em aplicações substituindo a região deteriorada de extremidade de viga MLC, por peça nova com propriedades físicas de madeira semelhantes (Figura 5.37a), e podendo quando possível ser da mesma espécie. A proposta de otimização de cálculo se dá pelo mecanismo de transmissão de forças aos parafusos, em análises de ligações momento-resistente, tipo coroa, admitindo os critérios descritos por Racher (1995), com o modelo analítico apresentado no curso C16/STEP1 (1995) no *Structural Timber Education Program*, que objetivou a aplicabilidade de ligações momento-resistente conforme o Eurocode EC 5 de 1993.

A ligação momento-resistente, tipo coroa, é geralmente aplicada em ligação semi-rígida em nó de pórtico (Figura 5.34a), e em ligação de emenda de seção de viga sujeita a momento fletor (Figura 5.34b) [(RACHER, 1995); (LOKAJ, 2008)^{p117}]. A principal diferença entre as duas configurações é a de que, na maioria dos casos práticos, a ligação na Figura 5.34a é executada sem recurso de chapas de aço, sendo o pilar confeccionado por dois montantes, um de cada lado da viga central, e já para o caso da emenda de viga (Figura 5.34b) é geralmente inserida uma chapa no interior das peças a emendar ou, em alternativa, duas chapas nas faces resultando, em qualquer dos casos uma ligação plana [(NEGRÃO; FARIA, 2009)].

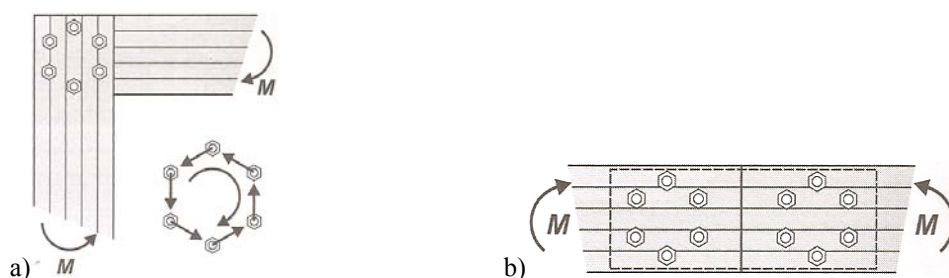


Figura 5.34. Ligação momento-resistente (tipo coroa) em: (a) nó de pórtico; (b) emenda de viga.

Fonte: NEGRÃO e FARIA (2009)

As hipóteses iniciais admitem que os parafusos permaneçam rígidos durante a aplicação do carregamento na ligação e que os materiais envolvidos na ligação comportam-se no regime elástico. Ou seja, admite-se que os elementos estruturais de madeira conectados pela ligação são infinitamente rígidos em comparação à rigidez da própria ligação (RACHER, 1995). Essa rigidez à rotação da ligação é expressa por:

$$K_r = \beta_r \cdot \frac{E \cdot I}{L} \quad (\text{Eq. 5.31})$$

Onde:

- K_r → constante de rigidez à rotação da ligação;
- β_r → parâmetro adimensional proporcional à rigidez à rotação;
- EI → rigidez à flexão do elemento conectado pela ligação;
- L → comprimento do elemento que está conectado pela ligação.

Para derivar as equações de projeto, o comportamento mecânico da ligação e o mecanismo de transmissão de forças pelos parafusos admitem a análise para ligações submetidas a resistir momento fletor. Para combater o momento aplicado, os parafusos são solicitados em diferentes ângulos relacionados às fibras. Considerando o comportamento ortotrópico da madeira, a distribuição de forças nos parafusos é considerada proporcional à rigidez ao embutimento de cada parafuso na madeira (RACHER, 1995). Assim, o sistema consiste em uma modelagem de ligação na qual o efeito de embutimento, no contato entre o parafuso e a madeira do elemento estrutural a ela conectada, é representado simplificada por uma mola elástica. Para satisfazer o equilíbrio, o momento fletor transmitido à ligação é equilibrado pelas forças de reação em cada um dos parafusos. Essas forças reação possuem direções específicas que variam conforme a posição de cada parafuso, portanto com diferentes ângulos relativos às fibras da madeira [(RACHER, 1995); (VALLE, 1999)].

Como a condição deve admitir que os elementos conectados à ligação sejam perfeitamente rígidos, os deslocamentos angulares na ligação são consequência da deformação por embutimento dos parafusos na madeira. A Figura 5.35 ilustra o princípio de funcionamento do modelo exemplificado por Racher (1995), aplicando-o a uma ligação momento-resistente, tipo coroa, com parafusos, usuais em ligações de emenda de viga MLC, onde os elementos da madeira são dispostos paralelamente. Nesse sistema a definição geométrica e das forças nos parafusos, atuam como um mecanismo de equilíbrio de momento resistente, em ligações de madeira.

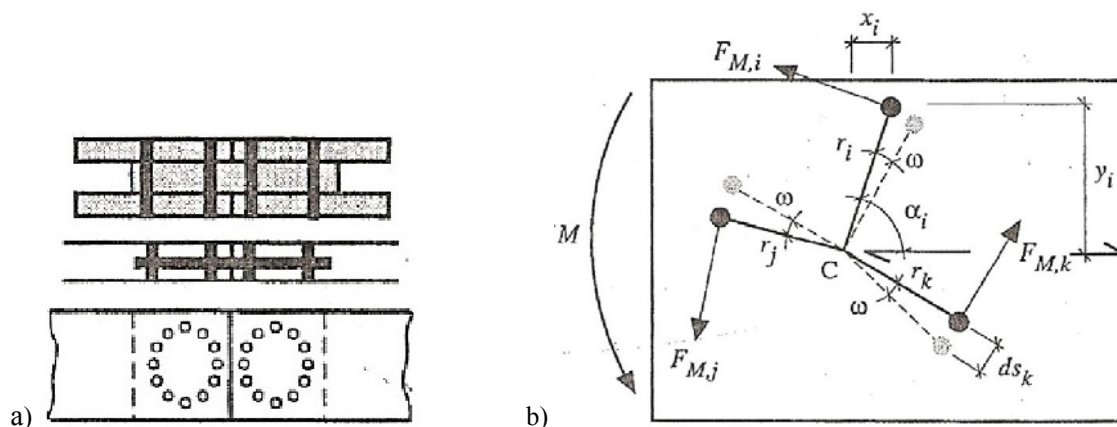


Figura 5.35. Ligações Momento-resistente: a) ligações de emenda de viga MLC com elementos paralelos; b) Mecanismo de equilíbrio entre o momento (M) aplicado e as forças de reação exercidas em cada parafuso sobre a madeira. Fonte: RACHER (1995)

Onde:

- M → momento aplicado à ligação;
- C → centro geométrico da ligação;
- x_i, y_i → distâncias do pino i ao centro C ;
- r_i → distância do centro C ao parafuso i ;
- α_i → ângulo relativo entre r_i e a direção das fibras na madeira;
- $F_{M,i}$ → força de reação no parafuso i ;
- ω → deslocamento angular da ligação;
- ds_k → deslocamento linear no parafuso k .

A condição de equilíbrio entre o momento aplicado M e as forças reativas $F_{M,i}$ em cada parafuso admite que:

$$M = \sum_{j=1}^n F_{M,j} \cdot r_j \quad (\text{Eq. 5.32})$$

$$\text{e para o índice } i \text{ têm-se: } M = \sum_{i=1}^n F_{M,i} \cdot r_i \quad (\text{Eq. 5.33})$$

Onde n é o número de parafusos na ligação.

Como os parafusos são admitidos como rígidos e os materiais estão admitidos no regime elástico linear, o deslocamento linear de cada parafuso é dado por:

$$ds_k = \frac{F_{M,k}}{K_{\alpha_k}} \quad (\text{Eq. 5.34})$$

$$\text{e para o índice } i \text{ têm-se: } ds_i = \frac{F_{M,i}}{K_{\alpha_i}} \quad (\text{Eq. 5.35})$$

Onde:

$$K_{\alpha_k} \rightarrow \text{rigidez ao embutimento na madeira na direção de } F_{M,k}: \left(\alpha_k + \frac{\pi}{2} \right) \quad (\text{Eq. 5.36})$$

$$K_{\alpha_i} \rightarrow \text{rigidez ao embutimento na madeira na direção de } F_{M,i}: \left(\alpha_i + \frac{\pi}{2} \right) \quad (\text{Eq. 5.37})$$

Para pequenos deslocamentos admite-se a relação:

$$\omega = \frac{d_{S,i}}{r_i} = \frac{F_{M,i}}{K_{\alpha_i} \cdot r_i} = \frac{F_{M,j}}{K_{\alpha_j} \cdot r_j} = \frac{F_{M,k}}{K_{\alpha_k} \cdot r_k} \quad (\text{Eq. 5.38})$$

Das relações têm-se:

$$M = \sum_{i=1}^n F_{M,i} \cdot r_i = \sum_{i=1}^n \frac{F_{M,i}}{K_{\alpha_i} \cdot r_i} \cdot K_{\alpha_i} \cdot r_i^2 = \sum_{i=1}^n \omega \cdot K_{\alpha_i} \cdot r_i^2 = \omega \sum_{i=1}^n K_{\alpha_i} \cdot r_i^2 \quad (\text{Eq. 5.39})$$

Isolando o deslocamento angular ω têm-se:

$$\omega = \frac{M}{\sum_{i=1}^n K_{\alpha_i} \cdot r_i^2} \quad (\text{Eq. 5.40})$$

Sabendo-se que a rigidez à rotação de uma ligação é a função entre o momento aplicado e a rotação relativa a ele associada, têm-se:

$$K_r = \frac{M}{\omega} = \sum_{i=1}^n K_{\alpha_i} \cdot r_i^2 \quad (\text{Eq. 5.41})$$

A relação permite estimar o valor da rigidez à rotação de uma ligação, uma vez respeitadas às hipóteses iniciais da formulação. Para que esta relação possa ser aplicada, é necessário que sejam conhecidas a geometria da ligação e a rigidez de embutimento na madeira para um ângulo α de força qualquer [(RACHER, 1995); (VALLE, 1999)]. O modelo proposto por Racher (1995) para estimar a rigidez de embutimento para um ângulo α qualquer é partir dos valores de rigidez paralelo (K_0) e normal às fibras (K_{90}), com o uso da equação de Hankinson:

$$K_{\alpha_i} = \frac{k_0 \cdot K_{90}}{K_0 \cdot \text{sen}^2(\alpha_i + 90^\circ) + K_{90} \cdot \text{cos}^2(\alpha_i + 90^\circ)} = \frac{k_0 \cdot K_{90}}{K_0 \cdot \text{sen}^2(\alpha_i) + K_{90} \cdot \text{cos}^2(\alpha_i)} \quad (\text{Eq. 5.42})$$

A NBR 7190:1997 admite desprezar a influência da inclinação α das tensões normais em relação às fibras da madeira até o ângulo $\alpha=6^\circ$ ($\text{arctg } \alpha = 0,10$). Para inclinações maiores é preciso considerar a redução de resistência, adotando-se a equação de Hankinson, que fica expressa por:

$$f_\alpha = \frac{f_0 \cdot f_{90}}{f_0 \cdot \text{sen}^2 \alpha + f_{90} \cdot \text{cos}^2 \alpha} \quad (\text{Eq. 5.43})$$

A força de reação no parafuso i para equilibrar o momento na ligação é obtida por:

$$\omega = \frac{F_{M,i}}{K_{ai} \cdot r_i} = \frac{M}{K_r} \therefore F_{M,i} = \frac{K_{ai} \cdot r_i}{K_r} \cdot M \quad (\text{Eq. 5.44})$$

Assim, o modelo estima a rigidez à rotação de uma ligação com parafusos submetida a momento fletor, bem como as forças transmitidas por cada um dos parafusos. Esta formulação pode ser extensível a outros padrões de geometria de ligações além da disposição circular de pinos (VALLE, 1999).

Caso existam outros esforços atuando na ligação, tais como esforços normal e cortante, Racher (1995) sugere que seja considerada uma distribuição uniforme entre os parafusos da ligação. A parcela de esforço transmitida por cada parafuso pode ser determinada por:

$$F_{V,i} = \frac{V}{n} \quad (\text{Eq. 5.45})$$

$$F_{N,i} = \frac{N}{n} \quad (\text{Eq. 5.46})$$

Onde:

- N → esforço normal aplicado na ligação;
- $F_{N,i}$ → força reação ao esforço normal N no parafuso i ;
- V → esforço cortante aplicado na ligação;
- $F_{V,i}$ → força reação ao esforço cortante V no parafuso i ;
- n → número de parafusos na ligação;

A carga total transmitida em cada parafuso da ligação é a resultante vetorial das componentes $F_{N,i}$; $F_{V,i}$; $F_{M,i}$ (Figura 5.36):

$$F_i = \sqrt{(F_{N,i} + F_{M,i} \cdot \text{sen } \alpha_i)^2 + (F_{V,i} + F_{M,i} \cdot \text{cos } \alpha_i)^2} \quad (\text{Eq. 5.47})$$

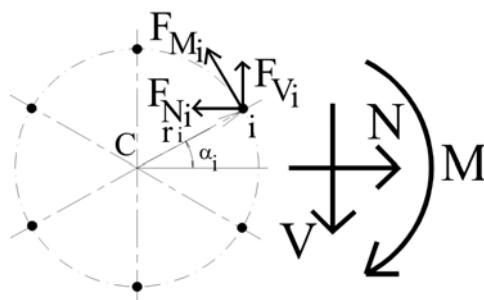


Figura 5.36. Forças transmitidas em um pino como reação aos esforços normal, cortante e momento fletor.

Fonte: VALLE (1999)

Para o modelo experimental da prótese aqui proposto, com ligação momento-resistente, tipo coroa, sem chapa interna, foram utilizados 16 parafusos auto-atarraxantes HBS 8x100, dispostos alternadamente (Figuras 5.37 e 5.38). Esta metodologia pode ser empregada para vigas de MLC com seções transversais de médias a grandes alturas, devendo respeitar além

das propriedades físicas de resistência e rigidez, também os espaçamentos mínimos normativos entre parafusos e bordas, para evitar fendilhamentos indesejáveis (BRITO; CALIL JR., 2014). Aplicando a equação de Hankinson obtém-se a equação para o cálculo do momento-resistente característico $M_{Rk,CG}$ para o modelo de reforço proposto:

$$M_{Rk,CG} = 2 \cdot F_{c0} \cdot r + 4 \cdot F_{c22,5} \cdot r + 4 \cdot F_{c45} \cdot r + 4 \cdot F_{c67,5} \cdot r + 2 \cdot F_{c90} \cdot r \quad (\text{Eq. 5.48})$$

Foram consideradas as situações características para condições de ensaios em laboratório:

$$M_{Rk,CG} \geq M_{Sk,CG} \quad (\text{Eq. 5.49})$$

Onde:

- $M_{Sk,CG}$ → momento solicitante característico atuante no centro geométrico (CG) da ligação;
- F_{c0} → força em pino na posição de resistência à compressão paralela às fibras;
- $F_{c22,5}$ → força em pino na posição de resistência à compressão com inclinação a 22,5° em relação às fibras;
- F_{c45} → força em pino na posição de resistência à compressão com inclinação a 45° em relação às fibras;
- $F_{c67,5}$ → força em pino na posição de resistência à compressão com inclinação a 67,5° em relação às fibras;
- F_{c90} → força em pino na posição de resistência à compressão normal às fibras;
- r → raio da coroa da ligação momento-resistente.

No entanto a proposta para situação de projeto deve atender a condição de cálculo:

$$M_{Rd,CG} \geq M_{Sd,CG} \quad (\text{Eq. 5.50})$$

Onde:

- $M_{Rd,CG}$ → momento resistente de cálculo atuante no centro geométrico (CG) da ligação;
- $M_{Sd,CG}$ → momento solicitante de cálculo atuante no centro geométrico (CG) da ligação;

Conforme já comentado, para o modelo do ensaio, essa prótese foi idealizada através do sistema de ligação *Tipo Coroa*, em disposição com geometria circular, com uso de 16 parafusos auto-atarraxantes HBS 8x100, determinados conforme o Eurocode EC 5, dispostos alternadamente, atuando como mecanismo de equilíbrio de momento resistente, respeitando a condição $MR \geq MS$, que foram resultados da primeira etapa do estudo, como critérios para o dimensionamento do modelo dessa proposta de técnica de reabilitação de emenda de prótese MLC com ligação momento-resistente, conforme a disposição geométrica nos detalhes do projeto de reabilitação indicados nas Figuras 5.37 e 5.38 (BRITO; CALIL JR., 2014). No entanto, vale alertar que a largura em cada peça da ligação momento-resistente (*Tipo Coroa*), nesse modelo experimental proposto, têm 50% da largura efetiva da seção transversal viga. Além disso, a assimetria do modelo de corte das peças na ligação em relação ao plano médio longitudinal nessa configuração pode originar torção ou flexão no plano transversal. Assim, esse tipo de ligação é mais indicado para regiões próximas ao apoio, onde é menor a incidência de momento fletor.

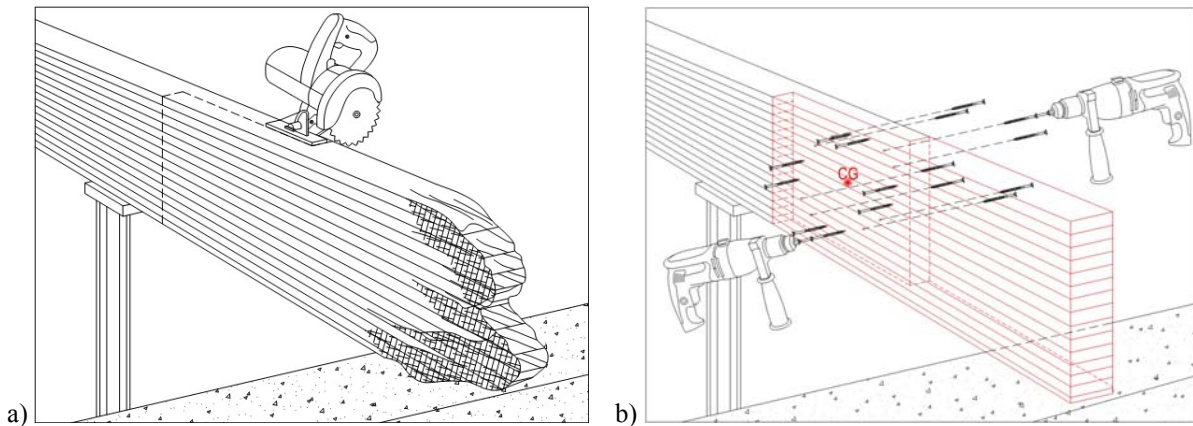


Figura 5.37. Proposta R1-MLC1: técnica de reabilitação com prótese para viga MLC com ligação momento-resistente *Tipo Coroa*: a) corte para substituição de extremidade de viga MLC deteriorada; b) fixação da prótese MLC com parafusos auto-atarraxantes HBS 8x100 dispostos alternadamente, BRITO.



Figura 5.38. Proposta R1-MLC1: Confecção de prótese para viga MLC com ligação momento-resistente *Tipo Coroa*. Foto: BRITO e CALIL JR. (2014)

5.4.1.5 Estudo de Caso R1: Proposta R1-MLC2 técnica de reabilitação de costura de fendas em vigas MLC com ligação por cisalhamento

Os esforços cortantes máximos em vigas biapoiadas de madeira, ocorrem nas regiões de apoio. Nos casos de vigas de MLC, surgem tensões tangenciais de cisalhamento, em que as fibras tendem à ser cortadas transversalmente, ocasionando o esmagamento. Por outro lado, por estarem submetidas simultaneamente à flexão e ao cisalhamento, desenvolvem-se ao longo do comprimento das vigas tensões tangenciais de cisalhamento e de deslizamento, que para casos de problemas de aderência do adesivo na linha de cola, tendem a surgir rupturas por deslizamento, no plano mais frágil, geralmente tendendo a ocorrer na linha de cola e/ou nas fibras mais superficiais (Figura 5.39) [(ALVAREZ et al, 2000) apud (DIAS, 2008)^{p126}].

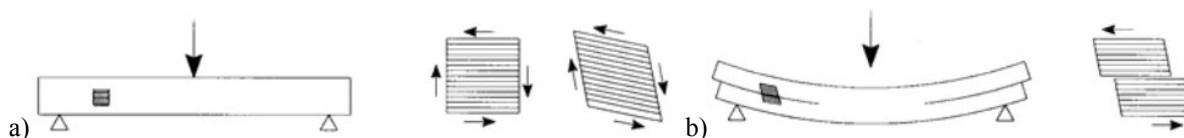


Figura 5.39. Tensões tangenciais de cisalhamento e de deslizamento em vigas de MLC. Fonte: ALVAREZ et al (2000) apud DIAS (2008)^{p126}

Para esses casos, a Proposta TR-MLC2 trata-se de reabilitação de costuras com parafusos auto-atarraxantes em delaminações e/ou fendas longitudinais expressivas (Figura 5.42) para cálculos de ligações resistentes ao cisalhamento (Figuras 5.39, 5.40 e 5.41), admitindo a otimização da teoria de peças compostas por elementos justapostos solidarizados continuamente, conforme o Eurocode EC 5 (1993); EN 1995-1-1:2004, e que podem ser consideradas como se fossem peças maciças, com as prescrições estabelecidas pela proposta de projeto de atualização da norma NBR 7190:2011 [ABNT/CB-02 REVISÃO ABNT NBR 7190 NOVEMBRO: 2011].

Geralmente as juntas de cola são consideradas como ligações rígidas. Já a ligação em peças compostas pode ser efetiva com ligação semi-rígida, tais como pregos, parafusos ou cavilhas. Cada pino deve resistir à força de cisalhamento (v), que gera um pequeno deslocamento (u). A relação entre a força de cisalhamento (v) e o deslocamento (u) nos elementos na seção é denominada por módulo de deslizamento (k). Kreuzinger (1995) ilustra modelos de ligações resistentes ao cisalhamento, como pode ser observado na Figura 5.40.

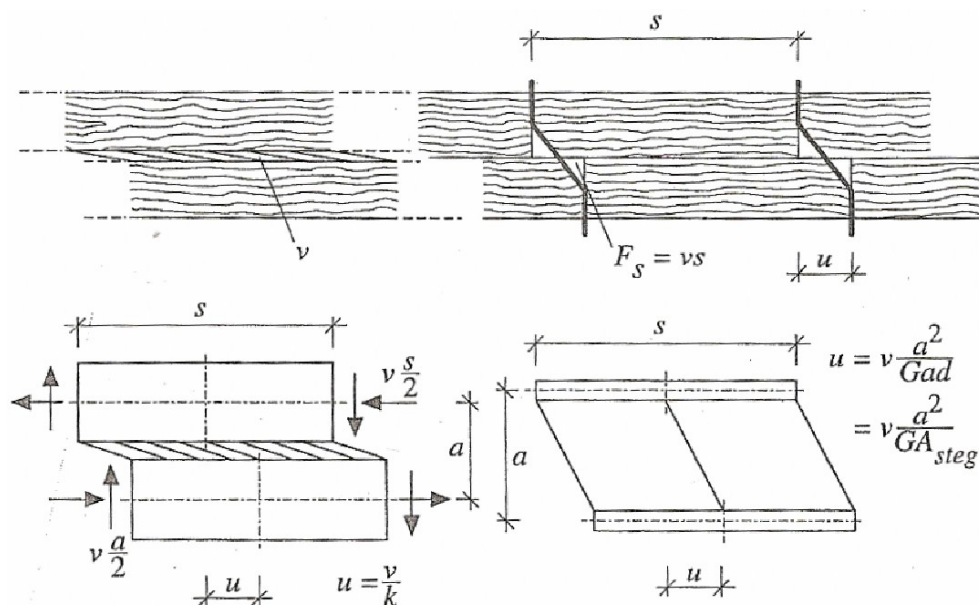


Figura 5.40. Módulo de deslizamento (K): relação da força de cisalhamento (v) e o deslocamento (u) entre os elementos. Fonte: KREUZINGER (1995)

Para o cálculo das equações é imprescindível distribuir as ligações continuamente ao longo da viga. Como resultado tem-se uma força de cisalhamento (v) atuando continuamente, de modo que:

$$v = \frac{F_s}{S}; k = \frac{K}{S}; v = K \cdot u \quad (\text{Eq. 5.51})$$

Para o projeto de distribuição dos pinos ao longo da viga são variáveis em todos os elementos, as tensões normais (σ), as tensões de cisalhamento (τ), as forças de cisalhamento (v) e os deslocamentos (u). A teoria de flexão de vigas não se aplica para vigas ligadas mecanicamente, em função dos deslocamentos nas conexões. No entanto, a teoria pode ser aplicável individualmente para análise dos elementos (KREUZINGER, 1995).

As soluções analíticas são desenvolvidas através do uso de equações diferenciais de equilíbrio ou pelo método da energia [(MÖHLER, 1956); (HEIMESHOFF, 1987) apud (KREUZINGER, 1995)]. As condições de equilíbrio de um elemento incremental d_x , em viga de seção composta, para o desenvolvimento de equações diferenciais, são ilustradas na Figura 5.41, e indicadas no corte transversal T para dois elementos (alma e mesa).

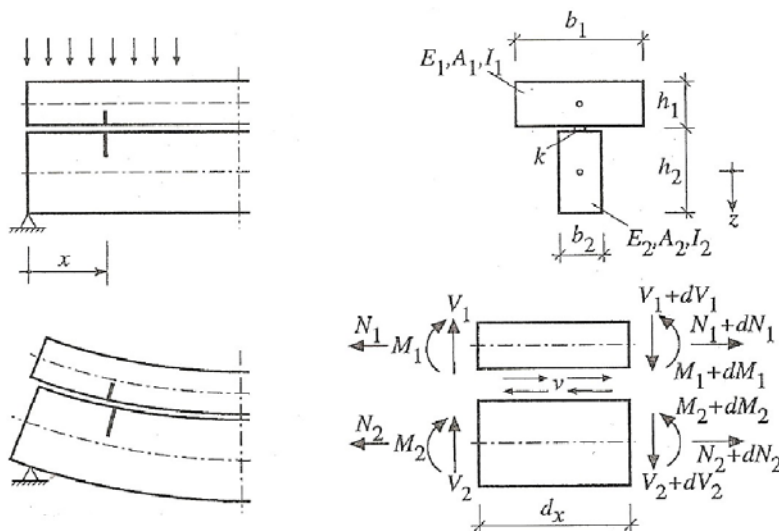


Figura 5.41. Equilíbrio de um elemento incremental d_x em viga de seção composta. Fonte: KREUZINGER (1995)

Para o método simplificado, a proposta para o cálculo de reabilitações de delaminações e /ou fendas longitudinais, admitindo a seção como peça composta, seja de seção T, I ou caixão, o módulo de deslizamento é determinado em função da densidade da madeira e do diâmetro do pino utilizado. No caso de ligações com pré-furação os valores de K são dados por:

$$K_{ser} = \frac{\rho_k^{1,5} \cdot d}{20} \quad (\text{Eq. 5.52})$$

$$K_u = \frac{2}{3} \cdot K_{ser} \quad (\text{Eq. 5.53})$$

onde:

K_{ser} → módulo de deslizamento para o estado limite de serviço (N/mm);

K_u → módulo de deslizamento para o estado limite último (N/mm);

d → diâmetro do pino em mm;

ρ_k → densidade da madeira em kg/m³. Se as peças forem de madeiras diferentes deve-se utilizar uma densidade equivalente:

$$\rho_k = \sqrt{\rho_{k1} \cdot \rho_{k2}} \quad (\text{Eq. 5.54})$$

O fator de redução da inércia do conjunto é dado por:

$$\gamma_2 = 1 \text{ e } \gamma_i = \left[1 + \frac{\pi^2 \cdot E_i \cdot A_i \cdot s_i}{K_i \cdot L^2} \right]^{-1} \text{ para } i=1 \text{ e } 3 \quad (\text{Eq. 5.55})$$

Onde:

E_i → módulo de elasticidade de cada elemento da seção transversal;

A_i → área de cada parte da seção transversal;

S_i → espaçamento dos pinos na interface do elemento i com o elemento 2;

K_i → módulo de deslizamento da ligação do elemento i com o elemento 2;

L → vão efetivo da viga, sendo:

$L_{vbia} = v\tilde{a}o$ → para vigas biapoiadas;

$L_{vcont} = 0,8 \cdot v\tilde{a}o$ → para vigas contínuas;

$L_{vbal} = 2 \cdot v\tilde{a}o$ → para vigas em balanço.

O espaçamento dos pinos pode ser uniforme ou variar conforme a força de cisalhamento, entre um valor mínimo s_{\min} e s_{\max} , sendo:

$$s_{\max} \leq 4 \cdot s_{\min} \quad (\text{Eq. 5.56})$$

Nesse último caso um valor efetivo de espaçamento pode ser usado, dado por:

$$s_{ef} = 0,75 \cdot s_{\min} + 0,25 \cdot s_{\max} \quad (\text{Eq. 5.57})$$

A distância entre os centros de gravidade da seção até a linha neutra da peça é dada por:

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_1 \cdot A_1 \cdot (h_1 + h_2) - \gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot (h_2 + h_3)}{2 \cdot \sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i} \quad (\text{Eq. 5.58})$$

$$a_1 = \left(\frac{h_1 + h_2}{2} \right) - a_2 \quad (\text{Eq. 5.59})$$

$$a_3 = \left(\frac{h_2 + h_3}{2} \right) - a_3 \quad (\text{Eq. 5.60})$$

onde:

a_i → distância do centróide da área de cada elemento que compõe a seção transversal até a linha neutra y-y, desde que a_2 não seja menor que zero e não maior que $h_2/2$;

h_i → altura de cada parte dos elementos componentes da seção transversal com h_3 nulo para seção T;

b_i → largura de cada parte dos elementos componentes da seção transversal;

Assim é possível o cálculo da rigidez efetiva levando em consideração a rigidez da ligação.

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i \cdot I_i + \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i^2) \quad (\text{Eq. 5.61})$$

onde: I_i → momento de inércia de cada elemento componente da seção transversal I:

$$I_i = \frac{b_i \cdot h_i^3}{12} \quad (\text{Eq. 5.62})$$

Da mesma forma, são equacionadas as tensões normais e cisalhantes atuantes nas peças, bem como a força aplicada nos elementos de ligação ocasionada pelo deslizamento entre as peças. As tensões normais devem ser calculadas conforme mostrado a seguir:

$$\sigma_i = \gamma_i \cdot E_i \cdot a_i \cdot \frac{M}{(EI)_{ef}} \quad (\text{Eq. 5.63})$$

$$\text{e} \quad \sigma_{m,i} = 0,5 \cdot E_i \cdot h_i \cdot \frac{M}{(EI)_{ef}} \quad (\text{Eq. 5.64})$$

onde:

M → momento fletor;

σ_i → tensão normal no centróide do elemento “i” devido à força normal;

$\sigma_{m,i}$ → tensão normal na extremidade do elemento “i” devido ao momento.

A máxima tensão cisalhante ocorre onde a tensão normal é nula. A tensão máxima de cisalhamento na alma da viga pode ser obtida por:

$$\tau_{2,m\acute{a}x} = (\gamma_3 \cdot E_3 \cdot A_3 \cdot a_3 + 0,5 \cdot E_2 \cdot b_2 \cdot h^2) \cdot \frac{V}{b_2 \cdot (EI)_{ef}} \quad (\text{Eq. 5.65})$$

sendo: V → força máxima de cisalhamento.

A força aplicada no conector (F_i) é dada por:

$$F_i = \gamma_i \cdot E_i \cdot A_i \cdot a_i \cdot s_i \cdot \frac{V}{(EI)_{ef}} \quad \text{para } i=1 \text{ e } 3 \quad (\text{Eq. 5.66})$$

As Figuras 5.42 e 5.43 apresentam o modelo da Proposta R1-MLC2 como técnica de reabilitações de delaminações e/ou fendas longitudinais em vigas MLC, admitindo a teoria de cálculo de peças de seção composta de perfil I, fixadas com parafusos auto-atarraxantes (BRITO; CALIL JR., 2014).

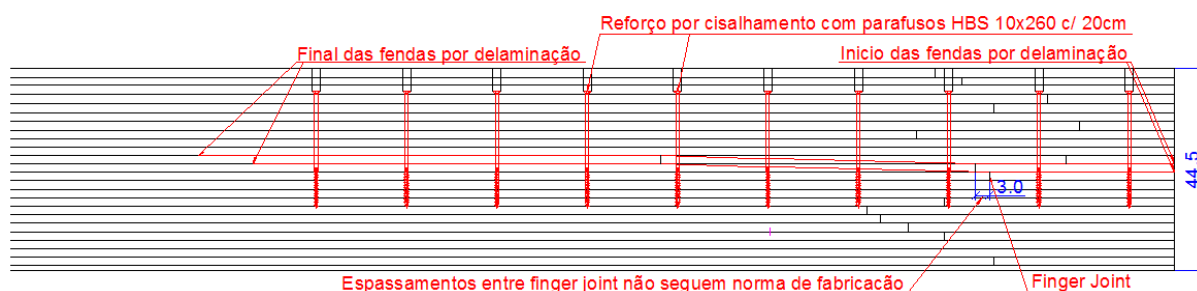


Figura 5.42. Proposta R1-MLC2: Detalhes do projeto de reforço das fendas longitudinais expressivas com parafusos auto-atarraxantes, em viga MLC. Fonte: BRITO



Figura 5.43. Proposta R1-MLC2: (a) Fenda longitudinal expressiva na Viga MLC; (b) Proposta de Técnica de reabilitação de delaminação e fenda longitudinal com parafusos auto-atarraxantes. Foto: BRITO
Fonte: BRITO e CALIL JR. (2014)

5.4.1.6 Ensaios experimentais das ligações com parafusos auto-atarraxantes

Para determinação das resistências das ligações com parafusos auto-atarraxantes, foram ensaiados os corpos-de-prova nas direções paralela e normal às fibras. Para os ensaios das ligações mecânicas, o sistema de aquisição de dados externos utilizado foi realizado com o equipamento SYSTEM 5000, com 20 canais, onde três deles foram utilizados para a recepção dos sinais, sendo um para a célula de carga, e outros dois para os transdutores de deslocamentos (Figura 5.44). A programação foi configurada para registrar os deslocamentos a cada 1 segundo. A resistência R das ligações foram determinadas convencionalmente pela força aplicada ao corpo-de-prova padronizado, tal que provoque na ligação uma deformação específica residual de 2%, conforme recomendações normativas da NBR 7190:1997.



(a) (b)
 Figura 5.44. Ensaio do Corpo-de-prova CP1-MLC: parafusos na direção normal às fibras. Fotos: BRITO

Para os ensaios das resistências das ligações com parafusos auto-atarraxantes foram utilizados uma célula de carga aplicada no topo de cada corpo-de-prova e dois transdutores de deslocamentos dispostos lateralmente, conforme apresentados nas Figuras 5.44 e 5.47. Os diagramas com os resultados dos ensaios dos corpos-de-prova, com os parafusos dispostos na direção normal às fibras estão apresentados nas Figuras 5.45 e 5.46.

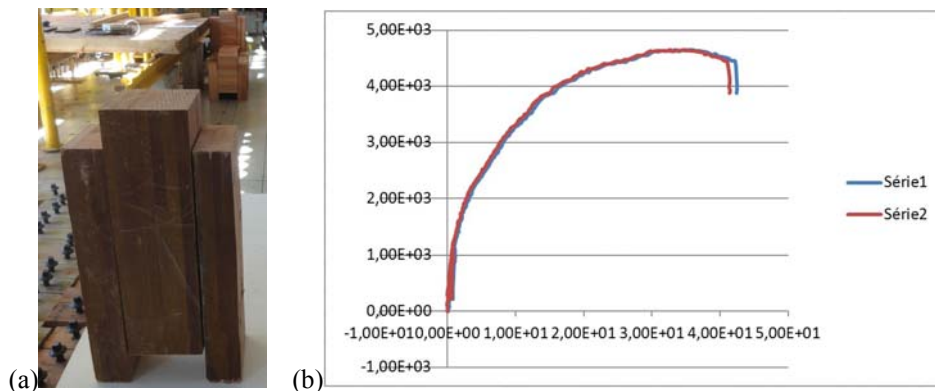


Figura 5.45. Resultados CP1-MLC: (a) Modo Ruptura; (b) Diagramas de força x deslocamento (daN/mm).

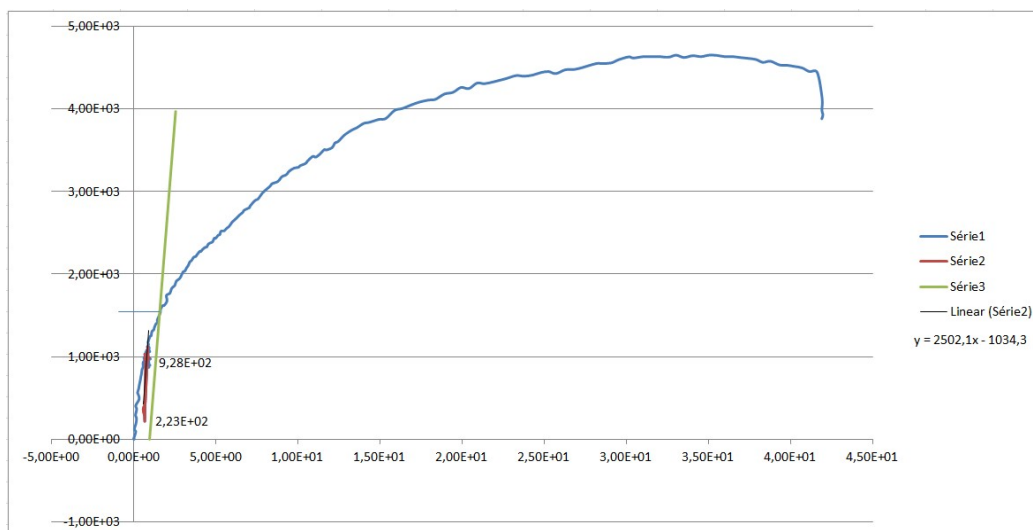


Figura 5.46. Resultados CP1-MLC: Diagrama correlacionado à deformação específica residual 2% (daN/mm).

Os diagramas com os resultados dos ensaios dos corpos-de-prova, com os parafusos dispostos na direção paralela às fibras estão apresentados nas Figuras 5.48 e 5.49.



Figura 5.47. Ensaio do Corpo-de-prova CP2-MLC: parafusos na direção paralela às fibras. Fotos: BRITO

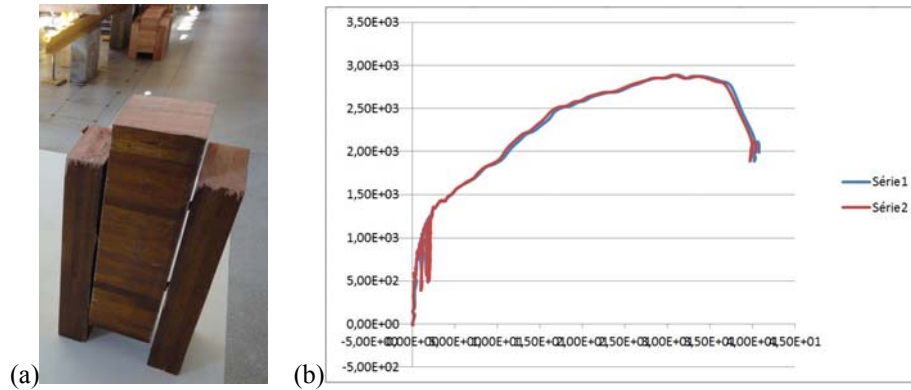


Figura 5.48. Resultados CP2-MLC: (a) Modo Ruptura; (b) Diagramas de força x deslocamento (daN/mm).

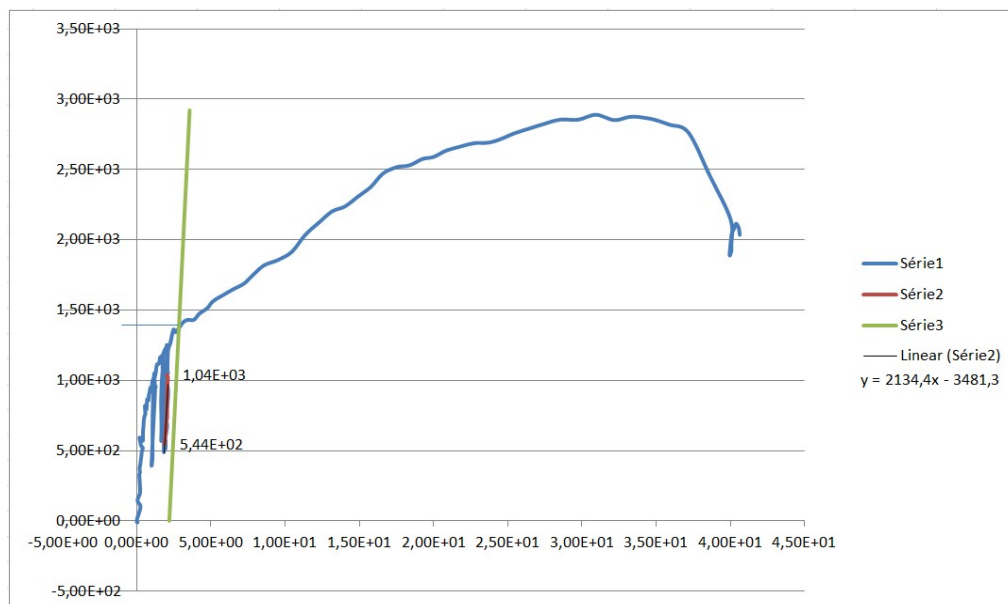


Figura 5.49. Resultados CP2-MLC: Diagrama correlacionado à deformação específica residual 2% (daN/mm).

5.4.1.7 Resultados e discussões dos ensaios experimentais das propostas de técnicas reabilitação de viga MLC com parafusos auto-atarraxantes

A densidade da viga MLC02 ensaiada foi de aproximadamente 708 kgf/m³. Os resultados experimentais obtidos nos ensaios estáticos de flexão (Figura 5.50), conforme a distribuição de cargas da ASTM D 198-08, da viga MLC02 reabilitada com de prótese de MLC (Proposta R1-MLC1) e com reabilitação da delaminação e fendas (Proposta R1-MLC2) em ligações com parafusos auto-atarraxantes mostraram satisfatórios, obtendo o ganho esperado na rigidez do modelo, com MOE de 15402Mpa que superou em 40,72% o MOE de 10945Mpa da viga MLC01 (Apêndice A 9.11) similar a esta, avaliada anteriormente, porém sem reforço. Na realização dos ensaios, para a determinação dos valores de MOE, foi respeitada à relação L/300 para o limite de deformação.



Figura 5.50. Ensaios de flexão estática conforme a distribuição de cargas da ASTM D 198-08: contribuição na proposta de técnica de reabilitação da viga MLC02 com parafusos auto-atarraxantes. Fotos: BRITO

A NBR 7190:1997 de projeto de estruturas de madeira não prescreve um modelo analítico ou experimental para determinação da rigidez de uma ligação momento-resistente. A investigação das Propostas R1-MLC1 e R1-MLC2 foram realizadas com base em procedimentos de modelo de cálculos analíticos do Eurocode EC 5, para analisar e correlacionar os resultados de ensaios.

Para a Proposta R1-MLC1 (proposta de técnica de reabilitação com prótese MLC próxima ao apoio) com ligação momento-resistente, tipo coroa, com parafusos auto-atarraxantes dispostos alternadamente, a ligação deve ser dimensionada considerando coeficientes de ponderação das ações de projeto, para apresentar eficiência desejada em função do momento solicitante de cálculo, admitindo a condição de cálculo $M_{Rd,CG} \geq M_{Sd,CG}$.

Observação importante: Vale alertar que a largura em cada peça na ligação momento-resistente (tipo coroa) proposta para ligação de prótese R1-MLC1 nesse modelo experimental, têm 50% da largura efetiva da seção transversal viga. Além disso, a assimetria do modelo de corte das peças na ligação em relação ao plano médio longitudinal nessa configuração pode originar torção ou flexão no plano transversal. Diante dessas considerações, esse tipo de ligação modelo-resistente proposto é mais indicado para regiões próximas ao apoio, onde a incidência de momento fletor é menor, e não devem se aplicadas em regiões onde o momento fletor é máximo. Nos ensaios experimentais em serviço aplicando a carga até atingir a relação L/300, obteve-se um bom comportamento nesse modelo proposto. No entanto, em casos práticos, recomenda-se cautela, pois o modelo conceitual deve levar em consideração a inércia da seção transversal efetiva de cada peça, em função do momento solicitante, para atender o critério do modelo de cálculo proposto por Racher (1995).

No projeto de revisão da NBR 7190:2011 o item 5.7.2 apresenta a proposta de dimensionamento de peças compostas de seção T, I ou caixão, ligadas por pregos. A Proposta R1-MLC2 aqui apresentada sugere o uso de parafusos auto-atarraxantes, como metodologia de técnica reforço em reabilitação de fendas longitudinais em vigas de MLC, admitindo o procedimento de cálculo para ligação por cisalhamento, com o critério de peças compostas de seção I.

O procedimento de cálculo para o dimensionamento da ligação por cisalhamento com parafusos auto-atarraxantes da Proposta R1-MLC2, também deve ser considerado admitido os coeficientes de ponderação das ações de projeto.

A metodologia de reabilitação da Proposta R1-MLC2 de ligação por cisalhamento com parafusos auto-atarraxantes, em costura de fendas longitudinais em viga MLC, demonstrou muito eficiente em autonomia, durante o processo de execução do reforço, pois os parafusos auto-atarraxantes utilizados, que contam com um sistema de fresa na parte superior da rosca, atenderam a finalidade de aperto final aproximando as partes das laminas de madeira, umas contra as outras na região e unindo as fendas à compressão normal às fibras, sem necessidade de utilização de outros equipamentos para aproximação dessas partes separadas pela fenda longitudinal.

Os resultados dos ensaios experimentais demonstraram eficientes nas propostas de técnicas de reabilitação em vigas de Madeira Laminada Colada (MLC) com parafusos auto-atarraxantes do Estudo de Caso R1, além de ganhos de contribuição no valor do MOE e praticidades de execução.

5.4.2 Estudo de Caso R2: Propostas de técnicas de reabilitação de peças de madeira da *Passarela Pênsil de Piracicaba* com cobrejuntas justapostas de *Eucalyptus citriodora*

Em geral, um dos pontos mais críticos em pontes de madeira, com Potencial de Risco de *Biodeterioração*, ocorrem nas interfaces viga-tabuleiro e em pontos de ligações, onde são suscetíveis à retenção de água na madeira. O risco é ainda mais eminente quando as tábuas do tabuleiro são fixadas com pregos ou parafusos que penetram na região superior da seção de uma viga.

Durante as *Inspeções Visuais Detalhadas de Nível 2*, realizadas *in loco* nas avaliações para reabilitação de elementos estruturais de madeira da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, foram detectados elevados níveis de biodeteriorações nas regiões superiores em mais de 90% das vigas transversinas superiores TS de madeira serrada de *Eucalyptus citriodora* tratadas com CCA, mais precisamente nas zonas de fixação das peças dos tabuleiros, com características visuais de ataque por fungos apodrecedores, sendo mais expressivos nos elementos estruturais do Módulo m13, conforme pode ser observado nas fotos apresentadas nas Figuras 5.51 e 5.52.



Figura 5.51. Biodeteriorações com características visuais de fungos apodrecedores, nas vigas transversinas superiores (TS) do módulo m13, em regiões de fixação das tábuas do tabuleiro: a) *inspeções visuais detalhadas in loco*; b) 26 vigas transversinas superiores (TS) removidas da passarela, sem consentimento do LaMEM, armazenadas no pátio do Engenho Central. Foto: BRITO (Inspeção *in loco* em 09/08/2013)

O sistema de tabuleiro com tabuas cruzadas em “X” tem grande contribuição no sistema de contraventamento lateral, e a remoção sem planejamento estratégico, poderia conduzir à insegurança da estabilidade global da estrutura de madeira dessa ponte, principalmente por efeito de ações externas de vento. Na *Inspeção Visual Detalhada*, realizada *in loco* em 9 de agosto de 2013, foi constatada a remoção sem consentimento do LaMEM, de um quarto do total das tabuas que compõem o tabuleiro da passarela, num total de 26 transversinas do banzo superior, e 52 diagonais de contraventamento lateral, nessa região do módulo m13 (lado do Engenho Central), constatando-se que 100% dessas vigas transversinas superiores

(TS) removidas, que estavam armazenadas no pátio do Engenho Central, encontravam-se biodeterioradas por fungos apodrecedores na região superior das mesmas. Nas peças, foram identificadas, desde baixos níveis de biodeterioração até peças com mais de 50% da seção biodeterioradas. Nessa inspeção visual, foi constatado que com a remoção de aproximadamente um quarto do total das tabuas que compõem o tabuleiro e das transversinas superiores (TS) da passarela, foi perceptível observar pela *Técnica de Inspeção Visual Geral* a inversão na deformação global da estrutura treliçada de madeira, por alívio do peso próprio com a retirada dessas peças, conforme pode ser observado em análise do registro de fotos apresentadas na Figura 5.52.

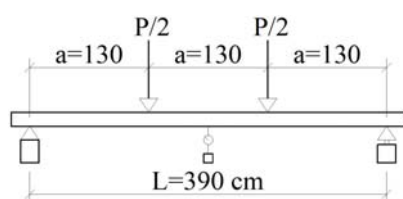


Figura 5.52. Com a remoção de aproximadamente um quarto do total das tabuas que compõem o tabuleiro da passarela e de 26 das transversinas do banzo superior nessa região, foi perceptível observar em *Inspeção Visual Geral* a inversão na deformação global da estrutura treliçada de madeira, por alívio do peso próprio com a retirada dessas peças. Foto: BRITO (Inspeção *in loco* em 09/08/2013)

Diante dos fatos, por questão prioritária de segurança na intervenção, na estabilidade global da estrutura, foi recomendado que nessa região fossem reinstaladas as transversinas superiores TS, e as diagonais de contraventamento. Dessa forma, foi solicitado que 8 dessas 26 transversinas do módulo m13 fossem encaminhadas para o LaMEM, para realizações de ensaios experimentais para avaliações e estudos em propostas de técnica de reabilitação das peças estruturais originais com possibilidade de reabilitação com cobrejuntas justapostas de madeira de *Eucalyptus citriodora*. Para isso, como metodologia de retirada de amostras de elementos estruturais biodeteriorados, originais da estrutura da passarela, por questão de segurança global da estrutura, na época foi recomendado que a remoção dessas 8 vigas parcialmente biodeterioradas, deveriam ser imediatamente substituídas por peças novas *in loco*, em conjunto com o reposicionamento das demais, retiradas previamente sem o consentimento do LaMEM.

Perante a necessidade de reabilitar diversos elementos estruturais de madeira da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, foram estudadas as propostas de técnicas de reabilitação das peças

biodeterioradas. Os trabalhos experimentais para validação das propostas de técnicas de reabilitação das peças de madeira com cobrejuntas justapostas de *Eucalyptus citriodora* foram realizados no pórtico do LaMEM, em função do esquema de distribuição de cargas da ASTM D 198-08 (Figura 5.53), para os ensaios estáticos de flexão em peças estruturais reais de madeira, e para a determinação de valores de MOE os cálculos foram realizados pela equação da Teoria Clássica da Resistência dos Materiais (Eq. 5.67):



$$E = \frac{23 \cdot P \cdot a^3}{48 \cdot f \cdot I} \quad (\text{Eq. 5.67})$$

Figura 5.53. Esquema estático para ensaios de flexão de peças estruturais reais.

Onde:

E → Módulo de elasticidade

P → Carga concentrada total aplicada

a → representa 1/3 do vão livre (L)

f → flecha

I → Momento de inércia da seção referente à posição do eixo em análise

Os trabalhos experimentais foram realizados nas seguintes etapas:

- ✓ de avaliações de 8 vigas transversinas superiores (TS1; TS2; TS3; TS4; TS5; TS6; TS7; TS8) de madeira de *Eucalyptus citriodora* originais da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, parcialmente biodeterioradas na região superior (zona de compressão de vigas);
- ✓ de estimativas dos valores do MOE e do MOR na avaliação de 6 diagonais de contraventamento (D1; D2; D3; D4; D5; D6) de madeira de *Eucalyptus citriodora*, superficialmente biodeterioradas, originais da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, e correlações com o valor médio da densidade de madeira de *Eucalyptus citriodora* da Tabela E1 da ABNT NBR 7190:1997;
- ✓ de caracterização das tábuas estruturais de madeira de *Eucalyptus citriodora* para avaliação da proposta da técnica reabilitação na utilização como *cobrejuntas justapostas*;
- ✓ de avaliação da Proposta R2-CJ1 na técnica de reabilitação das vigas transversinas reabilitadas com as cobrejuntas justapostas pregadas;
- ✓ de avaliação da Proposta R2-CJ2 na técnica de reabilitação com cobrejuntas justapostas pregadas e reconstituição com adesivo estrutural epoxídico em regiões biodeterioradas em zonas comprimidas em vigas transversinas.

Para aplicações das propostas de Técnicas de Reabilitação dos elementos estruturais de madeira no *Estudo de Caso R2* da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, as verificações foram baseadas pelas informações históricas, assim como os detalhes do projeto estrutural original da passarela apresentados em Calil et al (1993).

5.4.2.1 Ensaio experimentais de flexão para avaliações de peças de *Eucalyptus citriodora* parcialmente biodeterioradas, originais da *Passarela Pênsil de Piracicaba*

Concluídas às *inspeções visuais gerais e detalhadas*, e diante das características visuais de biodeterioração por fungos apodrecedores em mais de 90% das Transversinas Superiores (TS) observadas *in loco*, foram submetidas para o LaMEM, 8 peças estruturais originais da passarela, onde foram realizados ensaios experimentais de flexão estática de vigas estruturais de madeira de *Eucalyptus citriodora*, em função do esquema de distribuição de cargas da ASTM D 198-08 (Figura 5.53), para avaliações no comportamento real das vigas transversinas superiores (TS1; TS2; TS3; TS4, TS5; TS6; TS7; TS8), parcialmente biodeterioradas na região superior (zona de compressão de vigas), ainda sem o emprego de técnicas de reabilitação, e apresentação dos *Modos de Ruptura* nas transversinas TS5; TS6; TS7; TS8. A função estrutural dessas peças eram de transversinas superiores (TS), que trabalhavam como suporte das peças do tabuleiro da *Passarela Pênsil de Piracicaba*. As dimensões aproximadas originais das vigas transversinas (TS) são de 5,5 cm de largura por 15 cm de altura, e 430 cm de comprimento. No entanto essas vigas, apresentavam parcialmente com alto nível de biodeterioração, principalmente na região superior, acima da linha neutra, nas regiões onde eram fixadas as peças do tabuleiro, cujas regiões são propensas à infiltrações e à retenção de água e concentração de umidade.

Na Figura 5.54 é ilustrada a metodologia dos ensaios estáticos de flexão de viga de madeira em tamanho estrutural real, conforme a distribuição de cargas da ASTM D 198-08, para avaliações das peças estruturais originais parcialmente biodeterioradas na região superior das transversinas (TS) da *Passarela Pênsil de Piracicaba*. Os *Modos de Ruptura* nas transversinas biodeterioradas TS7 e TS8 estão apresentados de maneira pormenorizada na Figura 5.54, e foram notáveis as separações longitudinais, paralela às fibras da região de madeira sã da região biodeteriorada. Destaca-se ainda que as rupturas nas TS5; TS6; TS7 biodeterioradas ocorreram com *Modo de Ruptura Brusca (Frágil)*, sem aviso inicial na viga, como o exemplo da TS7 apresentado nas fotos das Figuras 5.54a e b.

No entanto, a arte de avaliar peças de madeira biodeterioradas, não é tarefa fácil. Em função das dimensões das peças estruturais originais altamente biodeterioradas, apresentarem grandes variações nas alturas “h” ao longo das seções transversais, inclusive com cavidades em formas irregulares internamente às peças, além de fendas longitudinais expressivas e vazios, é impraticável determinar o valor exato tanto do MOE quanto do MOR. Para isso, foi imprescindível analisar graficamente os resultados experimentais pela relação Força x Flecha.



Figura 5.54. Ensaios de flexão de vigas transversinas parcialmente biodeterioradas na região superior de compressão (foram notáveis à separação longitudinal, paralela às fibras da região de madeira sã da região da madeira biodeteriorada): a) Visão do Modo de Ruptura Brusca, sem aviso, na viga TS7, com visão detalhada em b); c) Modo de ruptura por cisalhamento na viga TS8 (visão detalhada em (d)). Fotos: BRITO

Dessa maneira, a Figura 5.55 representa o comportamento das vigas TS1, TS2, TS3 e TS4 parcialmente biodeterioradas na região superior, ainda *sem o emprego de técnica de reabilitação*, válido para os ensaios de flexão estática. No nível de carregamento equivalente a relação $L/300$, que para o *Estudo de Caso R2*, corresponde à flecha aproximada de 13 mm, obteve-se coerência como resultado do nível de biodeterioração nessas peças, conforme foi estimado pela *Técnica de Inspeção Visual Detalhada* validada também graficamente pela análise com o uso do Resistograph[®]. Por essa razão, a escolha das nomenclaturas das vigas

transversinas de madeira retirados do módulo m13 da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, ensaiados em laboratório, foi definida propositalmente em ordem crescente (TS1; TS2; TS3; TS4; TS5; TS6; TS7; TS8), em função do nível de biodeterioração das peças, avaliados pela *Técnica de Inspeção Visual Detalhada* de anomalias com mapeamento de imagens digitais assistidas via sistemas CAD (TIVCAD).

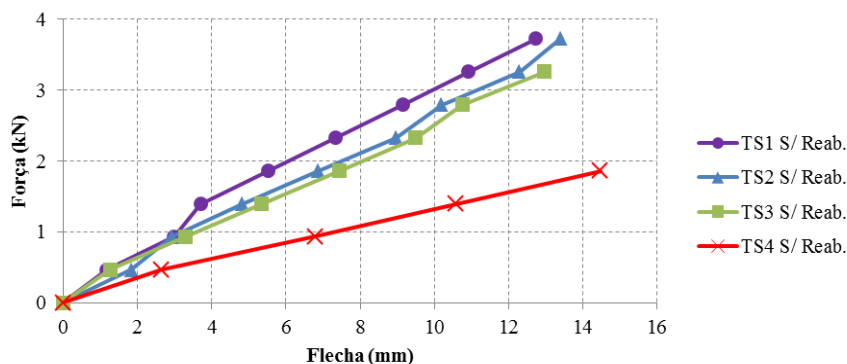


Figura 5.55. Comportamento das vigas transversinas de madeira parcialmente biodeterioradas na região superior, ainda sem o emprego de técnica de reabilitação, válido para os ensaios de flexão estática. (BRITO)

No entanto para todas as vigas transversinas (TS) parcialmente biodeterioradas na região superior das mesmas, os valores de MOE e de MOR foram *indeterminados* devido a dificuldade de se estimar uma altura efetiva, em função da grande variação das alturas residuais do processo de biodeterioração. Na dificuldade de se determinar os valores de MOR correspondentes, aos resultados experimentais foram então representados pelas forças de rupturas bruscas na flexão (ou seja, sem aviso), nas vigas transversinas TS5, TS6, TS7 e TS8, que encontravam com os níveis de biodeteriorações mais elevados dentre as demais vigas transversinas ensaiadas. Na Tabela 5.4 são apresentados os resultados das forças de ruptura brusca na flexão em cada uma dessas vigas transversinas biodeterioradas sem reabilitação.

Tabela 5.4. Força de ruptura brusca na flexão nas vigas transversinas biodeterioradas sem reabilitação.

F_r flexão	TS5	TS6	TS7	TS8
(kN)	3,34	8,60	11,23	5,26

Já As vigas TS1, TS2, TS3 e TS4 não foram ensaiadas até à ruptura, a fim de preservá-las para aplicação e ensaios experimentais das propostas de técnicas de reabilitação, com sobrejuntas justapostas, nas mesmas.

5.4.2.2 Estimativas dos valores do MOE e do MOR na avaliação de 6 diagonais de contraventamento de madeira de *Eucalyptus citriodora*, superficialmente biodeterioradas, originais da *Passarela Pênsil de Piracicaba*

Para avaliação dos valores estimados do MOE e do MOR foram ensaiadas 6 diagonais de contraventamento, originais da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, de madeira de *Eucalyptus citriodora*, superficialmente biodeterioradas, em ensaios experimentais de flexão estática nas peças estruturais de madeira.

Observa-se que essas 6 peças, apresentavam biodeterioração acentuada nas extremidades inferiores, na região de ligação por parafusos, junto as extremidades das transversinas inferiores (TI), Figura 5.56a. No entanto, para os ensaios experimentais de flexão estática em laboratório, essas extremidades biodeterioradas foram removidas (Figura 5.56b), para avaliação apenas das propriedades nas regiões das peças superficialmente biodeterioradas.

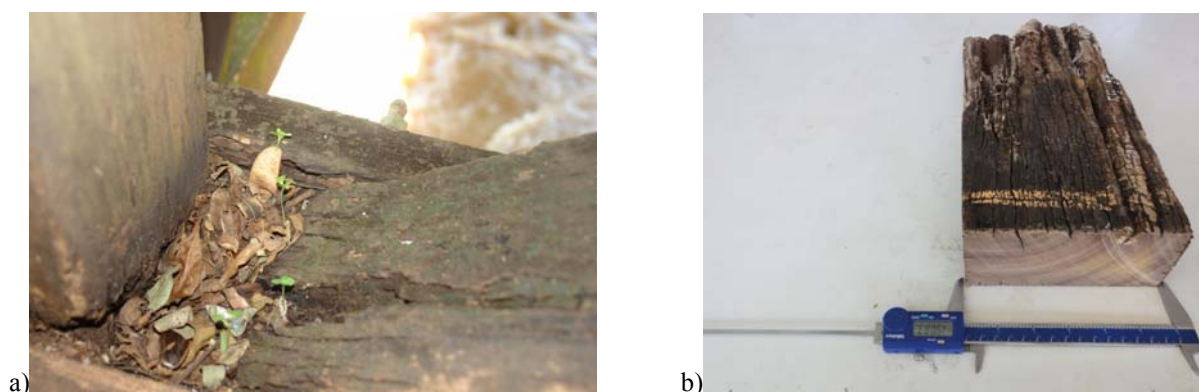


Figura 5.56. Exemplo de extremidade inferior de diagonais de contraventamentos biodeterioradas: a) Inspeção detalhada *in loco*; b) Avaliação em laboratório da parte biodeteriorada removida da extremidade inferior da diagonal D1, para ensaios de flexão da região central cuja biodeterioração é apenas superficial. Fotos: BRITO

Na realização dos ensaios de flexão, para a determinação dos valores estimados do MOE, e do MOR foi respeitada a relação $L/300$, que para o L de 180 cm corresponde à aproximadamente 0,6 cm, no intuito de determinação do valor limite permissível para à deformação elástica máxima de cada viga. Os resultados dos ensaios experimentais de flexão de viga, para avaliações das peças estruturais reais das diagonais de contraventamento (D1; D2; D3; D4; D5; D6) estão apresentados na Tabela 5.5. Conhecendo que à origem do material original é de *Eucalyptus citriodora*, como subsídio, provem correlacionar o valor de densidade aproximado dessas 6 diagonais de contraventamento (conforme a Tabela 5.5), com o valor médio de 999 kg/m^3 de referência da Tabela E1 da NBR 7190:1997.

Os modos de ruptura nas peças diagonais (D1, D2, D3, D4, D5, D6) ensaiadas à flexão estão apresentados de maneira pormenorizada na Figura 5.57.

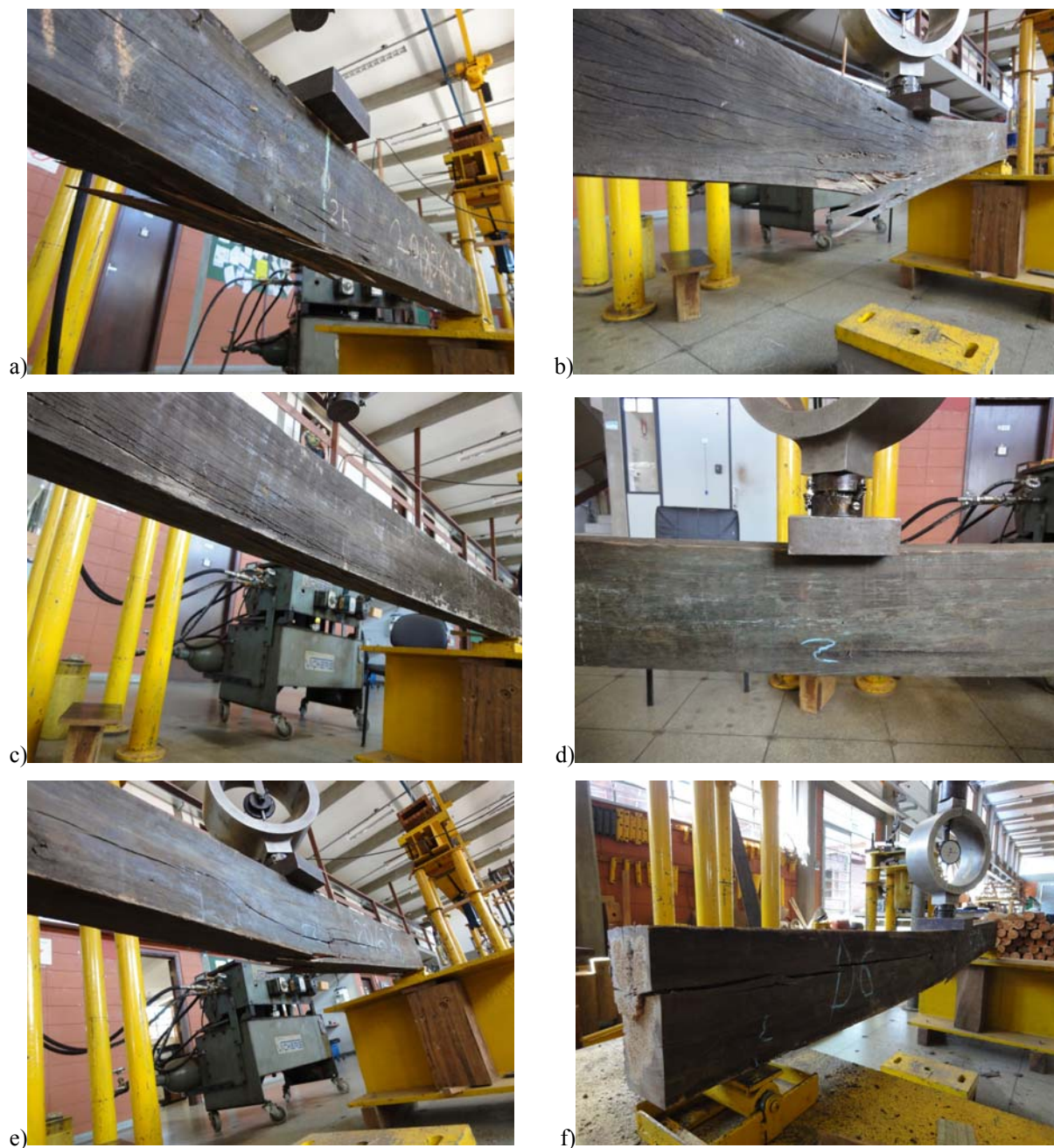


Figura 5.57. Modos de ruptura nas diagonais ensaiadas à flexão: a) D1; b) D2; c) D3; d) D4; e) D5; f) D6. Fotos: BRITO

Tabela 5.5. Resultados experimentais de flexão de diagonais de madeira de *Eucalyptus citriodora*, superficialmente biodeterioradas, originais da *Passarela Pênsil de Piracicaba*.

Corpos-de-prova (Diagonais)	$b_{méd}$ (cm)	$h_{méd}$ (cm)	Peso Próprio (kg)	Densidade (kg/m^3)	F_r Flexão (kN)	MOE (MPa)	MOR (MPa)
D1	7,676	15,329	20,85	887	79,41	16482	116,50
D2	7,817	15,250	20,05	841	62,87	13978	91,51
D3	7,367	15,067	21,90	988	89,34	17998	141,35
D4	7,483	15,001	20,45	906	61,21	15229	94,93
D5	7,517	15,167	20,65	906	67,83	14898	103,80
D6	7,032	14,867	19,20	919	40,70	15072	69,29
Média					66,89	15610	102,90
E. Citriodora Valor de Referência NBR 7190:1997				ρ_{ap} (12%) 999 kg/m^3		E_{c0} (MPa) 18421	

Como os valores de MOE referentes as diagonais de contraventamento (D1; D2; D3; D4; D5; D6), superficialmente biodeterioradas, retiradas do módulo m13 da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, apresentaram valores inferiores ao valor de referência de *Eucalyptus citriodora* da Tabela E1 da NBR 7190:1997, os diagramas representativos de Força x Flecha dessas diagonais apresentaram resultados inferiores ao modelo teórico, como pode ser observada essa relação na Figura 5.58.

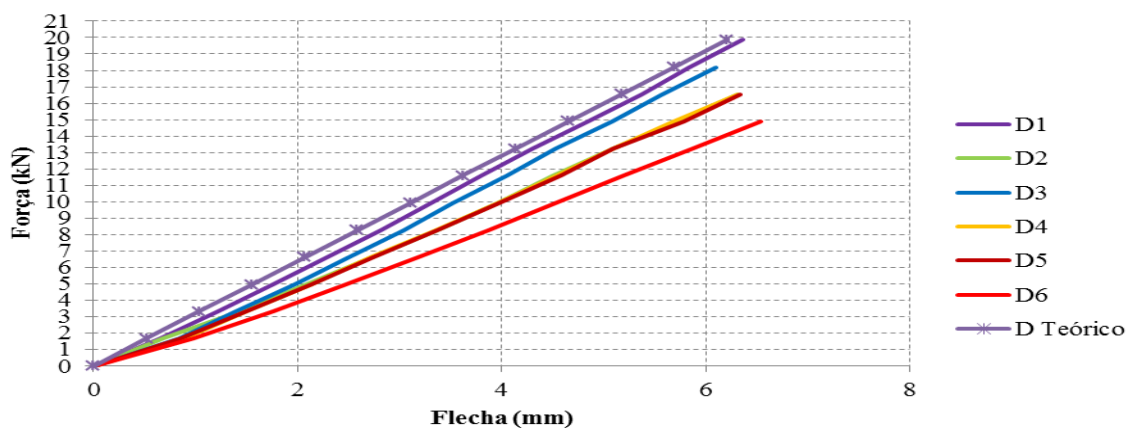


Figura 5.58. Comportamento das diagonais de contraventamento de madeira de *Eucalyptus citriodora*, superficialmente biodeterioradas, avaliadas para estimativa dos valores do MOE e do MOR, das peças da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, válido para os ensaios de flexão estática.

5.4.2.3 Caracterização das peças estruturais de madeira para reabilitação *Tipo Cobrejuntas*

A experimentação desse item, foi diretamente relacionada na proposta de metodologia de técnicas de reabilitações com cobrejuntas justapostas com peças estruturais comerciais de dimensões 3x15 cm, fixadas paralelamente aos elementos estruturais de madeira, em peças que foram previamente identificados com manifestações patológicas, durante as inspeções realizadas nesses 3 anos de acompanhamento da *Passarela Pênsil de Piracicaba*.

Para a caracterização do MOE das tábuas à serem utilizadas nas propostas específicas desse trabalho, de técnicas de reabilitação *Tipo Cobrejuntas Justapostas (CJ)* das transversinas da *Passarela Pênsil de Piracicaba* foram realizados ensaios estáticos não destrutivos (END) na hipótese de flexão, em 12 peças estruturais novas de *Eucalyptus citriodora*, tratadas com CCA sob vácuo-pressão em autoclave, com dimensões médias aproximadas de 3 cm de espessura, por 15 cm de altura e 438 cm de comprimento. A foto na Figura 5.59a ilustra a metodologia dos ensaios estáticos não destrutivos (END), de flexão de viga de madeira, em tamanho estrutural real, conforme a distribuição de cargas da ASTM D 198-08, para caracterização dos corpos-de-prova das cobrejuntas de *Eucalyptus citriodora*. Na realização dos ensaios, para a determinação dos valores de MOE, foi respeitada à relação $L/300$, que para o L de 390 cm corresponde à aproximadamente 1,3 cm, no intuito de determinação do valor limite permissível para à deformação elástica máxima de cada viga. Na Figura 5.59b estão apresentados graficamente os resultados do comportamento dessas peças, na relação Força x Flecha.

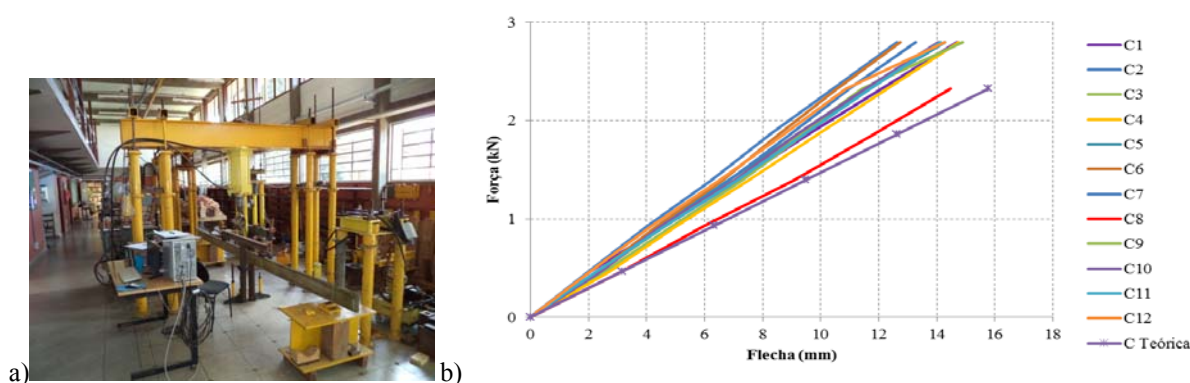


Figura 5.59. a) Visão geral do esquema dos ensaios estáticos não destrutivos na hipótese de flexão, para caracterização das cobrejuntas novas de madeira de *Eucalyptus citriodora*. Foto: BRITO; b) Comportamento das peças de madeira de *Eucalyptus citriodora*, caracterizadas para utilização na técnica de reabilitação como cobrejuntas justapostas, válido para os ensaios de flexão estática. (BRITO)

Na Tabela 5.6 são apresentados os resultados experimentais para caracterização do MOE obtidos nos ensaios estáticos de flexão de viga, nas tábuas de *Eucalyptus citriodora* para

avaliação e confecção dos corpos-de-prova das propostas de técnicas de reabilitação com *Cobrejuntas Justapostas (CJ)*.

Tabela 5.6. Caracterização do MOE para as peças de cobrejuntas. Ensaios: BRITO

Corpos-de-prova (Cobrejuntas)	Peso Próprio (kg)	b_{méd} (cm)	h_{méd} (cm)	Densidade (kg/m³)	MOE (MPa)
C01	19,30	2,76	15,10	1038	24645
C02	21,45	3,04	15,16	1050	26209
C03	17,70	2,74	15,01	981	27030
C04	18,30	2,82	15,03	988	24991
C05	20,30	2,91	15,07	1040	23898
C06	20,05	3,01	15,04	1014	27101
C07	19,75	2,91	15,03	1033	26909
C08	18,55	2,67	15,17	1032	21479
C09	18,75	2,81	14,96	1016	23757
C10	19,65	3,16	15,01	944	22724
C11	19,70	2,85	15,03	1029	25248
C12	18,65	3,16	15,01	896	21419
Média	19,35	2,90	15,05	1005	24618

5.4.2.4 Estudo de Caso R2: Proposta R2-CJ1 técnica de reabilitação de peças de madeira com cobrejuntas justapostas pregadas de *Eucalyptus citriodora*

Como contribuição original nesse trabalho, para a confecção dos corpos-de-prova da Proposta R2-CJ1 para avaliação da técnica de reabilitação de peças de *Eucalyptus citriodora* parcialmente biodeterioradas da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, foram dispostas lateralmente 2 *Cobrejuntas Justapostas*, em cada viga (Figura 5.60a), e fixadas com 30 pregos com cabeça, Ardox bitola 19x39 (JPxLPP), correspondente às dimensões 3.1/2"x9 (POLxBWG) de aço de carbono, do fabricante Gerda (Figura 5.60b), dispostos alternadamente com distribuição em zig-zag. Segundo o fabricante, esse prego que possui parte do corpo Ardox em acabamento polido, é recomendado para aplicações em madeiras de maior densidade, de fácil penetração, cuja forma espiralada promove melhor conexão na madeira contribuindo na resistência ao arrancamento, e melhor relação custo x benefício quando comparado com outros pinos metálicos mais sofisticados.

Para avaliação da Proposta R2-CJ1 na contribuição da técnica de reabilitação dos elementos estruturais da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, foram realizados ensaios estáticos de flexão de madeira, em tamanho estrutural real, conforme a distribuição de cargas da ASTM D 198-08, no Pórtico do LaMEM. Na realização dos ensaios foi respeitada à relação L/300, que para o L de 390 cm corresponde à aproximadamente 1,3 cm, no intuito de determinação do valor limite permissível para à deformação elástica máxima de cada viga.

As transversinas foram reabilitadas com as respectivas cobrejuntas (entre parênteses), TS1 (C5+C6); TS2 (C7+C8); TS3 (C1+C2); TS4 (C3+C4), distribuídas de forma aleatória, ou seja, sem levar em consideração os valores do MOE de cada peça da cobrejunta na peça à ser reabilitada. Na Figura 5.61a é ilustrada a configuração utilizada nos ensaios estáticos de flexão, e na Figura 5.61b o comportamento nos diagramas Força x Flecha das vigas transversinas (TS1; TS2; TS3; TS4) reabilitadas para avaliação da técnica da Proposta R2-CJ1 com cobrejuntas justapostas de *Eucalyptus citriodora* pregadas lateralmente.

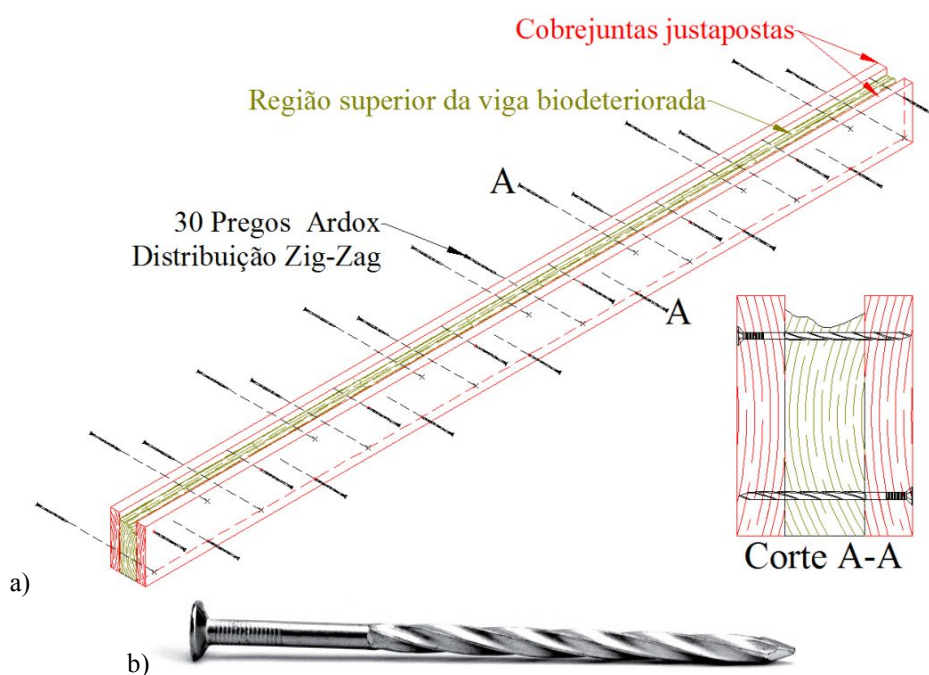


Figura 5.60. a) Proposta R2-CJ1: técnica de reabilitação de peças parcialmente biodeterioradas com cobrejuntas justapostas de *Eucalyptus citriodora* (BRITO); b) Forma espiralada do prego Ardox de aço de carbono.

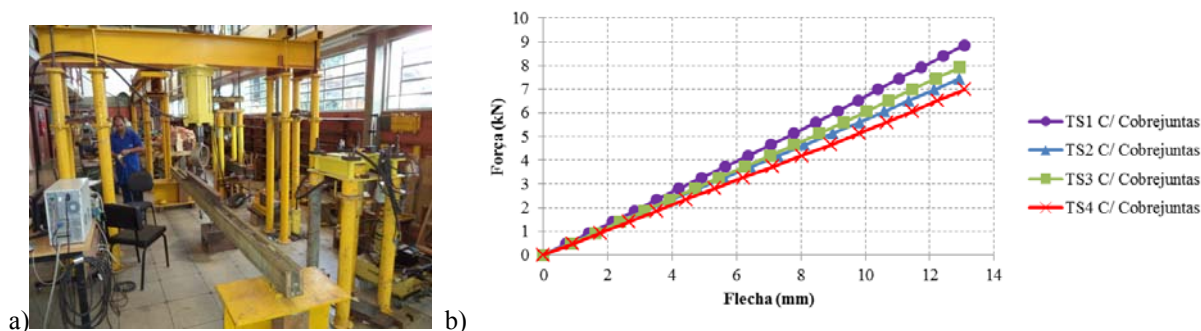


Figura 5.61. Ensaios de flexão das vigas transversinas reabilitadas pela Proposta R2-CJ1 com duas cobrejuntas pregadas lateralmente: a) exemplo de ensaio da TS3 com reabilitação com cobrejuntas C01 + C02, justapostas pregadas. Foto: BRITO; b) Comportamento das vigas transversinas biodeterioradas (TS1; TS2; TS3; TS4) reabilitadas pela Proposta R2-CJ1 com cobrejuntas justapostas de *Eucalyptus citriodora* pregadas lateralmente, válido para os ensaios de flexão estática. Ensaios: BRITO

5.4.2.5 Estudo de Caso R2: Proposta R2-CJ2 técnica de reabilitação com cobrejuntas justapostas pregadas e reconstituição com adesivo estrutural epoxídico em regiões parcialmente biodeterioradas em zonas comprimidas de vigas de *Eucalyptus citriodora*

Como contribuição original para reconstituição de regiões biodeterioradas, em zonas comprimidas de vigas de *Eucalyptus citriodora*, a Proposta R2-CJ2 (Arranjo 1) consistiu no estudo de técnica de reabilitação com cobrejuntas justapostas de madeira pregadas, e com preenchimento de Compound[®] Adesivo estrutural a base de epóxi (Figura 5.62), após remoção da camada biodeteriorada, nessas regiões das vigas transversinas TS1 e TS3.

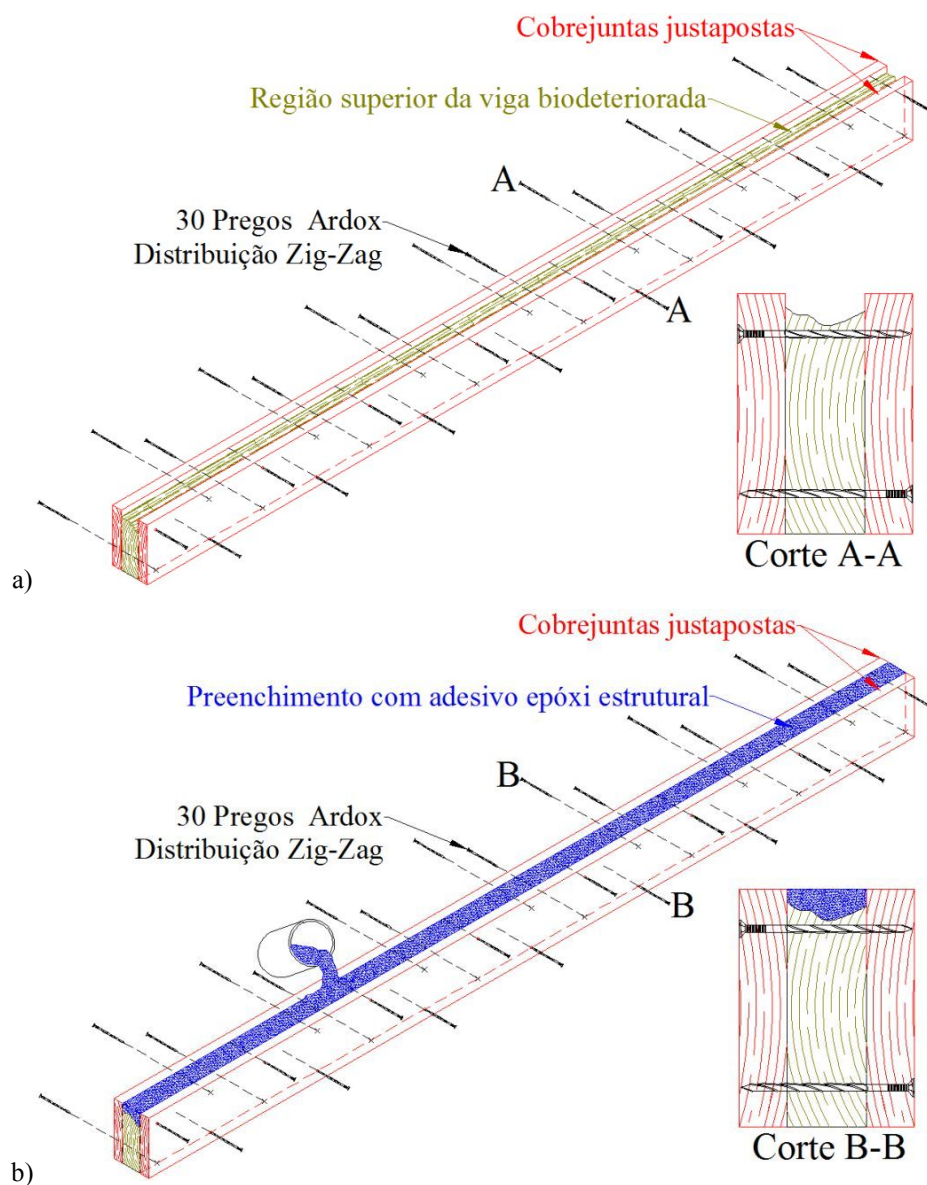


Figura 5.62. Proposta R2-CJ2 (Arranjo 1): técnica de reabilitação de peças parcialmente biodeterioradas com cobrejuntas justapostas de *Eucalyptus citriodora* e reconstituição com adesivo estrutural epóxi, nas vigas TS1 e TS3. a) Fixação de cobrejuntas paralelas com pregos Ardox, distribuídos alternadamente em zig-zag. b) Preenchimento da região superior (zona comprimida) parcialmente biodeteriorada da viga. (BRITO)

Já para as regiões da zona comprimida, cuja biodeterioração exceda 25% da altura efetiva ao longo do comprimento da viga, propõe a mesma técnica de reabilitação com reconstituição com preenchimento de Compound[®] Adesivo, após remoção com formão da camada biodeteriorada. No entanto, recomenda-se a adição de uma barra de aço CA-50 com ϕ 5 mm contínua, costurando em linha no eixo central dos pregos superiores, admitindo como um sistema tipo porta estribos, conforme o desenho da Proposta R2-CJ2 (Arranjo 2) apresentado na Figura 5.63, referentes as vigas transversinas TS2 e TS4 do estudo.

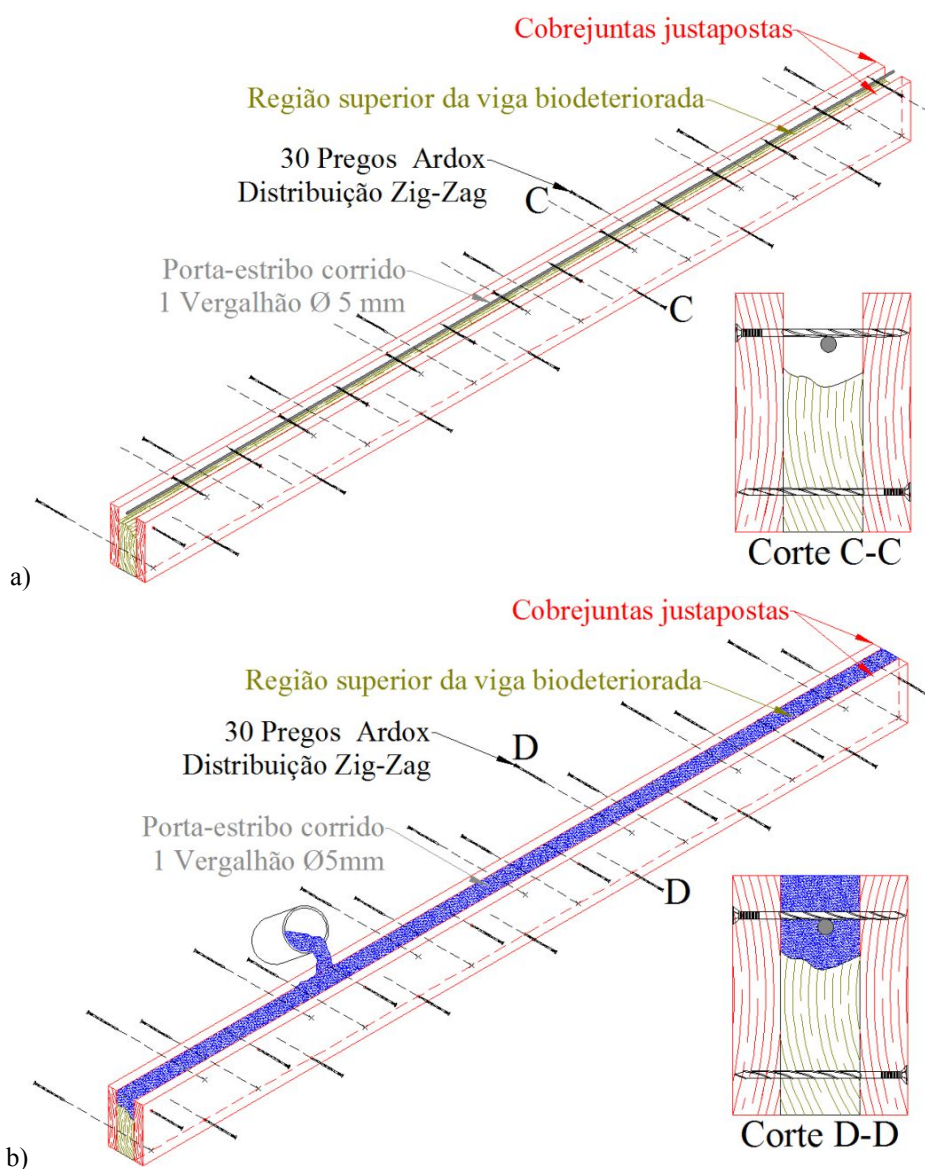


Figura 5.63. Proposta R2-CJ2 (Arranjo 2): técnica de reabilitação de peças parcialmente biodeterioradas (na zona comprimida) com cobrejuntas justapostas de *Eucalyptus citriodora*, pregadas, adição de barra de aço contínua, com ϕ 5 mm, para costura em linha no eixo central dos pregos superiores, admitindo como um sistema tipo porta estribos e reconstituição com adesivo estrutural epóxi nas vigas TS2 e TS4. a) Fixação de cobrejuntas paralelas com pregos Ardox, distribuídos alternadamente em zig-zag. b) Preenchimento da região superior (zona comprimida) parcialmente biodeteriorada da viga. (BRITO)

5.4.2.5.1 Materiais e métodos utilizados na Proposta R2-CJ2

Para as cobrejuntas foram utilizadas madeiras de reflorestamento da espécie de *Eucalyptus citriodora*, tratadas com CCA.

Conforme já comentado anteriormente, para fixação das cobrejuntas, em cada viga, foram utilizados 30 pregos Ardox 19x39 (JPxLPP), correspondente às dimensões 3.1/2"x9 (POLxBWG) de aço de carbono, do fabricante Gerdau, dispostos alternadamente com distribuição em zig-zag.

Para a reconstituição de regiões parcialmente biodeterioradas, em zonas comprimidas de vigas, tanto para os casos das vigas com uma barra de aço CA-50 com ϕ 5 mm contínua, costurando em linha no eixo central dos pregos superiores, quanto para os casos sem a barra de aço, para o preenchimento da região parcialmente biodeteriorada foi utilizada a resina bicomponente Compound[®] Adesivo.

O fator preponderante na escolha da resina Compound[®] Adesivo, para aplicação na proposta da técnica de reabilitação na reconstituição de regiões parcialmente biodeterioradas em zonas comprimidas de vigas de *Eucalyptus citriodora* (Figura 5.64), foi à questão da melhor trabalhabilidade, maior fluidez, que proporciona o auto-nivelamento, além da questão do maior tempo de manuseio (cerca de 30 minutos à 27°C) após a mistura dos componentes A e B na proporção 1:1, quando comparada com outras resinas epoxídicas estudadas por PIGOZZO (2004) e por MOLINA (2008). Segundo GARDNER (1994) apud MIOTTO (2009) em testes realizados com três adesivos distintos, no desenvolvimento de sistemas de reforços para estruturas de madeira, concluiu-se que a resina epóxi é, claramente, o adesivo mais adequado para os reforços ou colagens de elementos de aço em peças de madeira.

Segundo o fabricante esse adesivo estrutural à base de epóxi de média fluidez, apresenta excelente desempenho em aplicações de colagens em diversos materiais empregados na construção civil, mesmo quando aplicado em superfícies úmidas, embora não saturada. Dentre os materiais recomendados pelo fabricante, em aplicações de colagens destacam-se o concreto, o ferro, a madeira, a pedra, a cerâmica e o plástico. Ainda segundo o fabricante, também citado em MOLINA (2008), a resina Compound[®] Adesivo apresenta resistência inicial em 24 horas, e a resistência à compressão máxima é obtida após 7 dias, e pode atingir até 100 MPa.

5.4.2.5.2 Confeção dos corpos-de-prova da Proposta R2-CJ2

Realizado os ensaios experimentais da Proposta R2-CJ1 de técnica de reabilitação, as quatro vigas transversinas (TS), passaram por processo artesanal com formão, de limpeza e remoção da camada superficial externa biodeteriorada, para melhor aderência do adesivo epóxi estrutural, na região comprimida a ser reconstituída.

Para a etapa de aplicação do adesivo epóxi estrutural, o preparo do produto foi realizado com facilidade conforme recomendações do fabricante do produto Compound[®] Adesivo, adicionando todo componente B (Preto) na própria lata do componente A (Branco), na proporção 1:1, e misturado até obter a homogeneidade na coloração cinza, separadamente para cada conjunto de 1 kg.

A aplicação do Compound[®] Adesivo foi realizada com facilidade despejando o composto já misturado (B + A) na lata A, diretamente sobre a região à ser reconstituída, e espalhando o produto com auxílio de uma espátula, afim de garantir uma melhor aderência à madeira. O tempo de manuseio do produto de aproximadamente 20 a 30 minutos à uma temperatura ambiente de aproximadamente 27°C foi suficiente para aplicação de cada lata de 1 kg, sem apresentar problemas de *pega*. Observa-se que a fluidez do produto, contribuiu no processo de auto-nivelamento, que para acabamento, também foi realizado com auxílio de uma espátula.



Figura 5.64. Confeção dos corpos-de-prova com reconstituição de região biodeteriorada em zona comprimida de vigas, com aplicação de Compound[®] Adesivo com características de argamassa epoxidica estrutural, que proporcionou: a) fácil trabalhabilidade; b) boa fluidez; c) auto-nivelamento. Fotos: BRITO

O Compound[®] Adesivo especialmente desenvolvido para aplicação em reabilitação estrutural, demonstrou eficiente para a aplicação da Proposta R2-CJ2, na técnica de reconstituição da região superior de vigas de *Eucalyptus citriodora* parcialmente biodeteriorada. Nessa etapa é fundamental o uso constante de equipamentos de proteção individual (EPI's), como luvas, máscaras para gases e óculos de proteção.

Em função da quantidade de adesivo epóxi estrutural utilizado em cada viga transversina reconstituída, pôde-se determinar o valor aproximado do volume biodeteriorado em cada

peça. Admitindo que o volume teórico (V_t) das vigas originais (5,5 cm x 15 cm x 430 cm) é de aproximadamente 35475 cm³, pode-se estimar o volume equivalente de cada viga biodeteriorada ($V_{eq,vbio}$), pela subtração do volume biodeteriorado estimado de cada viga, pelo volume de consumo de adesivo epóxi (V_{ep}), conforme apresentado na Tabela 5.7. Se admitir a consideração como se fossem de seção retangular uniforme, de área equivalente, dessa maneira é possível estimar de maneira aproximada, uma altura equivalente (h_{eq}) da seção transversal de cada viga na situação biodeteriorada, conforme os resultados apresentados na Tabela 5.7.

Tabela 5.7. Consumo do Compound[®] Adesivo, em função do nível de biodeterioração de cada viga.

Viga Transversina	TS1	TS2	TS3	TS4
Qtde. Epóxi (kg)	4	7	9	17
V_{ep} (cm³)	2220	3885	4995	9435
$V_{eq,vbio}$ (cm³)	33255	31590	30480	26040
$V_{eq,vbio}/V_t$ (%)	93,74	89,05	85,92	73,40
h_{eq} (cm)	14,06	13,36	12,89	11,01

Conforme já comentado, as vigas transversinas TS1 e TS3 foram confeccionadas conforme o Arranjo 1 da Proposta R2-CJ2, sem adição de barra de aço. Como a biodeterioração na TS1 era a menos intensa dentre as demais, não foi necessária a adição de barra de aço, e foram consumidas 4 latas de 1kg, como pode se observado na Tabela 5.7. Já na TS3 que consumiu 9 latas de 1kg adesivo epóxi, não foi adicionada barra de aço, pois a região mais comprimida da viga, no meio do vão apresentava maior altura efetiva, do que as regiões próximas de ambos os apoios, onde apresentavam maior nível de biodeterioração nessa viga.

Já as vigas TS2 e TS4 foram confeccionadas conforme o Arranjo 2 das Proposta R2-CJ2, adicionando uma barra de aço CA-50 com ϕ 5 mm contínua, costurando em linha no eixo central dos pregos superiores, admitindo como um sistema tipo porta estribos, a fim de proporcionar maior rigidez e garantia de aderência entre os materiais do sistema. Em ambas as vigas a biodeterioração eram mais intensas tanto na região de compressão da viga no meio do vão, quanto nas regiões dos apoios, justificando a adição da barra de aço. Apesar das 7 latas de 1kg adicionadas na viga TS2, ter sido em menor quantidade que na TS3, se fez necessária a adição da barra de aço na TS2, justamente pela região central dessa viga (região de compressão na flexão) estar mais biodeteriorada do que nas regiões de apoio. Por fim a TS4 foi a que consumiu maior quantidade de resina de todas as quatro vigas transversinas

reconstituídas, num total de 17 latas de 1kg, pois toda região superior encontrava-se biodeteriorada em toda extensão, sendo também fundamental a adição de uma barra de aço, para fundamentação do sistema.

Conforme já comentado, essa ordem crescente das nomenclaturas nas vigas transversinas TS1; TS2; TS3 e TS4 haviam sido pré-definidas em função do nível de biodeterioração, pela contribuição do Autor na proposta de *Técnica de Inspeção Visual Detalhada* assistida por computador via sistema CAD (TIVCAD), e que pelos resultados no volume de consumo crescente de uso de adesivo epóxi em cada viga, podem validar a metodologia.

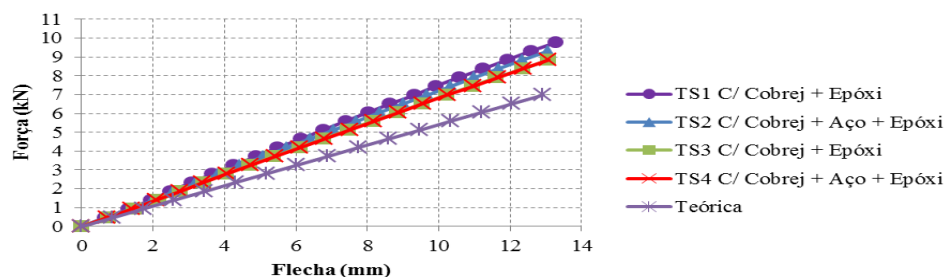
5.4.2.5.3 Método de Ensaio e Resultados da Proposta R2-CJ2

Concluída a etapa de reconstituição, após 14 dias de cura do adesivo epóxi estrutural da Proposta R2-CJ2, analogamente ao método de ensaio aplicado no estudo da Proposta R2-CJ1, as vigas transversinas TS1, TS2, TS3 e TS4 foram ensaiadas à flexão estática pura, em tamanho estrutural real, conforme a distribuição de cargas da ASTM D 198-08, e com relógio comparador disposto na parte inferior no meio do vão da viga, objetivando a determinação de suas propriedades de rigidez na avaliação do comportamento Força x Flecha, e posterior avaliação do Modo de Ruptura. Na realização dos ensaios para a avaliação do comportamento Força x Flecha, foi admitida à relação **L/300**, que para o L de 390 cm corresponde à aproximadamente 1,3 cm, no intuito de determinação do valor limite permissível para à deformação elástica máxima de cada viga.

Na Tabela 5.8 são apresentados os resultados experimentais das forças de ruptura na flexão, nas vigas transversinas TS1, TS2, TS3 e TS4 reabilitadas e reconstituídas com adesivo epóxi estrutural para avaliação da Proposta R2-CJ2. Sendo que na Figura 5.65 é ilustrada a configuração utilizada nos ensaios estáticos de flexão, e os *Modos de Ruptura Dúctil* por tração na transversinas TS1, TS2, TS3 e TS4 reabilitadas pela Proposta R2-CJ2. Na Figura 5.66 observa-se o comportamento nos diagramas Força x Flecha dessas transversinas reabilitadas pela Proposta R2-CJ2.



Figura 5.65. Modos de rupturas dúcteis nas vigas reabilitadas pela Proposta R2-CJ2 com cobrejas justapostas pregadas e reconstituídas na região de compressão com Compound® Adesivo estrutural epóxi: a) TS1; b) TS2; c) TS3; d) TS4. Fotos: BRITO



(BRITO)

Figura 5.66. Comportamento das vigas transversinas de *Eucalyptus citriodora* parcialmente biodeterioradas (TS1; TS2; TS3; TS4) reabilitadas pela Proposta R2-CJ2 com cobrejas justapostas pregadas lateralmente, e reconstituídas na região de compressão com Compound® Adesivo, válido para os ensaios de flexão estática.

Tabela 5.8. Força de ruptura dúctil na flexão nas vigas transversinas reabilitadas pela Proposta R2-CJ2 com cobrejas justapostas pregadas e reconstituídas na região de compressão com Compound® Adesivo estrutural.

Força de ruptura na flexão (kN)	TS1	TS2	TS3	TS4
	64,94	74,68	73,60	75,22

Na Tabela 5.9 são apresentados os resultados experimentais dos ensaios de flexão para avaliação das vigas transversinas TS1, TS2, TS3 e TS4 reabilitadas pela Proposta R2-CJ2 com cobrejuntas justapostas pregadas lateralmente, e reconstituídas na região de compressão com Compound® Adesivo a base de epóxi estrutural.

Tabela 5.9. Resultados dos ensaios experimentais de flexão da Proposta R2-CJ2 de reabilitação com cobrejuntas justapostas, e reconstituição com Compound® Adesivo epóxi da região de compressão biodeteriorada.

Viga	Cobrej. P/ Reab.	MOE Cobrej. (MPa)	Barra Aço	Qtde. Epóxi (kg)	P. P. Proposta R2-CJ2 (kg) 14 Dias	MOE Proposta R2-CJ2 (MPa) 14 Dias	MOR Proposta R2-CJ2 (MPa) 14 Dias	F _R Proposta R2-CJ2 (KN) 14 Dias
TS1	C5	23898	–	4	77,25	23289	61,63	64,94
	C6	27101						
TS2	C7	26909	1Φ5 mm	7	78,15	22419	70,80	74,68
	C8	21479						
TS3	C1	24645	–	9	76,50	21015	68,94	73,60
	C2	26209						
TS4	C3	27030	1Φ5 mm	17	77,65	22844	76,07	75,22
	C4	24991						
Média		25283				22392	69,36	72,11

5.4.2.6 Resultados e Discussões da Proposta R2-CJ1 e da Proposta R2-CJ2

Em comparação aos resultados dos diagramas Força x Flecha, na Figura 5.67 pode-se observar o comportamento das vigas transversinas TS1; TS2; TS3; TS4, parcialmente biodeterioradas (sem reabilitação); reabilitadas pela Proposta R2-CJ1 (com cobrejuntas justapostas pregadas lateralmente); reabilitadas pela Proposta R2-CJ2 (com cobrejuntas justapostas pregadas e reconstituídas na região de compressão com Compound® Adesivo); e a representação do *Modelo Teórico*, válido para os ensaios de flexão estática, que evidenciam a eficiência nas contribuições de técnicas de reabilitações de ambas propostas do Autor.

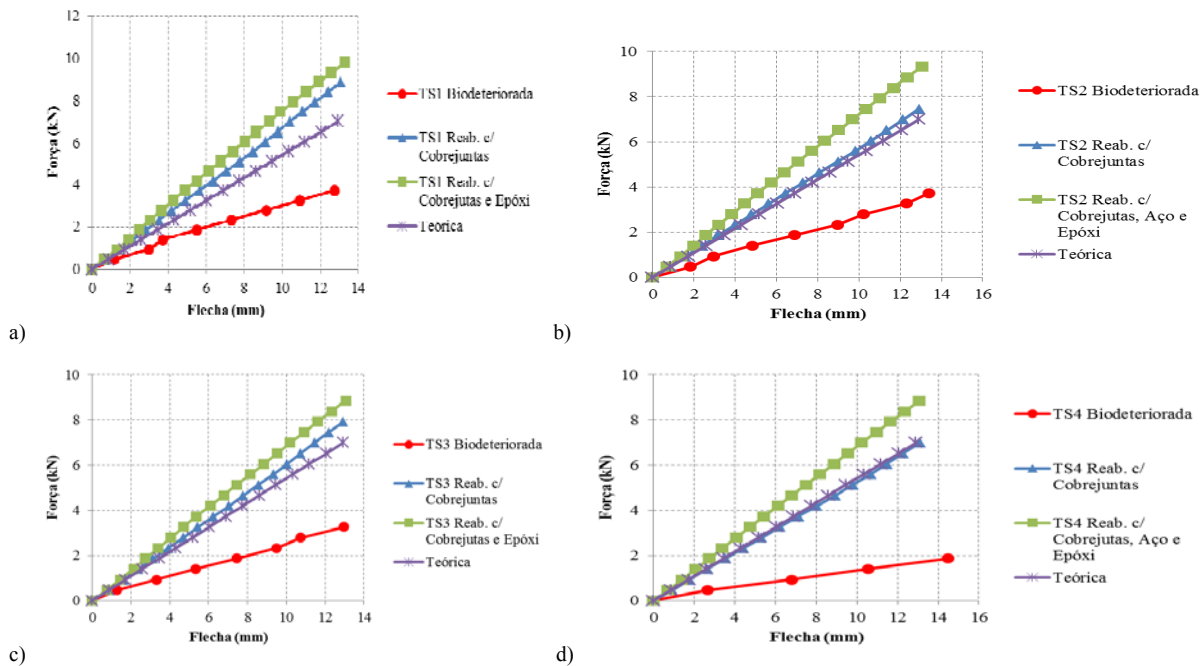


Figura 5.67. Comparação dos resultados no comportamento das vigas transversinas (TS1; TS2; TS3; TS4), biodeterioradas; reabilitadas com cobrejuntas justapostas pregadas lateralmente (Proposta R2-CJ1); reabilitadas com cobrejuntas justapostas pregadas e reconstituídas na região de compressão com Compound® Adesivo (Proposta R2-CJ2); e a representação do *Modelo Teórico*, válido para os ensaios de flexão estática. Ensaios: BRITO

Pode-se observar nos diagramas Força x Flechas das vigas transversinas TS1, TS2, TS3 e TS4 que os resultados experimentais avaliados na relação $L/300$, em aproximadamente 13 mm, para os casos em análise, o estado limite das técnicas de reabilitação, tanto da Proposta R2-CJ1 quanto da Proposta R2-CJ2 é garantido pelo efeito de incremento de força, quando comparada com as mesmas em situação de biodeterioração. No entanto, para os casos da Proposta R2-CJ2 com cobrejuntas justapostas pregadas e com reconstituição com adesivo epóxi estrutural nas zonas comprimidas das viga, mesmo que esses casos tenham apresentado ganho satisfatório, o ganho incremental da força foi pouco significativo quando comparado com os casos da Proposta R2-CJ1 com cobrejuntas justapostas pregadas. Mas para os Casos da TS2 e TS4 da Proposta R2-CJ2 (Arranjo 2) que foram adicionadas uma barra de aço de ϕ 5mm, esse incremento foi mais significativo.

Os resultados dos ensaios experimentais demonstraram eficientes nas propostas de técnicas de reabilitação de peças de madeira com cobrejuntas justapostas de da *Passarela Pênsil de Piracicaba* do Estudo de Caso R2, além de ganhos de contribuição no valor do MOE e praticidades de execução.

As principais imagens digitais (fotos digitais) desse estudo foram anexadas no APÊNDICE A 9.2 referente ao *Estudo de Caso* de três anos de acompanhamento em inspeções para

avaliações e em propostas de técnicas de reabilitação dos elementos estruturais da *Passarela Pênsil de Piracicaba*.

5.4.2.7 Modelo Analítico: Critérios de Dimensionamento de Cobrejuntas Justapostas

Segundo a NBR 7190:1997 as peças compostas por elementos justapostos solidarizados continuamente podem ser consideradas como se fossem peças maciças, no entanto, considerando certas restrições.

Para o Estudo de Caso R2, com cobrejuntas justapostas fixadas continuamente nas laterais das peças parcialmente biodeterioradas, pode-se admitir como peças compostas de madeira serrada formando seção I, solidarizadas permanentemente por ligações rígidas por pregos, definidas em 8.3.1 da NBR 7190:1997, dimensionadas ao cisalhamento como se a viga fosse de seção maciça, solicitadas a flexão simples ou composta, e podem ser dimensionadas como peças maciças, com seção transversal de área igual à soma das áreas das seções dos elementos componentes, e momento de inércia efetivo (I_{ef}) dado por:

$$I_{ef} = \alpha_r \cdot I_{th} \quad (\text{Eq. 5.68})$$

Onde:

I_{ef} → é o momento de inércia efetivo da seção, considerando a eficiência da ligação;

I_{th} → é o momento de inércia teórico da seção total da peça, admitindo como se ela fosse maciça:

α_r → é o coeficiente de redução do momento de inércia, sendo:

- para seções T: $\alpha_r = 0,95$

- para seções I ou caixão: $\alpha_r = 0,85$

Ainda conforme o item 7.7.5 dessa norma, as vigas compostas de seção retangular, ligadas por conectores metálicos, solicitadas à flexão simples ou composta, suposta uma execução cuidadosa e a existência de parafusos suplementares que solidarizem permanentemente o sistema, podem ser dimensionadas à flexão, em Estado Limite Último (ELU), como se fossem peças maciças, reduzindo-se o momento de inércia da seção composta, adotando-se:

$\alpha_r = 0,85$, para dois elementos superpostos;

$\alpha_r = 0,70$, para três elementos superpostos.

Vale frisar que os conectores metálicos devem ser dimensionados para resistirem ao cisalhamento que existiria nos planos de contato das diferentes peças como se a peça fosse maciça.

Conforme o item 8.3.1 da a NBR 7190:1997, as ligações com dois ou três pinos são consideradas deformáveis, permitindo-se o seu emprego exclusivamente em estruturas isostáticas. No projeto, estas ligações serão calculadas como se fossem rígidas, dando-se à estrutura isostática uma contra-flecha compensatória, de pelo menos $L/100$, onde L é o vão teórico da estrutura considerada, e *“nunca serão utilizadas ligações com um único pino”*.

As ligações pregadas com quatro ou mais pregos, podem ser consideradas rígidas, desde que respeitados os diâmetros de pré-furação especificados em 8.3.2 dessa norma, sendo que para evitar o fendilhamento em uniões pregadas será obrigatoriamente feita a pré-furação na madeira, com diâmetro d_0 não maior que o diâmetro d_{ef} do prego, com os valores usuais:

$$\text{coníferas: } d_0 = 0,85 \cdot d_{ef}$$

$$\text{dicotiledôneas: } d_0 = 0,98 \cdot d_{ef}$$

onde d_{ef} é o diâmetro efetivo medido nos pregos a serem usados.

6 CONCLUSÕES

6.1 Considerações Gerais

A partir da análise sistematizada da grande maioria das informações disponíveis no meio científico, sobre *Patologias em Estruturas de Madeira* direcionadas à *Metodologia de Inspeção* e às *Técnicas de Reabilitação*, procurou-se sobretudo tomar uma posição crítica a respeito do assunto, para assim lançar as bases para a fundamentação teórica, de nível Nacional, de um programa de pesquisa objetivo e consistente.

Esse trabalho caracterizou-se também pelo aspecto geral e abrangente com que foi tratado o assunto, podendo ser ponto de partida, como subsídeo para futuros estudos pormenorizados à respeito de *Metodologia de Inspeção* e de *Técnicas de Reabilitação* em elementos estruturais de madeira no Brasil.

Buscando lançar as bases para a fundamentação teórica de um programa de pesquisa e desenvolvimento de longo prazo para elaboração dessa *Tese*, e através de estudos em revisão sistemática na bibliografia sobre as inspeções para avaliações de manifestações patológicas em elementos estruturais de madeira, aliadas às pesquisas de identificação de tais anomalias *em campo* foram propostos diagnósticos do estado-da-arte para *Metodologia de Inspeção* e dois estudos de casos de *Técnicas de Reabilitação* de elementos estruturais de madeira. As diretrizes sugeridas na pesquisa enfatizaram a consideração especial na revisão sistemática na bibliografia, em que são apresentados os assuntos de maior relevância sobre o tema de *Patologias em Estruturas de Madeira*, através de pesquisas de revisão de literatura realizadas no Brasil e no Exterior, referentes às causas, diagnóstico, sintomatologias para avaliações em inspeções, além de técnicas de intervenções em manutenções, reabilitações e reforços de estruturas de madeira.

Como facilitador na identificação das principais causas das patologias em estruturas de madeira apresentadas no Capítulo 2, os estudos para elaboração do Capítulo 3 sobre as *Características Visuais* dos principais agentes deterioradores da madeira (bióticos e abióticos), foram fundamentais no intuito de identificação e diagnose das principais manifestações patológicas em elementos estruturais de madeira, durante as pesquisas em *Estudos de Caso* nas *Inspeções Visuais* realizadas em campo, que contribuíram para a elaboração das Fichas Técnicas do Apêndice A.

Além disso, o estudo das principais metodologias usuais e técnicas de inspeções para avaliações de elementos estruturais de madeira, apresentadas no Capítulo 4, com ênfase nas *Técnicas Não Destrutivas* (NDT), recomendadas por renomados pesquisadores internacionais da área, foram fundamentais para a contribuição na elaboração de uma proposta de metodologia de inspeção, e definição dos *Níveis de Inspeção*. Como subsidio na elaboração de projetos em trabalhos de inspeções em avaliações e manutenções de estruturas de madeira, recomenda-se a divisão de trabalhos nas seguintes etapas:

- ✓ Pré-inspeção;
- ✓ Inspeção Preliminar de Nível 1 (Avaliação Geral);
- ✓ Inspeção Detalhada de Nível 2 (Avaliação Detalhada);
- ✓ Monitoramento da Estrutura.

Com base na *Classificação de uso* de acordo com a região em que os elementos estruturais de madeira envolvidos são expostos, fundamentado nos critérios do Eurocode EC 5 e conforme o projeto de revisão de norma da ABNT NBR 7190:2011, como contribuição no Capítulo 4 foi apresentada uma metodologia facilitadora para *Inspeções Preliminares de Nível 1* a serem realizadas *em campo*, apontando como indicativo os pontos críticos a serem avaliados de maneira pormenorizada em regiões com maior *Potencial de Risco de Biodeterioração*, em função das aqui renomeadas para esse fim, como *Classes de Risco* (CR).

Ainda no Capítulo 4, como contribuição facilitadora na identificação do *Nível de Prioridade de Intervenção* em determinado elemento estrutural de madeira foi apresentada a metodologia de *Classes de Prioridade de Intervenção* (CPI), em função da eminência de risco, detectada em avaliação durante a fase de *Inspeção Preliminar de Nível 1*. Esse sistema de classificação pode subsidiar na elaboração de um mapeamento esquemático em projetos de *Inspeções Detalhadas de Nível 2* indicando as áreas com maior *Potencial de Risco de Biodeterioração*, com as indicações das respectivas cores apropriadas, e em função do *Nível de Prioridade de Intervenção* de cada elemento estrutural.

Como contribuição na proposta de uma *Metodologia de Inspeção em Técnicas Não Destrutivas* (NDT), foram realizados trabalhos *em campo*, fundamentados na base teórica em avaliações desde técnicas mais simples como *Técnicas de Inspeção Visual (geral e detalhada)*, testes de puncionamento, testes de picoteamento com ferramentas pontiagudas, tradicionais de carpintaria (punção, formão), e testes à percussão sonora com uso de martelo, até ensaios especializados com o uso do *Equipamento Não Destrutivo* (END) Resistograph[®] IML-RESI-F500-S. Com os trabalhos realizados de maneira sistematizada das principais manifestações patológicas em estruturas de madeira, com ênfase na *Metodologia de Inspeção*

com *Técnicas Não Destrutivas* (NDT) de *Técnicas de Inspeção Visual* e o uso do Resistograph® IML-RESI-F500, para avaliações de elementos estruturais de madeira, ainda no Capítulo 4 foi elaborada uma proposta de *Metodologia de Inspeção Visual Detalhada* de anomalias com *Mapeamento de Imagens Digitais Assistidas Via Sistema CAD*, que uma vez registradas e arquivadas, podem subsidiar em avaliações contínuas na evolução das manifestações patológicas, de determinados elementos, em inspeções periódicas e preventivas futuras. Em análise aos resultados das avaliações em laboratório das 8 Transversinas Superiores (TS1, TS2, TS3, TS4, TS5, TS8) da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, à eficiência na contribuição dessa *Metodologia de Inspeção* proposta foi validada na equivalência da aproximação gráfica dos diagramas gerados pelo o Resistograph® IML-RESI-F500-S, com as profundidades de biodeteriorações detectadas visualmente, pelas técnicas de sondagens com punctionamento, picoteamento e percussão, nessas 8 transversinas, quando observados nos desenhos sobrepostos às imagens digitais inseridas em sistema CAD.

Conclui-se que em inspeções para avaliações de elementos estruturais de madeira, a metodologia da *Técnica de Inspeção Visual Detalhada*, com registros de fotos com imagens digitais, realizada por inspetores especialistas, tem-se demonstrado eficiente para a detecção de anomalias visíveis, a fim de diagnosticar manifestações de patológicas, para estimar o dano na madeira causado por agentes abióticos, como fendas, rachas, flechas; e por agentes bióticos, como brocas, cupins e fungos, e quando associadas ao mínimo de equipamentos com testes de punctionamento, picoteamento, percussão com martelo e sondagem interna com o uso do Resistograph®, que podem favorecer ainda mais a eficiência da metodologia.

As principais técnicas de reabilitação e reforço visando a durabilidade e aumento da vida útil em manutenção das estruturas de madeira, foram apresentadas de maneira sistematizada no Capítulo 5, no entanto, decorrer desse capítulo foram apresentados os principais tipos de intervenções em técnicas de reabilitações e refoços, que tem sido utilizado e pesquisado no Brasil e no Exterior, por renomados pesquisadores, e que foram fundamentais para confecção das Fichas Técnicas do Apêndice B. Em determinados casos especiais, também foram apresentados modelos analíticos com critérios de cálculo para dimensionamento de elementos de reforços para utilização dessas técnicas, que podem contribuir como subsídio para Engenheiros e Arquitetos, na elaboração de projetos e *Técnicas de Reabilitação* de elementos estruturais de madeira.

Como contribuições originais do trabalho, no final do Capítulo 5 foram elaboradas pelo Autor, dois *Estudos de Caso* distintos em propostas de Técnicas de Reabilitação (R) subdivididos em:

- *Estudo de Caso R1*: Propostas de técnicas de reabilitação em vigas de Madeira Laminada Colada (MLC) com parafusos auto-atarraxantes sem pré-furação:
 - *Proposta R1-MLC1* em técnica de reabilitação com emendas de prótese em viga de MLC com ligações momento-resistente (tipo coroa), com parafusos auto-atarraxantes sem pré-furação.
 - *Proposta R1-MLC2* em técnica de reabilitação de costura de fendas longitudinais e/ou delaminações em viga de MLC, com ligações por cisalhamento, com com parafusos auto-atarraxantes sem pré-furação.

Nos Estudos de Caso R1 foram apresentadas às metodologias teóricas de modelo analítico de cálculo fundamentado no Eurocode EC 5. Os resultados dos ensaios experimentais de vigas submetidas a ensaios estáticos de flexão, demonstraram eficientes para as propostas de técnicas de reabilitação de vigas de Madeira Laminada Colada (MLC) com parafusos auto-atarraxantes, além de ganhos de contribuição no valor do MOE e praticidades de execução.

- *Estudo de Caso R2*: Propostas de técnicas de reabilitação de elementos estruturais de madeira de *Eucalyptus citriodora* da *Passarela Pênsil de Piracicaba* com cobrejuntas justapostas de *Eucalyptus citriodora*:
 - *Proposta R2-CJ1* em técnica de reabilitação de peças de madeira com cobrejuntas justapostas pregadas de *Eucalyptus citriodora*.
 - *Proposta R2-CJ2* em técnica de reabilitação com cobrejuntas justapostas pregadas e reconstituição com adesivo estrutural epoxídico em regiões parcialmente biodeterioradas em zonas comprimidas de vigas de *Eucalyptus citriodora*, avaliada sob dois arranjos na reconstituição em função do nível de biodeterioração da viga transversina superior (TS):
 - *Proposta R2-CJ2 (Arranjo 1)*: técnica de reabilitação de peças biodeterioradas com cobrejuntas justapostas de *Eucalyptus citriodora* e reconstituição com adesivo estrutural epóxi, nas vigas TS1 e TS3.
 - *Proposta R2-CJ2 (Arranjo 2)*: técnica de reabilitação de peças parcialmente biodeterioradas (na zona comprimida) com cobrejuntas justapostas de *Eucalyptus citriodora*, pregadas, adição de barra de aço contínua, com ϕ 5 mm, para costura em linha no eixo central dos pregos superiores, admitindo

como um sistema tipo porta estribos e reconstituição com adesivo estrutural epóxi, nas vigas TS2 e TS4.

Com relação às técnicas de reabilitações propostas para o Estudo de Caso R2, que foram estudadas no LaMEM com ênfase na reabilitação os elementos estruturais de madeira de *Eucalyptus citriodora* da Passarela Pensil de Piracicaba, tanto os resultados experimentais de vigas submetidas a ensaios estáticos de flexão, da Proposta R2-CJ1 quanto da Proposta R2-CJ2 demonstraram eficientes. O uso Compound[®] Adesivo especialmente desenvolvido para aplicação em reabilitação estrutural, demonstrou eficiente tanto na trabalhabilidade quanto na aplicação estrutural da Proposta R2-CJ2, referente à técnica de reabilitação em reconstituição da região parcialmente biodeteriorada em zonas comprimidas de vigas de madeira de *Eucalyptus citriodora*. No entanto, observa-se que o Estado Limite nessas técnicas de reabilitação propostas é garantido pelo efeito de incremento de força, ao invés de resistência ou rigidez das peças, e pode-se afirmar que a Proposta R2-CJ1 apresentou melhor viabilidade técnica-econômica do que a Proposta R2-CJ2, tendo em vista que o efeito de incremento de força com a adição do adesivo epóxi estrutural não foi tão significativo, e ainda tem-se o fator do alto custo de adesivos epóxis estruturais no Brasil, quando utilizado esse material para reconstituição em grande quantidade, em peças de madeira biodeterioradas. Outra desvantagem é que no Brasil, a grande maioria de fornecedores de resinas epóxi só trabalham com a coloração acinzentada, para compatibilidade de acabamento em concreto, que em certos casos, podem influenciar na aparência estética e autenticidade dos materiais originais de madeira podendo ser perdidas.

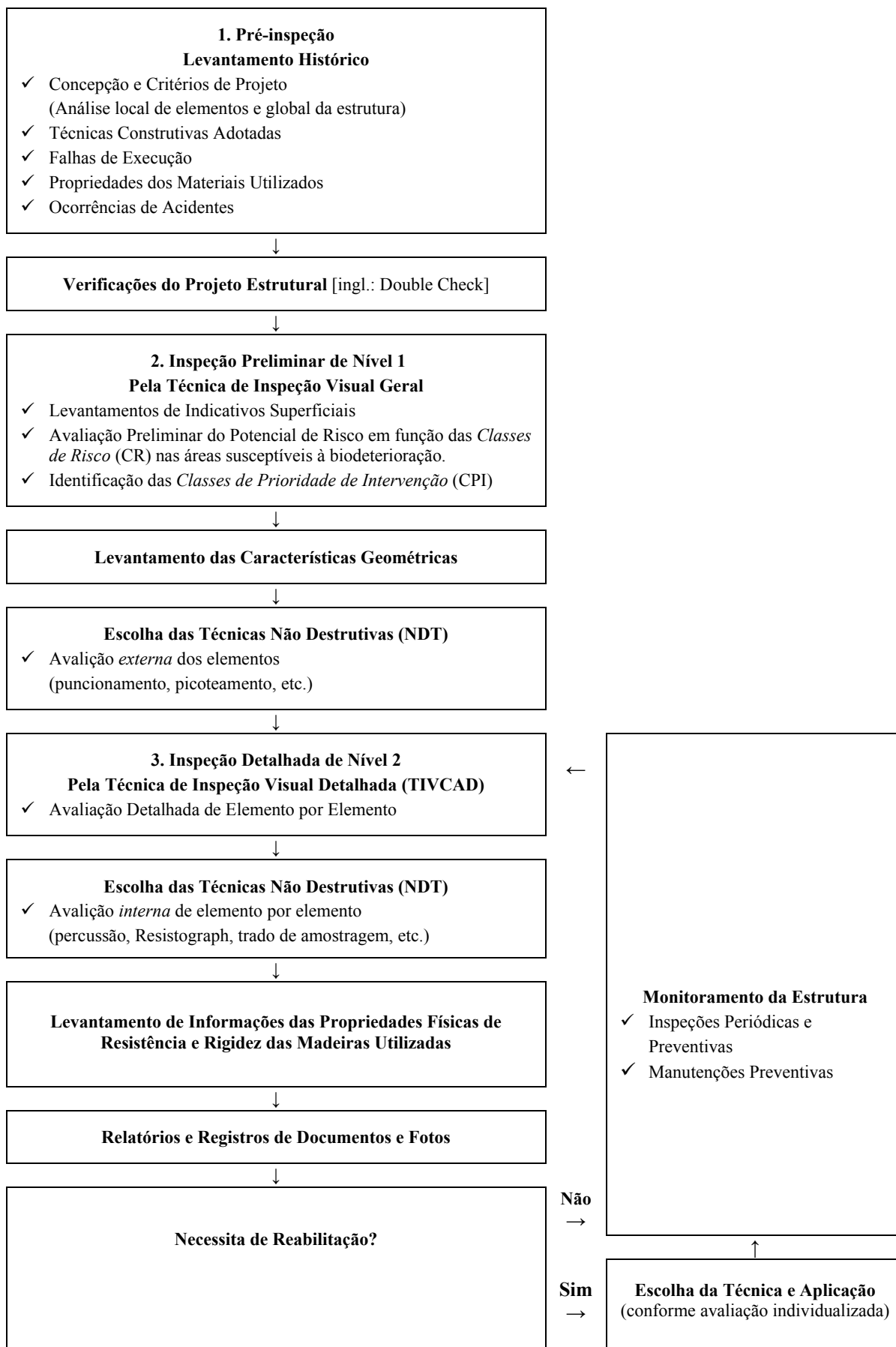
As diretrizes estudadas nas pesquisas da fundamentação teórica enfatizaram as considerações especiais dos mecanismos nas propostas de *Metodologia de Inspeção* e de *Técnicas de Reabilitação* para os principais elementos estruturais de madeira, das diversas estruturas pesquisadas, dando ênfase na proposta e realização das técnicas de reabilitação da estrutura de madeira da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, além disso, pode fornecer subsídios como intuito referencial para trabalhos futuros pormenorizados, através da seleção de exemplificações apresentadas nos APÊNDICES A e B desse trabalho.

6.2 Considerações Finais

Com base nos estudos da revisão sistemática na fundamentação bibliográfica, nos ensaios de laboratório, nas pesquisas de campo e estudos de caso de inspeções e técnicas de reabilitações, apresentou-se uma contribuição sob a forma de uma *Metodologia de Inspeção*, baseada na *Categoria de uso* de acordo com a região em que os elementos estruturais de madeira envolvidos estão expostos, fundamentada nos critérios do Eurocode EC 5 e conforme o projeto de revisão de norma da ABNT NBR 7190:2011. Esse sistema de classificação também pode ser um facilitador nas realizações de *Inspeções Preliminares de Nível 1* em campo, apontando-se como indicativo os pontos críticos a serem avaliados de maneira pormenorizada em regiões com maior *Potencial de Risco de Biodeterioração*, em função das aqui renomeadas *Classes de Risco* (CR), e uma metodologia de *Classe de Prioridade de Intervenção* (CPI), em função da eminência de risco detectado. No Fluxograma 6.1 apresenta-se uma proposta de sistematização de *Metodologia de Inspeção*, de maneira sequencial, em função das etapas necessárias de trabalho.

As contribuições originais deste trabalho referentes às técnicas de reabilitações propostas, demonstraram eficiência, tanto para o *Estudo de Caso R1* referente as técnicas de reabilitação em vigas MLC com parafusos auto-atarraxantes, com ligações momento-resistente em próteses de MLC e reabilitações com ligações por cisalhamento em modos de falha de delaminações e de fendas longitudinais, bem como para o *Estudo de Caso R2*, com ênfase na reabilitação de elementos estruturais de madeira de *Eucalyptus citriodora* da *Passarela Pênsil de Piracicaba*.

As diretrizes estudadas nas pesquisas da fundamentação teórica enfatizaram as considerações especiais dos mecanismos nas propostas de *Metodologia de Inspeção* e de *Técnicas de Reabilitação* para os principais elementos estruturais de madeira, das diversas estruturas pesquisadas, dando ênfase na proposta e realização das técnicas de reabilitação da estrutura de madeira da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, além disso, pode fornecer subsídios como intuito referencial para trabalhos futuros pormenorizados, através da seleção de exemplificações apresentadas nos APÊNDICES A e B desse trabalho.



Fluxograma 6.1. Metodologia de etapas de inspeção para avaliação em estruturas de madeira.

Fonte: Proposta do Autor (BRITO, 2014)

Esse trabalho, envolvendo assuntos complexos e ao mesmo tempo incipientes em nosso país, via de regra tratado com referências de renomados pesquisadores internacionais, especialistas na área, constituiu em um esforço no sentido de propiciar uma contribuição científica fundamental no estudo de *Manifestações Patológicas em Estruturas de Madeira*, e no desenvolvimento de pesquisas de *Metodologia de Inspeção* e de *Técnicas de Reabilitação* de elementos estruturais de madeira no Brasil.

Por fim, esse estudo caracterizou-se também pelo aspecto geral e abrangente com que foi tratado o assunto, podendo ser ponto de partida, como subsídio para futuros trabalhos pormenorizados à respeito de outras *Metodologias de Inspeção* e de *Técnicas de Reabilitação* em elementos estruturais de madeira no Brasil.

6.3 Sugestões para trabalhos futuros

Os temas discutidos no presente trabalho sobre as patologias em estruturas de madeira provou ser rico e merecedor de desmembramentos para novos estudos, uma vez que desperta interesse em diversas áreas tanto no âmbito de pesquisas de metodologia de inspeção quanto as técnicas de reabilitação de elementos estruturais de madeira. Assim, é que uma vez não pretendendo ser estanque, mas sim constituir uma fonte geradora de novos trabalhos pormenorizados, essa pesquisa, além da sua contribuição como obra científica, sugere-se alguns temas dentre os quais destacam-se para:

- 1) metodologia de inspeção, em estudos de correlação de propriedades físicas da madeira, com o uso do Resistograph, para avaliação de parâmetros em inspeções *in loco*.
- 2) estudos de técnicas de reabilitação com cobrejuntas justapostas, em avaliações com fixações de parafusos autoatarraxantes ao invés de pregos; em reconstituição de regiões biodeterioradas com outros tipos de adesivos tais como: epóxi Sikadur 32, epóxi Barracuda AR 300, resina poliéster, dentre outras. Além disso sugere-se a elaboração de traços para adição de cargas para diminuir o consumo de resina, ou ainda estudos com aplicação de fibras de vidro ou fibras de carbono.
- 3) estudos de ligações com barras coladas na madeira, para emendas de próteses de madeira.

Como já comentado, muito pouco tem sido estudado sobre as patologias em estruturas de madeira no âmbito nacional. Espera-se que esse trabalho contribua para que os olhares técnicos e acadêmicos se voltem para esse tema tão pouco explorado, e que tem uma tendência natural no ponto de vista da sustentabilidade das edificações e estruturas existentes a nível Mundial.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAD, I. R. (2009). Evaluación de la técnica no destructiva de georradar para la inspección, diagnóstico y análisis resistente de la madera. Tesis (Doctoral) Universidad Politécnica de Valencia. España.

ABCP (1967). Vocabulário de teoria das estruturas. Tipografia EDANEE S.A.. São Paulo.

ABRAMI et al (2005). Preserving cultural heritage by preventing bacterial decay of wood in foundation piles and archaeological sites: Chapter 2 - Bacterial wood decay in Europe. Final report. EVK4-CT-2001-00043. BACPOLES. Wageningen, Netherlands.

AIRA, J. R.; ARRIAGA MARTITEGUI, F.; GONZALEZ, G. I.; HERRERO, M. E.; BRAVO, C. G. (2011) Análisis del estado de tensiones en uniones carpinteras de empalme de llave por el método de los elementos finitos. In: CIMAD 11 de 07 a 09 de junho de 2011, Coimbra, Portugal.

ALFONZO, G. L. A.; Lozano Martinez LUENGAS, L. M. (1995). Curso Técnicas de Intervención en El Patrimonio Arquitectónico. Tomo I. Reestructuración en madera.

ALVIM, R. C.; VELOSO, L. A. C. M.; BRASIL, R. M. L. R. F. (2002). Uma proposta de restauração da estrutura da cobertura do ginásio poliesportivo do Pacaembu, São Paulo, SP, Brasil. VIII EBRAMEM, Uberlândia, 24 a 26 de julho de 2002.

ALVIM, R. C. (2009). Projeto de estruturas de madeira: peças compostas comprimidas. Editora Blucher Acadêmico. São Paulo.

ALVIM, R. C.; VELOSO, L. A. C. M.; ALMEIDA, P. A. O.; ALVIM, R. A. A. (2011). Metodologia para avaliação da segurança de estruturas do tipo Hauff em coberturas de grande porte de madeira no Brasil. Anais CIMAD 11, 7-9/06/2011, Coimbra, Portugal.

AMARAL, R. D. A. M. (2002). Diagnóstico da ocorrência de cupins xilófagos em árvores urbanas do bairro de Higienópolis na cidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado) escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz Universidade de São Paulo Piracicaba.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIAL. ASTM D 9-12 (2012). Designation: Standard Terminology Relating to Wood and Wood-Based Products. United States.

_____. ASTM D 143-14 (2014). Designation: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. United States.

_____. ASTM D 198-08 (2008). Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes. Pennsylvania, United States.

_____. ASTM D 245-93. Standard practice for establishing structural grades and related allowable properties for visually graded lumber. United States.

_____. ASTM D 245-06 (2011). Standard practice for establishing structural grades and related allowable properties for visually graded lumber. United States.

_____. ASTM D 1761-12 (2012). Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Wood. West Conshohocken. United States.

_____. ASTM D 3039/D 3039M (2006). Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials. Philadelphia.

_____. ASTM D 3345-08 (2008). Standard test method for laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials for resistance to termites. United States.

_____. ASTM D3878-07 (2013). Standard Terminology for Composite Materials. Philadelphia. United States

_____. ASTM D 4933-91 (1991). Standard Guide for Moisture Conditioning of Wood and Wood-Base Materials. United States.

_____. ASTM STP 1351 (2000). Wood Structures: A global forum on the treatment, Conservation, and repair of cultural heritage. ISBN 0-8031-2497-X. Philadelphia, PA.

_____. ASTM STP 1355 (1999). The use of and need for preservation standards in: Architectural Conservation. ISBN 0-8031-2606-9. West Conshohocken. United States.

ANAGNOST, S. E. (2011). Wood decay, fungi, stain and mold. Department of Sustainable Construction Management and Engineering. SUNY College of Environmental Science and Forestry. New York.

ANDERSON, C. A.; LOFERSKI, J. R.; WOESTE, F. E. (2003). Detecting Early Wood Decay - The Inspector's Journal Forums. Virginia Tech University, Blacksburg, Biological Systems Engineering Department. Wood Science and Forest Products Department. Disponível em: <http://www.inspectorsjournal.com/forum/topic.asp?TOPIC_ID=2101eSearchTerms=pick+test>. Acesso em: 07 Fev. 2014.

ANON (1982). The age of resin. The Architects Journal. Feb, 1982.

ALVAREZ, R.A.; MARTITEGUI, F. A.; CALLEJA, J. J. M. (2000). Estructuras de madera: Diseño e cálculo, AITIM, Madrid, España.

ARGÜELLES A., R.; ARGÜELLES B., R. (1996). Análisis de estructuras. Teoría, problemas y programas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Fundación Conde del Valle de Salazar Madrid.

ARRIAGA, F. (2010). Sistemas de refuerzo y consolidación en estructuras de madera. In: Congresso Patrimônio 2010, 14 a 16 de abril de 2010, Porto, Portugal.

ARRIAGA, F.; GONZALEZ, G. I.; HERRERO, M. E. (2011). Bonding shear strength in timber and GFRP glued with epoxy adhesives. Wood Research, 56 (3). 297 - 310. ISSN 1336-4561.

ARRIAGA, F. (1986). Consolidación de estructuras de madera mediante refuerzos embebidos en formulaciones epoxi. Tesis (Doctoral), Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. Disponível em: < http://oa.upm.es/4437/2/FRANCISCO_ARRIAGA_MARTITEGUL.pdf >. Acesso em: 09 Set. 2012.

ARRIAGA, F.; PERAZA, F.; ESTEBAN, M.; BOBADILLA, I.; GARCÍA, F. (2002). Intervención en estructuras de madera. ISBN: 84-87381-24-3. Editora AITIM Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera, Madrid, España.

ASKNATURE (2014). Termites. Disponível em: < <http://www.asknature.org/images/uploads/strategy/dc6554151ea267f11f2ec4cb605be88c/7e3fae5e34f9fc43cc8c66fb66cdc32f.jpg> > Acesso em: 29 Jul. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5674:1999. Manutenção de edificações - Procedimento. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 6118:2003. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 6118:2007. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 6118:2014. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 6023:2002. Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 6024:2003. Informação e documentação – Numeração progressiva das seções de um documento escrito – apresentação. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 6027:2003. Informação e documentação – Sumário – apresentação. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 6028:2003. Informação e documentação – Resumo – apresentação. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 6123:1988. Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 7190:1997. Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro.

_____. ABNT CB-02 Revisão da NBR 7190:2011. Projeto de estruturas de madeira, Rio de Janeiro, Novembro de 2011.

_____. ABNT NBR 8456:1984. Postes de eucalipto preservado para redes de distribuição de energia elétrica – Especificação. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 8681:2003. Ações e segurança nas estruturas – Procedimento. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 8800:2008. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 9452:1986. Vistorias de pontes e viadutos de concreto - Procedimento.

_____. ABNT NBR 10520:2002. Informação e documentação – citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 12225:2004. Informação e documentação – lombada – apresentação. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 14037:1998. Manual de operação, uso e manutenção das edificações – Conteúdo e recomendações para elaboração e apresentação. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 14724:2010. Informação e documentação – trabalhos acadêmicos – apresentação. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 15287:2006. Informação e documentação – Projeto de pesquisa – Apresentação. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 15575-1:2008. Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 15575-2:2008. Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 15575-3:2008. Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 15575-4:2008. Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 15575-5:2008. Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 15575-6:2008. Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 6: Sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro.

_____. ABNT NBR 15575-1:2011. Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. ABNT/CB-02 1º PROJETO DE EMENDA ABNT NBR 15575-1, Rio de Janeiro, Dezembro de 2011.

_____. ABNT NBR 15575-2:2011. Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. ABNT/CB-02 1º PROJETO DE EMENDA ABNT NBR 15575-2, Rio de Janeiro, Dezembro de 2011.

_____. ABNT NBR 15575-3:2011. Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 3: Requisitos para os sistemas de pisos internos. ABNT/CB-02 1º PROJETO DE EMENDA ABNT NBR 15575-3, Rio de Janeiro, Dezembro de 2011.

_____. ABNT NBR 15575-4:2011. Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas. ABNT/CB-02 1º PROJETO DE EMENDA ABNT NBR 15575-4, Rio de Janeiro, Dezembro de 2011.

_____. ABNT NBR 15575-5:2011. Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 5: Requisitos para os sistemas de coberturas. ABNT/CB-02 1º PROJETO DE EMENDA ABNT NBR 15575-5, Rio de Janeiro, Dezembro de 2011.

_____. ABNT NBR 15575-6:2011. Edifícios habitacionais até cinco pavimentos – Desempenho – Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários. ABNT/CB-02 1º PROJETO DE EMENDA ABNT NBR 15575-6, Rio de Janeiro, Dezembro de 2011.

APA EWS (1999). Glulam Connection Details. Engineered Wood Systems.

APA EWS (2006). Owner's guide to understanding checks in glued laminated timber. The Engineered Wood Association.

ATLAS OF INSECTS HARMFUL TO FOREST TREES (1976). V1. Amsterdam, New York: Elsevier Scientific.

ATM (2010). Carpenter Bees: Identification Characteristics and Damage. Center for Urban e Structural Entomology, Dep. of Entomology, Texas AeM University. USA, 2010. Disponível em: < http://urbanentomology.tamu.edu/wdi/carpenter_bee.html >. Acesso em: 20 Jan. 2014.

AURÉLIO (2004). Novo Dicionário Eletrônico Aurélio. Versão 5.0, 3ª. edição, Editora Positivo, Informática LTDA.

AUSTRALIAN NEW ZEALAND STANDARD. AS/NZS 4674:2000. Structural design requirements for utility services poles. Sydney.

AUSTRALIAN STANDARD. AS 1720.2:1990. Timber properties. Sydney.

_____. AS 1604.1:2005. Especificação for preservative treatment. Part 1: Sawn and round timber. Sydney.

_____. AS 5604:2005. Timber: natural durability ratings. Sydney.

AVENT, R.R.; EMKIN, L.Z.; HOWARD, R.H.; CHAPMAM, C.L. (1976). Epoxy-repaired bolted timber connections. Journal of the Structural Division, ASCE 102(4): 821-838.

AVENT, R.R. (1985). Factors affecting strength of epoxy-repaired timber. Journal of the Structural Division, ASCE 112(2): 207-221.

BALLÁN BALLÁN, E. (2009). Técnicas de reabilitação de Estruturas de Madeira. Palestra apresentada no CINPAR 2009, Curitiba. Revista IBRACON, Concreto e Construções, Ano XXXVII, Nº 55, 2009. ISBN 1809-7197.

BARBISAN, V.; LANNER, F (2000). Capriate e tetti in legno: Progetto e Recupero. ISBN 88-464-2274-0. Franco Angeli, Milano.

BARREAL, J. A. R. (1998). Patología de la Madera – Coedición Fundación Conde del Valle de Salazar Ediciones Mundi-Prensa.

BASTOS, J. M. S. (2011). Asnas tradicionais de madeira: Caracterização e reforço. Dissertação (Mestrado) Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro. Portugal.

BEAR.ORG (2014). Marking Trees and Poles. Disponível em: < <http://www.bear.org/website/bear-pages/black-bear/black-bear-sign/56-marking-trees-and-poles.html> > Acesso em: 26 Jan. 2014.

BENNETT, G. W. (2010). Termite Control. Extension Entomologist. E-4-W. Household e Structural. Department of Entomology. Purdue University Disponível em: < <http://extension.entm.purdue.edu/publications/E-4.pdf> >. Acesso em: 24 Jan. 2014.

BENOIT, Y. (1997). Le guide des essences de bois. CTBA, ISBN 2-212-011821-X. Paris, France.

BERRY, R. W. (1994). Remedial treatment of wood rot and insect attack in buildings. Building Research Establishment. Garston Watford.

BERTI FILHO, E. (1993). Cupins ou térmitas. Manual de Pragas em florestas. Volume 3. IPEF/SIP.

BIGELOW, J. J.; CLAUSEN, C. A.; LEBOW, S. T.; GREIMANN, L. (2007). Field Evaluation of Timber Preservation Treatments for Highway Applications. Center for Transportation Research and Education. Iowa State University. USA.

BONAMINI, G. (1995). Restoring timber structures - Inspection and evaluation. Università degli Studi di Firenze. In: Timber Engineering STEP 2 lecture D3, Design – Details and structural systems, Eurofortech. ISBN 90-5645-002-6. The Netherlands.

BORGES, P. A. B. (2008). Base de dados da biodiversidade dos açores. Universidade dos Açores. Portugal. Disponível em: http://www.azoresbiportal.angra.uac.pt/imagens/Imagens/2009/11Maro//Coleo_Anobium_punctatum4.jpg >. Acesso em: Jan. 2014

BOTELHO JR., J. A. (2006). Avaliação não destrutiva da capacidade resistente de estruturas de madeira de edifícios antigos. Dissertação (Mestrado) Reabilitação do património edificado - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto, Portugal.

BRANCO, J.; CRUZ, P.; PAULO, J.S.; PIAZZA, M. (2006). Asnas de madeira: a importância da rigidez das ligações. Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas - JPEE 2006. Universidade do Minho, Portugal.

BRANCO, F.; BRITO, J.; Flores, I.; GASPAR, F.; SANTOS, S.; PAULO, P.; CAMPOS, J.; Alexandre, J. (2012). Diagnóstico e patologia de construções em madeira. Curso de Inspeção e Reabilitação de Construções, Módulo IR2. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

BRANCO, F.; BRITO, J.; Flores, I.; GASPAR, F.; SANTOS, S.; PAULO, P.; CAMPOS, J.; Alexandre, J. (2012). Capítulo 3: Patologia e inspeção de construções em madeira. Curso de Inspeção e Reabilitação de Construções, Módulo IR2. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

BRASHAW, B. K.; VATALARO, R. J.; WACKER, J. P.; ROSS, R. J. (2005)a. Condition assessment of timber bridges, 1. Evaluation a Micro-Drilling Resistance Tool. USDA. Forest Service. General Technical Report. FPL-GTR-160. FPL. April 2005.

BRASHAW, B. K.; VATALARO, R. J.; WACKER, J. P.; ROSS, R. J. (2005)b. Condition assessment of timber bridges, 1. Evaluation of Several Stress-Wave Tools. USDA. Forest Service. General Technical Report. FPL-GTR-160. FPL. July, 2005.

BRASHAW, B. K.; VATALARO, R.; WANG, X.; SARVELA, K. (2008). Development of Flexural Vibration Inspection Techniques to Rapidly Assess the Structural Health of Rural Bridge Systems. Natural Resources Research Institute University of Minnesota- Duluth. USD. FPL. CTS 08-22.

BRASHAW, B.; VATALARO, R.; WACKER, J.; ROSS, R.; WANG, X. (2012). Inspection Techniques to Assess Timber Bridges. University of Minnesota Duluth e United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. United States.

BRAZOLIN, S; LANA, L.E.; MONTEIRO, M.B.B; LOPEZ, G.A.C e PLETZ, E. (2004) Preservação de madeiras: sistema de classe de risco. Revista Madeira: arquitetura e engenharia, ano 5, nº 13. Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto Brasileiro de Madeira e das Estruturas. São Carlos.

BREW, J. (2009). Cathedral termite mound: Litchfield National Park, Northern Territory, Australia. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cathedral_Termite_Mound_-_brewbooks.jpg> Acesso em: 14 Jan. 2014.

BRITO, J. (2004). Diagnóstico, Patologia e Reabilitação de Construção de Madeira. Materiais de apoio ao Curso de Mestrado em Ciências da Construção, FCTUC. Coimbra.

BRITO, Leandro Dussarrat (2010). *Recomendações para o Projeto e Construção de Estruturas com Peças Rolijas de Madeira de Reflorestamento*. 339 págs. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2010. Disponível em: < http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2010ME_LeandroDussarratBrito.pdf >. Acesso em: 28 dez. 2013.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2011)a. Recomendações para projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento. In: CIMAD 11 - 1.º Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção. Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil. Coimbra, Portugal.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2011)b. Divulgação do 'Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento'. In: CIMAD 11 - 1.º Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção. Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil. Coimbra, Portugal.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2011)c. Ligações usuais entre elementos estruturais de peças roliças de madeira de reflorestamento. In: CIMAD 11 1º Congresso Ibero-Latino Americano

da Madeira na Construção Civil. Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil. Coimbra, Portugal.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2012)a. Evaluation by visual inspection technique of Hauff type timber roof structure at São Carlos Clube Gymnasium in Brazil. In: ICDS12 International Conference Durable Structures: From Construction to Rehabilitation. LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2012)b. Evaluation by visual inspection technique of the pedestrian suspension bridge at Piracicaba in Brazil. In: ICDS12 International Conference Durable Structures: From Construction to Rehabilitation. LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2012)c. Topics about manual of design and construction of structures with roundwood from reforestation in Brazil. In: WCTE 2012 - World Conference on Timber Engineering. Auckland, New Zealand.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2012)d. Main types of structural systems and construction with using roundwood from reforestation in Brazil. In: WCTE 2012 - World Conference on Timber Engineering. Auckland, New Zealand.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2012)e. Types of connections for structural elements roundwood used in Brazil. In: WCTE 2012 - World Conference on Timber Engineering. Auckland, New Zealand.

BRITO, L. D.; CALIL NETO, C.; SARTORTI, A. L.; CALIL JR., C. (2012). Inspeção visual (NDT) da estrutura de cobertura tipo Hauff do ginásio São Carlos Clube. In: XIII EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Vitória.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2013)a. Manifestações patológicas em função da ausência de manutenções preventivas na estrutura de madeira da Passarela Pênsil de Piracicaba, Brasil. In: IX International Congress on Pathology and Recovery Structures. João Pessoa.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2013)b. Uso do Resistograph IML-RESI-F500-S em inspeções NDT para avaliações internas de elementos estruturais de madeira. In: IX International Congress on Pathology and Recovery Structures. João Pessoa.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2013)c. Técnicas não destrutivas (NDT) utilizadas nas inspeções para avaliações dos elementos estruturais de madeira da cobertura da 'Igreja São Francisco' em Florianópolis, Brasil. In: IX International Congress on Pathology and Recovery Structures. João Pessoa.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2013)d. Técnicas de inspeção visual (NDT) para avaliações na estrutura da 'Ponte Batalha' mista de madeira roliça e concreto armado, em Paracatu, Brasil. In: IX International Congress on Pathology and Recovery Structures. João Pessoa.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2013)e. Técnicas de inspeção visual (NDT) para avaliações das manifestações patológicas na estrutura de madeira roliça da 'Ponte Fazenda Yolanda' em São Carlos, Brasil. In: IX International Congress on Pathology and Recovery Structures. João Pessoa.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2013)f. Técnicas de inspeção visual (NDT) para avaliações de manifestações patológicas em função da ausência de manutenções preventivas na 'Ponte Jockey Club' em São Carlos, Brasil. In: IX International Congress on Pathology and Recovery Structures. João Pessoa.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2013)g. Nondestructive assessments of the timber roof structure of the 'São Francisco Church' in Florianopolis, Brazil. In: 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. Madison.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2013)h. Inspection to assessment and intervention proposal of timber roof structures by 'Tekno' at gymnasium at 'São Carlos Clube' in Brazil.. In: 18th International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium. Madison.

BRITO, L. D.; CALIL JR., C. (2014). Propostas de técnicas de reabilitação e de reforço de vigas de Madeira Laminada Colada (MLC) com parafusos auto-atarraxantes. In: XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Natal.

BRITO, L. D.; SAAD, N. S. ; CALIL JR., C. (2014). Sistemas estruturais de coberturas de madeira tipo 'HAUFF' consolidadas e existentes em Poços de Caldas - MG. In: XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira.

BUENO, O. C. et al (2001). Controle Biorracional de cupins em postes de madeira. In: Congresso de Inovação Tecnológica em Engenharia Elétrica, Brasília.

CALIL NETO C. (2014)a. Ligações com parafusos auto-atarraxantes sem pré-furação para uso em estruturas de madeira. Tese (Doutorado) Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

CALIL NETO C.; ROCCO LAHR, F. (2014)b. Ligações em madeira com parafusos auto-atarraxantes sem pré-furação para uso em estrutural. In: XIV EBRAMEM, Natal.

CALIL JR., C. ROCCO LAHR, F.; DIAS, A. A. (1993). Passarela pênsil com vigas principais de madeira. In: I EREMEM, Escola Politécnica, USP.

CALIL JR., C.; WACKER, J. P. (2002). Prova de carga na ponte de madeira protendida de Laurel Run, USA. VIII EBRAMEM, Uberlândia.

CALIL JR, C.; LAHR, F. A.; DIAS, A. A. (2003). Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira. , Editora Manole, Barueri, SP.

CALIL JR., C. et al. (2006). Manual de projeto e construção de pontes de madeira. ISBN: 85-98156-19-1. *Suprema*, São Carlos, 2006. Disponível em: <<http://www.set.eesc.usp.br/portal/pt/livros/361-manual-de-projeto-e-construcao-de-pontes-de-madeira>> Acesso em: 18 dez. 2013.

CALIL JR., Carlito; BRITO, Leandro Dussarrat (2010). **Manual de Projeto e Construção de Estruturas com Peças Rolijas de Madeira de Reflorestamento**. Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 332 pg. ISBN: 978-85-8023-000-0. São Carlos, 2010. Disponível em: <<http://www.set.eesc.usp.br/>>

<portal/pt/livros/371-manual-de-projeto-e-construcao-de-estruturas-com-pecas-rolicas-de-madeira-de-reflorestamento>> Acesso em: 28 dez. 2013.

CALIL JR., C.; BRITO, L. D.; CALIL NETO, C.; SARTORTI, A. L. (2011). Relatório Técnico: Laudo de Verificação da Estrutura da Cobertura do Ginásio São Carlos Clube. USP/EESC/SET/LaMEM. São Carlos.

CALIL JR., C. (2011). Assessment of historic timber structures in Brazil. Anais SHATIS'11: International Conference on Structural Health Assessment of Timber Structures. Lisbon, Portugal.

CALIL JR., C.; BRITO, L. D.; PIGOZZO, J. C. (2012). Laudo técnico: Avaliação pela técnica de inspeção visual nos elementos estruturais das quatro pontes de madeira de acesso ao Campus II da EESC/USP e prova de carga na ponte P3. Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

CALIL NETO, C. (2014). Ligações com parafusos auto-atarraxantes sem pré-furação para uso em estruturas de madeira. Tese (doutorado) Departamento de Engenharia de Estruturas. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

CALIL NETO, C.; LAHR, F. A. R.; CALIL JUNIOR, C. (2014). Ligações em madeira com parafusos auto-atarraxantes sem pré-furação para uso estrutural. In: XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Natal.

CAMILLO, E.; e GARÓFALO, C.A. (1982). On the bionomics of *Xylocopa frontalis* Oliver and *Xylocopa grisescens* (Lepeletier) in Southern Brazil. I - Nest construction and biological cycle. Rev. Bras. Biol. 42(3):571-582.

CAMILLO, E., GARÓFALO, C.A. e MUCCILLO, G. (1986). On the bionomics of *Xylocopa suspecta* (Moure) in Southern Brazil: nest construction and biological cycle (Hymenoptera, Anthophoridae). Rev. Bras. Biol. 46(2):383-393.

CAMILLO, E. (2003). Polinização do Maracujá. Holos, Ribeirão Preto.

CAMPOS, J. A. O.; OLIVEIRA, F. G. R.; SALES, A. (2002)a. Método para avaliação da durabilidade em estruturas de madeira. In: EBRAMEM VIII. Uberlândia.

CAMPOS, J. A. O.; OLIVEIRA, F. G. R.; SALES, A. (2002)b. Avaliação da durabilidade de uma passarela pênsil em madeira. VIII EBRAMEM, Uberlândia.

CAMPOS, E. T. C. (2006). Técnicas de recuperação e reforço estrutural com estruturas de aço. Dissertação (Mestrado) Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

CANEVA, G.; NUGARI, M.; SALVADORI, O. (2008). Plant biology for cultural heritage - Biodeterioration and conservation. The Getty Conservation Institute. Los Angeles.

CARDOSO, L. M. R. (2010). Recuperação de pavimentos antigos em madeira com lajes mistas madeira-betão. Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil, Especialização em construções civis. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. Porto, Portugal.

CARRASCO, E. V. M. (1984). Ligações estruturais de madeira por adesivos. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

CARRASCO, E. V. M.; PEREIRA, N. C. S.; PEREIRA, M. V.; ALVES, R. C. (2012). Estimativa da densidade aparente, a resistência à compressão paralela à fibras e o módulo de elasticidade da madeira por meio do resistógrafo. Anais XIII EBRAMEM. Vitória.

CARRASCO, E. V. M.; PEREIRA, N. C. S.; PEREIRA, M. V.; ALVES, R. C. (2013). Estimativa da densidade aparente, a resistência à compressão paralela à fibras e o módulo de elasticidade da madeira por meio do resistógrafo. Construindo, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, Jan/Jun. 2013.

CARREIRA, M. R. (2003). Critérios para classificação visual de peças estruturais de Pinus Sp. Dissertação (Mestrado) Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos.

CARVALHO, R. F.; CALIL JR, C. (2004). Compósitos de fibras de sisal para reforço de estruturas de madeira. Anais IX EBRAMEM. Cuiabá.

CARVALHO, R. F. (2005). Compósitos de fibra de sisal para uso em reforço de estruturas de madeira. Tese (Doutorado) Área de Interunidades em Ciências e Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

CARVALHO, E. P. (2008). Avaliação do comportamento mecânico ao cisalhamento de conectores de barras de aço com ganchos em vigas mistas de Madeira Laminada Colada e concreto. Tese (doutorado) Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

CECCOTTI, A.; MANNUCCI, M.; UZIELLI, L. (1990). Effetti del riassorbimento di umidità sul comportamento ad estrazione di barre di acciaio ancorate nel legno mediante resina epossidica. In: G. Tampone (Ed.) Atti del II Congresso Nazionale - Il restauro del legno, Firenze, Nardini.

CECCOTTI, A.; MARRIDI, P. (1993). Nuove tecnologie negli interventi di recupero delle antiche capriate di legno: materiali e metodi. In: Proceedings of the International Symposium - Ancient Buildings Restoration - Handbooks and new technologies, Naples, 29-30 October 1993, 514-536.

CECCOTTI, A. (1995). Timber-concrete composite structures. University of Florence. In: Timber Engineering STEP 2 lecture E13, Design - Details and structural systems, Eurofortech. ISBN 90-5645-002-6. The Netherlands.

CECCOTTI, A.; RUFFINO, M.; BONAMINI, G.; UZIELLI, L. (1998). Restauro conservativo di capriate lignee. La Pieve di S. Marino. ISBN 88-7992-136-3. Edizioni CLUT. Progettazione, prove di laboratorio, fasi conclusive, Turin, Italy.

CESAR, S. F. (1991). As estruturas Hauff de madeira no Brasil. Dissertação (Mestrado) Arquitetura e Planejamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

CIGNI, G. et al (1981). Nueve tecnicas di consolidamento di travi in legno. Edizione Kappa. Roma.

CLARK, J.W.; ESLYN, W.E. (1977). Decay in wood bridges: inspection and preventive and remedial maintenance. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

CLAUSEN, C. A. (2010). Wood handbook: wood as an engineering material - Chapter 14 - Biodeterioration of Wood. General Technical Report FPL–GTR–190. United States Department of Agriculture. Forest Service. Forest Products Laboratory. Madison, WI, USA.

CLINE, A. et al (2011). *Bostrichidae: powder-post beetles, bostrichid beetles*, twig and wood borers. Disponível em: USDA/APHIS/PPQ < http://idtools.org/id/wbb/families/Wood_Boring_Beetle_Keys/Woodboring_Families/Media/Html/Fact_sheets/Bostrichidae.html >. Acesso em: 22 Jan. 2014.

CLUNIE, L. (2014). House borer Coleoptera, Anobiidae, Anobium punctatum (de Geer). Disponível em: < <http://www.landcareresearch.co.nz/resources/identification/animals/bug-id/alphabetic-list-of-bugs/house-borer> >. Acesso em: 22 Jan. 2014.

CÓIAS, V. (2005). Opções minimamente intrusivas de reabilitação estrutural de edifícios antigos. 2º Seminário. A intervenção no patrimônio, práticas de conservação e reabilitação. Porto.

CÓIAS, V. (2007). Reabilitação estrutural de edifícios antigos: alvenaria/madeira: técnicas pouco intrusivas. GECORPA, Argumentum. Lisboa, Portugal.

CÓIAS, V. (2011). Qualificação dos profissionais e das empresas para a qualidade na reabilitação de estruturas de madeira. CIMAD 11 – 1º Congresso Ibero – Latino Americano da Madeira na Construção. Coimbra, Portugal.

CONSTANTINO, R. (1998). Catalog of the living termites of the new world. Disponível em: <http://www.cals.cornell.edu/dept/bionb/isoptera/catal/intro.htm> Acesso em: 16 Jan. 2014.

CORREIA, R. R. (2002). Avaliação da resistência de ligações com parafusos auto-atarraxantes do tipo torx solicitados por tração axial, em peças de madeira. Dissertação (Mestrado) Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos.

CORTIZO, E. C. (2007). Avaliação da técnica de Termografia infravermelha para identificação de estruturas ocultas e diagnóstico de anomalias em edificações: Ênfase em Edificações do Patrimônio Histórico. Tese (Doutorado), Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

COSTA-LEONARDO, A.M. (2000). Cupins urbanos: conhecer para combater. Ciência Hoje, v.28, n.165, p.74-77.

CREA-MG (2001). Anotação de Responsabilidade Técnica – ART. Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Minas Gerais. Belo Horizonte.

CRUZ, H.; MACHADO, J. S.; RODRIGUES, M.; et al (1997). Madeira para Construção – M2: Pinho Bravo para Estruturas. LNEC, Lisboa.

CRUZ, I. P. (1999). Comportamento de ligações madeira-resinas sintéticas e fibra de vidro na restauração de peças estruturais. Dissertação (Mestrado) Área de Concentração: Conservação e Restauro. Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

CRUZ, H. (2001). Patologia, avaliação e conservação de estruturas de madeira. II Curso Livre Internacional de Patrimônio. Associação Portuguesa dos Municípios com centro histórico; Fórum UNESCO Portugal. Santarém, Fevereiro/Março de 2001.

CRUZ, I. P. (2004). Ligações em madeira-resinas sintéticas e fibra de vidro na restauração de peças estruturais. Tese (doutorado) Área de concentração: Conservação e Restauro. Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia. Salvador.

CRUZ, I. P.; PRESA, E. P.; OLIVEIRA, M. M. (2004). Restauração em edificações antigas no centro histórico de Salvador. Anais IX EBRAMEM, CUIABÁ, 27 a 29 de Julho de 2004.

CRUZ, H. (2009). Patologia em estruturas de Madeira: Ação de Agentes Biológicos. Portugal. Disponível em: <<http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/?s=modulosev=capituloec=3504>>. Acesso em: 10 Ago. 2011.

CRUZ, H. (2011). Inspeção, avaliação e conservação de estruturas de madeira. JMC'2011. 1ª Jornada de materiais na construção. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, FEUP. Porto, Portugal, 6 de abril de 2011. Disponível em: < http://paginas.fe.up.pt/~jmc2011/wp-content/uploads/2011/03/Helena_Cruz.pdf >. Acesso em: 02-Jan. 2014.

CTBA (1996). Insectes et champignons du bois. CTBA, ISBN 2-85684-036-1 Paris, France.

CUNHA, J. T. P. (2013). Diagnóstico e avaliação da segurança de estruturas de madeira existentes. Dissertação (Mestrado) Instituto Politécnico do Porto, ISEP. Porto, Portugal.

CUSTÓDIO, J. E. P.; CRUZ, H (2009). Intervenções de reforço: Reforço de Elementos. Portugal. Disponível em: <<http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/?s=modulosev=capituloec=6>>. Acesso em: 10 Ago. 2011.

CUSTÓDIO, J. E. P. (2009). Reparação de fendas de madeira. Disponível em: < <http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/?s=modulosev=capituloec=12113est=edif%C3%ADcio> >. Acesso em: 10 Ago. 2011.

D' AMBRISI, A.; FOCACCI, F.; LUCIANO, R. (2013). Experimental investigation on flexural behavior of timber beams repaired with CFRP plates. ELSEVIER. Italy.

DEUTSCHE NORM DIN 1052:2004. Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken. Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau, Gesamtumfang.

DI STEFANO, R. (1990). II Consolidamento strutturale nel restauro architettonico. Edizioni Scientifiche Italiane.

DIAS, A. A.; CALIL JR., C.; LAHR, F. A. R. (2005). Sistemas estruturais I: arquitetura e urbanismo - estruturas de madeira. Notas de aula SET 177, Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

DIAS, T. I. M. F. (2008). Pavimentos de madeira em edifícios antigos: Diagnóstico e intervenção estrutural. Dissertação (Mestrado em Reabilitação do Patrimônio Edificado) Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal.

DIAS, A. M. P. G. (2014). Pavimentos mistos madeira-betão solução para o reforço e reabilitação de pavimentos de madeira. In: XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Natal.

DIN 4074:2003. Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit. Deutschland.

DUARTE, R. S. (2004). Avaliação do comportamento de ligações com parafusos auto-atarraxantes em vigas de MLC. Dissertação (Mestrado) Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte.

DUARTE, A. C. R.; NEGRÃO, J. H. O.; CRUZ, H. M. P. (2004). Reabilitação de vigas de madeira com argamassa epoxídica armada. Anais CIMAD 2004. Guimarães, Portugal.

DRIEMEYER, R. A. (2009). Contribuições para a conservação do patrimônio histórico edificado em madeira da cidade de Antônio Prado/RS. Dissertação (Mestrado) Pós-graduação Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

EHLBECK, J.; GÖRLACHER, R. (1995). Tension perpendicular to the grain in joints. Universität Karlsruhe. Timber Engineering, Design – Details and structural systems Step 1, lecture C2. ISBN 90-5645-001-8. Netherlands.

ENV 1995-2:1997. Eurocode 5 - Design Of Timber Structures – Bridges. Annex A (informative) Glued-in steel rods.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). EN 1995-1-1:2004. Eurocode EC 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. Brussels.

_____. EN 1995-1-2:2004. Eurocode EC 5: Design of timber structures - Part 1-2: General – Structural fire design. Brussels.

_____. EN 1995-2:2004. Eurocode EC 5: Design of timber structures - Part 2: Bridges. Brussels.

_____. EN 26891:1991. Timber structures. Joints made with mechanical fasteners. General principles for the determination of strength and deformation characteristics, British-Adopted European Standard. Madrid.

_____. EN 28970:1991. Timber structures. Testing of joints made with mechanical fasteners. Requirements for wood density, British-Adopted European Standard. Madrid.

_____. EN 335-1: 1992. Durability of wood and wood-based products – definition of hazard classes of biological attack. Part 1: General.

_____. EN 335-2: 1992. Durability of wood and wood-based products – definition of hazard classes of biological attack. Part 2: Application to solid wood.

ELEOTÉRIO, E. S. R. (2000). Levantamento e identificação de cupins (insecta: Isoptera) em área urbana de Piracicaba, SP. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba.

ESPARZA, L. M. (1997). Comportamiento de las unions encoladas para la reparación de elementos estructurales de madera que trabajan a flexión. Tesis (Doctoral) Universidade de Navarra, Navarra.

ESPARZA, L. M. (1998). Nuevas técnicas de reparación de estructuras de madera. Elementos flexionados. Aporte de madera-união encolada. RE: Revista de edificación nº 28. ISSN 0213-8948. Dadun. Depósito Académico Digital. Universidade de Navarra.

ESPARZA, L. M. (1999). Nuevas técnicas de reparación de estructuras de madera. Elementos flexionados. Aporte de madera-união encolada II. Metodologia de puesta em obra. RE: Revista de edificación nº 29. ISBN 0213-8948. Dadun. Depósito Académico Digital. Universidade de Navarra.

ESPARZA, M. L. (2007). Reparación de estructuras de madera mediante injertos. Recuperación de elementos traccionados. Reparación de la cubierta de la Iglesia de Santa Maria en Salvatierra. Santiago.

FEIO, A. J. O. (2005). Inspection and Diagnosis of Historical Timber Structures: NDT Correlations and Structural Behaviour. Thesis (PhD) Civil Engineering Department, University of Minho. Portugal.

FEIO, A.; REBELO, N. (2006). Reabilitação de Estruturas de Madeira. Diagnóstico e Inspeção (Parte 2). Engenharia e Vida.

FERRAZ, M. V. (2000). Estudo taxonômico e aspectos da biologia de *Coptotermes Wasmann*, 1896 (Isoptera, Rhinotermitidae) das Américas. Tese (Doutorado) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.

FERREIRA, O. P. et al (2003). Madeira: uso sustentável na construção civil. Instituto de Pesquisas Tecnológicas, IPT. São Paulo.

FERREIRA, M. F. C. (2012). Manual de inspeção e manutenção da edificação. Dissertação (Mestrado) Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal.

FERRO, F. S.; MOLINA, J. Cesar.; CALIL JR., C.; ICIMOTO, F. H. (2012). Análise da deterioração de corpos de provas de madeira retirados da região de afloramento de postes de energia. In: XIII EBRAMEM, Vitória.

FIORELLI, J.; LAHR, F. A. R.; SALES, A. (2000). Elementos estruturais de madeira reforçados com polímeros. Disciplina: Materiais derivados da madeira. Base de dados do LaMEM. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

FIORELLI, J. (2002). Utilização de fibras de carbono e de fibras de vidro para reforço de vigas de madeira. Dissertação (Mestrado) Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

FOELKEL, C. E. B. (1977). Qualidade da madeira: teoria. Belo Oriente.

FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999). Wood handbook: wood as an engineering material. United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. General Technical Report. FPL-GTR-113. Madison, WI. United States.

FOREST PRODUCTS LABORATORY (2010). Wood handbook: wood as an engineering material. Centennial Edition. United States Department of Agriculture. Forest Service, Forest Products Laboratory. General Technical Report. FPL-GTR-190. Madison, WI. United States.

FRANÇA, K.D.L. (2007). Estudo de reforços de elementos estruturais de madeira com estrutura metálica, em edificações antigas. Dissertação (Mestrado) Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto.

FRANCO, S. (2008). Proposta de atribuição de propriedades mecânicas a elementos estruturais de madeira por inspeção *in situ*. Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil. Universidade do Porto. Porto, Portugal.

FREITAS, R. R. (2009). Modelo teórico-experimental de deterioração de postes de madeira aplicado ao Estado de São Paulo. Tese (Doutorado) - Interunidades em ciência e Engenharia de materiais, Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física, Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Carlos.

GARCEZ, N. F. S. (2009). Sistema de inspeção e diagnóstico de revestimentos exteriores de coberturas inclinadas. Dissertação (Mestrado) Instituto Superior Técnico. Instituto Superior Técnico, Academia da Força Aérea, Universidade Técnica de Lisboa. Portugal.

GARDNER, G (1994). Reinforced glued laminated timber system – epoxy/steel/timber composite material. In: Pacific Timber Engineering Conference. Gold Coast, Australia.

GELBRICH (2005). Preserving cultural heritage by preventing bacterial decay of wood in foundation piles and archaeological sites: Appendix 3 - Chemical wood data. Final report. EVK4-CT-2001-00043. BACPOLES. Wageningen, Netherlands.

GELFI, P.; RONCA, P. (1993). Consolidamento dei solai in legno: studio sui connettori tra trave in legno e cappa in C.A. L'edilizia n°5. Italia.

GERLING, D., VELTHUIS, W.H.D. e HEFETZ, A. (1989). Bionomics of the large carpenter bee of the genus *Xylocopa*. Annu. Rev. Entomol. 34:163-190. Disponível em: <<http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.en.34.010189.001115>>. Acesso em: 20 de Jan. 2014.

GIBB, T. J. (2010). Carpenter bees. E-252-W. Household e Structural. Department of Entomology. Purdue University. Disponível em: <<http://extension.entm.purdue.edu/publications/E-252.pdf>>. Acesso em: 24-01-2014.

GIBSON, L. e McCAFFREY, S. (2009) Termite *Nasutitermes triodiae* (*Nasutitermes triodiae*) Updated on 7/26/2010 10:48:00 PM. PaDIL. Disponível em: <<http://www.padil.gov.au/barrow-island/Pest/Main/137416/11241>>. Acesso em: 16 Jan. 2013.

GÓMEZ, C. D. (2007). Les techniques de réhabilitation: renforcer les structures. Méthode RehabiMed. Architecture Traditionnelle Méditerranéenne. II. Réhabilitation Bâtiments. Barcelona.

GONÇALVES, T. A. P. (2014). Estudo experimental de nós de pórticos de madeira em betão armado. Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra.

GONZÁLEZ, G. Í. (2007). Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural. Tesis (Doctoral) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid. Espanha.

GRAHAM, P. (2005). Timber Bridge Maintenance Manual. Queensland Government. Department of Main Roads. Australia.

GRAVINA, P. B. J. (1971). Contribuição para à teoria e cálculo das pontes pênséis. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

GRIFFIN, D. et al (2013). Laboratory of Tree-Ring Research to Debut New Home to Community. By College of Science, University of Arizona, Feb. 26, 2013. Disponível em: <<http://uanews.org/story/laboratory-of-tree-ring-research-to-debut-new-home-to-community>>. Acesso em: 12 Jan. 2014.

GUSTAFSSON, P. J. (1995). Notched beams and holes in glulam beams. Lund University. Timber Engineering, Design: Details and structural systems. Step 1, lecture B5. ISBN 90-5645-001-8. The Netherlands.

HADLINGTON, P. (1987). Australian termites and other common timber pests. New South Wales Press. Australian.

HAGLÖF (2014). Increment Bores. Disponível em: < http://www.haglofcg.com/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=28&tmpl=component&format=raw&Itemid=124&lang=en > Acesso em 12 de Jan. de 2014.

HALL, J. (2011). Bonningtons' Microdrone MD4-200 unmanned helicopter inspection Service. Disponível em: < www.construction-manager.co.uk/features/plant-and-equipment-why-we-specified/ > Acesso em: 13 Jan. 2014.

HARTLEY, C. (1958). Evaluations of wood decay in experimental work. Rep. N° 2119. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. Madison, WI: USA.

HEIMESHOFF, B. (1987). Zur Berechnung von Biegeträgern aus nachgiebig miteinander verbundenen. Querschnittsteilen im Ingenieurholzbau. In: Holz Roh-Werkstoff 45:237-247.

HEIN, P. R. G. (2011). Genetic and environmental control of microfibril angle on Eucalyptus wood: Its effects on wood traits and implication for selection. These (Docteur) de L'Universite Montpellier 2. Sciences et techniques du Languedoc. France.

HENRIQUES DE JESUS, J. M. (2000). Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC). Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos.

HENRIQUES, R. F. S. (2014). Estudo numérico e computacional de nós de pórticos de madeira em betão armado. Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra, Coimbra.

HELENE, P. R. L. (1992). Manual para reparo, reforço e proteção de Estruturas de Concreto. 2ª Edição. Editora Pini. ISBN 85-7266-010-0. São Paulo.

HELLMEISTER, J. C. (1973). Sobre a determinação de características físicas da madeira. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

HELLMEISTER, J. C. (1983)a. Madeiras e suas características. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira 1. EESC/USP. Anais... São Carlos, SP, Brasil, V.1.

HELLMEISTER, J. C. (1983)b. Pontes de Eucalyptus citriodora. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira 1. v.5.,Anais, São Carlos.

HERRERO, M. E. (2003). Determinación de la capacidad resistente de la madera estructural de gran escuadría y su aplicación en estructuras existentes de madera de conífera. Tesis (Doctoral) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid. España.

HIGHLEY, T. L.; SCHEFFER, T. (1989). Controlling decay in waterfront structures. Evaluation, Prevention, and Remedial Treatments. United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. FPL-RP-494. Madison, WI, United States.

HIGHLEY, T. L. (1999). Wood handbook: wood as an engineering material - Chapter 14 - Biodeterioration of Wood. United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. General Technical Report. FPL-GTR-113. Madison, WI, United States.

HILL, C.L.; KOFOID, C.A. (1927). Marine borers and their relation to marine construction on the Pacific coast: final report of the San Francisco Bay piling committee. Berkeley, CA: University of California Press. USA.

HINKLEY, S.; WALKER, K. (2013). Common ambrosia beetle, *Platypus parallelus*. Museum Victoria, Pests and Diseases Image Library. Disponível em: USDA/UF University of Florida < <http://www.idtools.org/id/palms/sap/factsheet.php?name=Ambrosia+Beetles> >. Acesso em 21 Jan. 2014.

HUISMAN (2005). Preserving cultural heritage by preventing bacterial decay of wood in foundation piles and archaeological sites: Chapter 7 - Erosion bacteria and sulphur. Final report. EVK4-CT-2001-00043. BACPOLES. Wageningen, Netherlands.

HULCR, J. (2013). *Platypus* sp., larvae and pupae; Photo by, University of North Carolina Disponível em: USDA/UF University of Florida < <http://www.idtools.org/id/palms/sap/factsheet.php?name=Ambrosia+Beetles> >. Acesso em: 22 Jan. 2014.

HULCR, J. et al (2014). Ambrosia Symbiosis. School of Forest Resources and Conservation, University of Florida. United States. Disponível em: http://www.ambrosiasymbiosis.org/wp-content/uploads/2012/03/title_gallery.jpg >. Acesso em: 21 Jan. 2014.

HURD, P.D., Jr. e MOURE, J.S. (1961). Systematics of the carpenter bee types (genus *Xylocopa* Latreille) contained in the collections of the Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, Buenos Aires (Hymenoptera: Apoidea). J. Kans. Entomol. Soc. 34:181-195.

HURD, P. D., Jr e MOURE, J. S. (1963). A classification of the large carpenter bees (*Xylocopini*) (Hymenoptera, Apoidea). University California Publ. Entomol, 1963.

HURD, P.D., Jr. (1978). An Annotated Catalog of the Carpenter Bees (Genus *Xylocopa* Latreille) of the Western Hemisphere (Hymenoptera: Anthophoridae). Smithsonian Institution Press, Washington.

HROMÁDKO, Z. (2011). Photos of flora and fauna. Disponível em: <www.naturefoto2000.com>. Acesso em: 25 Jan. 2014.

ICOMOS (1999). Principles for the preservation of timber structures. México.

ICOMOS (2003). Principles for the Analysis, Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage. Paris.

ICOMOS (2004). Recomendações para análise, conservação e restauro estrutural do patrimônio arquitetônico.

IFAÖ (2009). Environmental Toxicology / Marine borer (*Teredo navalis*). Institute IFAÖ. German. Disponível em: < <http://www.ifaoe.de/en/divisions/enviro-nm-toxicology/marine-borer/> >. Acesso em: 14 Set. 2011.

INTEC (2014). Wood pole inspections. Intec Services Inc. Disponível em: < <http://www.woodpoleinspection.com/wp-content/uploads/2014/03/WoodPoleInspection3.jpg> >. Acesso em 13 de Mai. de 2014.

IPHAN (2013). Cartas de Preservação do Patrimônio. Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Informações disponíveis em: <<http://portal.iphan.gov.br/portal/montarPaginaSecao.do?id=12372esigla=Legislacaoeretorno=paginaLegislacao>>. Acesso em: 9 Out. 2013.

ISO 261:1998. ISO: General purpose metric screw threads: General plan.

ISO 262:1998. ISO: General purpose metric screw threads: Selected sizes for screws, bolts and nuts.

ISO13822:2010. Basis for design of structures - Assessment of existing structures.

JOHNSON S. M. (1980). Deterioration, maintenance and repair of structures. Krieger Publishing Company. Florida.

JURC, M. (2001). Metalic wood-boring beetle *Buprestis cupressi* (Germar, 1817). University of Ljubljana. Disponível em: < <http://www.forestryimages.org/images/768x512/2103010.jpg> >. Acesso em 24 Jan. 2014.

JORGE, L. F. C. (2005). Estruturas mistas madeira-betão com a utilização de betões de agregados leves. Tese (Doutoramento) Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra, Portugal.

KAAE, R. (2013). Entomology: Insects e Civilization/Insect Identification. Pest Education. Ca, 2013. Disponível em: < <http://drkaae.com/content/insect-id-2-chapter-6-bees-wasps-ants-part-3> >. Acesso em: 14 Jan. 2014.

KENNEDY, R.W. (1958). Strength retention in wood decayed to small weight losses. Forest Products Journal 10(8): 308-314.USA.

KIMOTO, T.; DUTHIE-HOLT, M. (2006). Exotic Forest Insects: Guidebook. Plant Health Survey Unit. ISBN: 0-662-43977-5. Canadian Food Inspection Agency. Canada.

KLAASSEN, R. et al (2005). Preserving cultural heritage by preventing bacterial decay of wood in foundation piles and archaeological sites. Final report. EVK4-CT-2001-00043. BACPOLES. Wageningen, Netherlands.

KOFOID, C.A. (1934). Termites and termite control. Berkeley: University of California Press. United States.

KREUZINGER, H. (1995). Mechanically jointed beams and columns. Timber Engineering STEP 1 –EC 5, Lecture B11. Basis of design, material properties, structural components and joints. First Edition, Centrum Hout, The Netherlands.

LAMANNA, L. (1996). Strutture in Legno. Le resine per il recupero e il consolidamento. Gangemi Editore, ISBN 88-7448-651-0.

LEAL, J. H. (2011). Families Pholadidae (*Martesia striata*) e (*Martesia cuneiformis*). The Bailey-Matthews Shell Museum. Disponível em: < <http://shellmuseum.org/shells/shellpic.cfm?sr=281> >. Acesso em: 23Jan. 2014.

LELIS, A. T.; BRAZOLIN, S.; FERNANDES, J. L. G.; LOPEZ, G. A. C. ; MONTEIRO, M. B. B.; ZENID, G. J. (2001). Biodeterioração de madeiras em edificações. ISBN 85-09-00115-4. IPT, Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo.

LIMA, J. T.; SARTÓRIO, R. C.; TRUGILHO, P. F.; CRUZ, C. R.; VIEIRA, R. S. (2007). Uso do resistógrafo para estimar a densidade básica e a resistência à perfuração da madeira de *Eucalyptus*. *Scientia Forestalis*. n. 75. Piracicaba.

LOKAJ, A. (2008). Handbook 2: Design of timber structures according to EC 5. Moment resisting joint. Educational materials for designing and testing of timber structures. Temtis, Leonardo da Vinci Pilot Project, CZ/06/B/F/PP/168007.

LOMBARDO, S.; LUPARELLO, S. (1997). *Restauro Strutturale 1*. Dario Flaccovio Editore, Palermo.

LOPES, T. J. O. L. P. (2005). Fenômenos de pré-patologia em manutenção de edifícios: Aplicação ao revestimento etics. Dissertação (Mestrado) Reabilitação do Patrimônio Edificado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, Portugal.

LOPES, M. A. C. (2007). Tipificação de soluções de reabilitação de estruturas de madeira em coberturas de edifícios antigos. Dissertação (Mestrado em reabilitação do patrimônio edificado) Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2007.

MACHADO, J. S.; DIAS, A.; CRUZ, H.; CUSTÓDIO, J.; PALMA, P. (2009). Avaliação, Conservação e Reforço de Estruturas de Madeira. 1ª edição, ISBN: 9789896420659. *Editores Verlag Dashöfer*. Portugal.

MAGNUS, L. (2009). Historic Timber Roof Structures Construction Technology and Structural Behaviour. Thesis (Master) Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Catholic University of Leuven. Bélgica.

MAKAROV, K. V. (2002). *Trypodendron lineatum* (Scolytidae). Atlas of beetles of Russia. Disponível em: <<http://www.zin.ru/animalia/coleoptera/eng/trylinkm.htm>>. Acesso em: 25 Jan. 2014.

MARCHI, P e MELO, G.A.R. (2010). Biologia de nidificação de *Xylocopa* (*Neoxylocopa*) *frontalis* (Olivier) (Hymenoptera, Apidae, Xylocopini) em Morretes, Paraná. *Oecologia* 14(1):210-231. Disponível em: <<http://www.oecologiaaustralis.org/ojs/index.php/oa/article/view/oeco.2010.1401.12/375>>. Acesso em: 20 de Jan. 2014.

MARCHI, P.; ALVES-DOS-SANTOS, I. (2013). As abelhas do gênero *Xylocopa* Latreille (*Xylocopini*, Apidae) do Estado de São Paulo, Brasil. *Biota Neotrop.* vol.13 no.2, Campinas Abr./Jun. 2013. *On-line version* ISSN 1676-0603. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1676-06032013000200249escript=sci_arttext&lng=en>. Acesso em: 20 Jan. 2014.

MARRADI, P.; MESSINA, C.; PAOLINI, L. (1989). Recupero di strutture in legno mediante armature parzialmente presollecitate. In: G. Tanipone (Ed.) *Atti del II Congresso Nazionale II restauro del legno*, Firenze, Nardini.

MARRIS, J. (2013). 'Beetles - Diet and behaviour', House borers (*Anobium punctatum*). Landcare Research New Zealand, Te Ara - the Encyclopedia of New Zealand, updated 8-Jul-13. Disponível em: <<http://www.teara.govt.nz/en/photograph/14371/house-borer>>. Acesso em: 22 Jan. 2014.

MARTINS, S. F.; FERREIRA, R. M.; FEIO, A. O. (2011). Ensaio não destrutivo - passado e futuro. In: CIMAD 11, 1º Congresso Ibero-Latino Americano da Madeira na Construção, 7-9 de Jun. de 2011, Universidade de Coimbra, Portugal.

MARTINS, V. A.; ALVES, M. V. S.; SILVA, J. de F. da; REBELLO, E. R. G.; PINHO, G. S. C. de. (2003). Umidade de equilíbrio e risco de apodrecimento da madeira em condições de serviço no Brasil. *Brasil Florestal*, ano 22, n. 76, p. 29-34, abr. 2003.

MARTINS, G. C. A.; ROCHA, F. M.; ALMEIDA, S. J. C.; MOLINA, J. C.; KIMURA, É. F.; MUNAIAR NETO, J.; CALIL JUNIOR, C. (2014). Estudo experimental de uma viga de madeira laminada colada em temperaturas elevadas. In: XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Natal.

MARTINS, S. F. M. F. (2009). Estruturas de madeira - Inspeção e diagnóstico. Aplicação em Caso de Estudo. Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil - Área de Especialização Materiais, Reabilitação e Sustentabilidade da Construção - Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Portugal.

MARYNOWICZ, A. (2008). Handbook 1: Timber structures. Chapter 16: Durability of timber structures. Educational materials for designing and testing of timber structures. Temtis, Leonardo da Vinci Pilot Project, CZ/06/B/F/PP/168007.

MASTERSON, J. (2008). Mangrove Boring Isopod (*Sphaeroma terebrans*), Bate, 1866. Smithsonian Marine Station at Fort Pierce. Disponível em: < http://www.sms.si.edu/irlspec/Sphaeroma_terebrans.htm >. Acesso em: 23 Jan. 2014.

MENEGHETTI, G. I. P. M. (2003). Estudo de dois métodos de amostragem para inventário da arborização de ruas dos bairros da orla marítima do município de Santos, SP. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba.

MERINO, F. (1998) Patología y técnicas de intervención. Tomo 3 - Elementos estructurales. Cap. III – Recuperación de Estructuras de Madera, Patología de la Madera. Departamento de Construcción y Tecnología Arquitectónicas, UPM, Editorial Munilla-Lería, Madrid.

METTEM, C. J.; PAGE, A. V.; ROBINSON, G. C. (1993). Repair of structural timbers. Part 1: Test on experimental beam repairs. TRADA, Reino Unido.

METTEM, C. J.; PAGE, A. V.; ROBINSON, G. C. (1993). Repair of structural timbers. Part 2: Fire resistant repairs. TRADA, Reino Unido.

MICHENER, C. D. (2007). The bees of the world. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, London.

MIOTTO, J. L. (2009). Estruturas mistas de madeira-concreto: Avaliação das vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibras de vidro. Tese (Doutorado) Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

MÖHLER, K. (1956). Über das Tragverhalten von Biegeträgem und Druckstäben mit zusammengestezten. Querschnitten und nachgiebigen Verbindungsmitteln. Habilitation, Technische Universität Karlsruhe, Germany.

MOLINA, J. C. (2008). Análise do comportamento dinâmico da ligação formada por barras de aço coladas para tabuleiros mistos de madeira e concreto para pontes. Tese (Doutorado) Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

MOLINA, J.; CALIL JR., C.; FREITAS, R. R.; FERRO, F. S. (2011). Avaliação não destrutiva da deterioração de postes roliços de madeira através da utilização do resistógrafo. ANAIS III EREMEM. São Carlos, 9 a 11 de maio de 2011.

MONTEIRO, M. B. B.; BRAZOLIN, S.; LOPEZ, G. A. C. (2012). Vinte anos de acompanhamento do madeiramento de torre de resfriamento. XIII EBRAMEM. Encontro Brasileiro de Madeiras e de Estruturas de Madeira. UFES. Vitória.

MOURE, J. S. (2008). Xylocopini Latreille, 1802. In Catalogue of Bees (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region (J. S. Moure, D. Urban e G. A. R. Melo, orgs.). Disponível em: < <http://moure.cria.org.br/catalogue> >. Acesso em: 20 de Jan. 2014.

MORAES, C. A. (2009). Intervenções metálicas em construções preexistentes: estudos de caso de interfaces. Dissertação (Mestrado) Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto.

MOREIRA, M. S. S.; FASSONI, D. P.; ALVARENGA, R. C. S. S. (2004). Avaliação de desempenho e manutenção preventiva de uma edificação de pequeno porte de interesse social após cinco anos de construção. Anais IX EBRAMEM, Cuiabá, Julho de 2004.

NAPPI, M. M. L.; VALLE, Â.; NAPPI, S. C. B. (2012). Ensaio comparativos entre as taxas de corrosão de diferentes elementos metálicos embutidos na madeira. XIII EBRAMEM, UFES. Vitória.

NCh 1198:2006. Madera-Construcciones en madera: Calculo. Instituto Nacional de Normalización, INN. Chile.

NGUYEN TRUNG, V. A. (2010). Multi reinforcement du bois lamellé collé: etude théorique et expérimentale. Thèse (Docteur) L'école Nationale des Ponts et chaussées, Structures et Matériaux, École des Ponts, Paris Tech. France.

NEGRÃO, J.; FARIA, A. (2009). Projeto de Estruturas de Madeira. Ed. Publindústria, ISBN 978-972-8953-36-2. Portugal.

NEGRÃO, J. H. J. O. (2014a). Uso de adesivos estruturais no reforço e reabilitação de estruturas de madeira. Palestra in: XIV EBRAMEM 2014. Natal.

NEGRÃO, J. H. J. O. (2014b). Reforço de vigas de madeira com fio pré-esforço. In: XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Natal.

NEGRÃO, J. H. ; GONÇALVES, T. ; BRITO, L. D. ; LOPEZ, G. M. ; DIAS, A. ; LAHR, F. R. ; CALIL JUNIOR, C. (2014). Nós de betão armado resistentes a momentos para pórticos de Madeira Lamelada Colada. In: XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Natal.

NEVES, A. E. P. S. (2013). Avaliação, tratamento e consolidação de madeira em edifícios antigos. Dissertação (Mestrado) Engenharia Civil, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Portugal.

NILSSON e BJÖRDAL (2005). Preserving cultural heritage by preventing bacterial decay of wood in foundation piles and archaeological sites Chapter 4: Identity of wood degrading bacteria. Final report. EVK4-CT-2001-00043. BACPOLES. Wageningen, Netherlands.

NOLTE, D. L.; WAGNER, K. K.; TRENT, A. (2003). Timber Damage by Black Bears: Approaches to Control the Problem the Problem the Problem. USDA. FS. Technology e Development Program. 0324-2832-MTDC. Missoula, MT, 2003. Disponível em: < <http://www.fs.fed.us/t-d/pubs/pdfpubs/pdf03242832/pdf03242832dpi72.pdf> >. Acesso em: 26 de Jan. 2014.

NZFFA (2012). Glossary of timber terms. New Zealand Farm Forestry Association. Disponível em: < <http://www.nzffa.org.nz/specialty-timber-market/glossary-of-timber-terms/> >. Acesso em: 20 de Ago. de 2012.

OGG, B. (2014). Carpenter Ant Management. Department of Entomology, University of Nebraska – Lincoln Extension Lancaster County. Disponível em: < <http://www.lancaster.unl.edu/pest/resources/carpant004.s.html> >. Acesso em: 22 Jan. 2014.

OLIVEIRA, J. T. S. (1997). Características da madeira de eucalipto para a construção civil. Tese (Doutorado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

OLIVEIRA, M. A. M. (2001). Ligações com Pinos metálicos em estruturas de madeira. Dissertação (Mestrado) Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

OLIVEIRA, R. N.; MACEDO, A. N. (2004). Análise da durabilidade para construções em madeira. . Anais: IX EBRAMEM, Cuiabá.

OLIVEIRA, N. F. M. (2009). Teoria e prática de técnicas de construção e conservação de coberturas do sec. XVIII: evolução histórica, tratadística do sec. XVIII, diagnóstico de anomalias e restauro estrutural. Dissertação (Mestrado) Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

OLIVEIRA, M. S. (2013). Marcelo Bugre: Aves do Pantanal. Disponível em: <<http://marcelo.bugre.blogspot.com.br/2011/09/pica-paus-picideos.html>>. Acesso em: 16 Jan. 2014.

OLMOS, M. A. C. (1992). Equipamento e processo de fabricação de chapas aglomeradas a partir de resíduos de madeira. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

PAIVA, J. V.; AGUIAR, J.; PINHO, A. (2006). Guia técnico de reabilitação habitacional. 1. ed. ISBN: 972-49-2081-X. Instituto Nacional de Habitação, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa.

PALMA, P. M. C.; CUSTÓDIO, J. E. P. (2009). Reabilitação e manutenção de edifícios: Reforço de Ligações. Portugal. Disponível em: <<http://reabilitacaodeedificios.dashofer.pt/?s=modulosev=capituloec=12119>> . Acesso em: 10 Ago. 2011.

PAIVA, J.; AGUIAR, J.; PINHO, A. (2006). Guia técnico de reabilitação habitacional, INH/LNEC. Lisboa, Portugal.

PAYNE, T. L. (2006). The Southern Pine Beetle: Chapter 2: Life History and Habits. USDA Forest Service and Department of Entomology, Texas A. e M. University, Texas Agricultural Experiment Station. Disponível em: <<http://www.barkbeetles.org/spb/spbbook/Chapt2.html>> . Acesso em: 25 Jan. 2014.

PELLERIN, R. F.; ROSS, J. (2002). Nondestructive Evaluation of Wood. Forest Products Society. Madison, WI, USA.

PEÑA, C. F. G.; NOGUERA, E. V.; ZUZARTE, A. J. S. (2007). Nuevo catálogo de los Cerambycidae (Coleoptera) de la Península Ibérica, islas Baleares e islas atlánticas: Canarias, Açores y Madeira. Monografías S.E.A., vol. 12. Sociedad Entomológica Aragonesa. Zaragoza. España.

PEREIRA, M. (2002). Biologia de nidificação de *Xylocopa frontalis* e *Xylocopa grisescens* (Hymenoptera, Apidae, Xylocopini) em ninhos-armadilha. Tese de doutorado, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo. Ribeirão Preto.

PEREIRA, M. e GARÓFALO, C.A. (2010). Biologia da nidificação de *Xylocopa frontalis* e *Xylocopa grisescens* (Hymenoptera, Apidae, Xylocopini) em ninhos-armadilha. *Oecologia* 14(1):193-209. Disponível em: < <http://www.oecologiaaustralis.org/ojs/index.php/oa/article/view/oeco.2010.1401.11/374>> . Acesso em: 20 de Jan. 2014.

PIGOZZO, J. C. (2004). Estudo e aplicações de barras de aço coladas como conectores em lajes mistas de madeira e concreto para tabuleiros de pontes. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

PIGOZZO, J. C.; SAAD, N. S. CALIL JUNIOR, C. (2014). Avaliação experimental da Ponte P01-CAMPUS II-USP, com tabuleiro misto de madeira e concreto, após seis anos de utilização. In: XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Natal.

PINTO, E. M. (2001). Proteção contra incêndio para habitações em madeira. Dissertação (Mestrado) Departamento de Arquitetura, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

PINTO, E. M. (2005). Determinação de um modelo de taxa de carbonização transversal a grã para o *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus Grandis*. Tese (Doutorado) Interunidades - Ciência e Engenharia de Materiais. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

PFEIL, W.; PFEIL, M. (2003). Estruturas de Madeira. Sexta Edição. LTC Editora. Rio de Janeiro.

PLETZ, E. (2003). Passarela estaiada com tabuleiro de madeira laminada protendida em módulos curvos. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PRESCHEM (2012). Preschem Inspection Frequency and Procedure. Disponível em: <<http://preschem.com/pole-management/inspection-procedure/>>. Acesso em: 29 de Mai. De 2012.

PREOSCK, R. E. (2006). Otimização da restituição fotogramétrica digital urbana: relação escala da fotografia e a resolução geométrica da imagem. Dissertação (Mestrado) Pós-graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba.

PRIBERAM (2012). Dicionário Priberam da Língua Portuguesa (DPLP). Dicionário de português contemporâneo, vocabulário geral, termos de áreas científicas e técnicas. Disponível em: < <http://www.priberam.pt/dlpo/sobre.aspx> > Acesso em 28 de agosto de 2012.

PRIETO, Ó. G.; VÁZQUES, M. C.; SAAVEDRA, X. F. P. (2008). Patoloxia da madeira estrutural. ISBN 978-84-691-6284-2. Imgrafor, S.L.. Desta edición, a Fundación para o Fomento da Calidade Industrial e Desenvolvemento Tecnolóxico de Galicia (CIS-Madeira).

RACHER, P. (1995). Moment resisting connections. Timber Engineering STEP 1 - EC 5, Lecture C16. Basis of design, material properties, structural components and joints. First Edition, Centrum Hout, The Netherlands.

RAWITSCHER, F. K. (1964). Elementos básicos de botânica. Editora Centro Universitário. São Paulo.

ROTHOFIXING (2012). Disponível em: < <http://www.rothoblaas.com/pt/br/produtos/rothofixingl.html> > Acesso em: 31 de Janeiro de 2012.

RAMALHO, M.; BATISTA, M.A. e SILVA, M. (2004). Xylocopa (Monoxycopa) abbreviata Hurd e Moure (Hymenoptera: Apidae) e Encholirium spectabile (Bromeliaceae): uma associação estreita no semi-árido do Brasil tropical. Neotrop. Entomol. vol.33 no.4 Londrina July/Aug. 2004. 33(4):417-425. Disponível em: < http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1519-566X2004000400004escript=sci_arttext>. Acesso em: 20 de Jan. 2014.

REBELLO, Y.C.P. (2003). A Concepção Estrutural e a Arquitetura. Zigurate Editora. São Paulo.

REGINATTO, G. M. P.; VELLOSO, P. H. Q.; MACHADO, A. P. S.; VALLE, Â.; TEREZO, R. F. (2004). Inspeção e diagnóstico de estruturas de cobertura de edificações históricas em Florianópolis, Santa Catarina. Anais: IX EBRAMEM, Cuiabá.

REIBNITZ, J. (2014). *Bostrichidae*: Holzbohrkäfer *Bostrichus capucinus* (Linnaeus, 1758), Karminroter Kapuzinerkäfer. Disponível em: < <http://www.entomologie-stuttgart.de/ask/node/756emenu=emode=lav> >. Acesso em: 22-01-2014.

REIS, M. L. B. C.; BRANCO, F. G.; MASCARENHAS, J. M. (2008). Técnicas de reabilitação em estruturas de madeira. DISEGNARECON. ISSN 1828 5961. Italia.

RIDOUT, B. (1999). Timber Decay in Buildings: The conservation approach to treatment. English Heritage. Historic Scotland.

RITTER, M. A. (1990). Timber bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance. United States Department of Agriculture, USDA. Forest Service. United States.

RITTER, M. A.; MORRELL, J. J. (1990). Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance. Chapter 13: Bridge Inspection for Decay and Other Deterioration. United States Department of Agriculture, USDA. Forest Service. United States.

RITTER, M. A. (1990). Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance. Chapter 14: Maintenance and Rehabilitations of Timber Bridges. United States Department of Agriculture, USDA. Forest Service. United States.

RITTER, M. A.; HEDGECOCK, E. E.; GRABNER, B.; JOHNSON, K.; STAUCH, J. TAYLOR, R. J.; BUNNELL, S. OLIVA, M. G. (1990). Timber Bridges: Design, Construction, Inspection, and Maintenance. Chapter 15: Bridge Maintenance, Rehabilitation, and Replacement - Case Histories. United States Department of Agriculture, USDA. Forest Service. United States.

ROCHA, F. M.; MARTINS, G. C. A.; ALMEIDA, S. J. C.; MOLINA, J. C.; KIMURA, É. F.; MUNAIAR NETO, J.; CALIL JUNIOR, C. (2014). Instalação e calibração do forno horizontal para ensaios termomecânicos da EESC/USP. In: XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Natal.

RODRIGUES, R. M. S. C. O. (2004). Construções antigas de madeira: experiência de obra e reforço estrutural. Dissertação (Mestrado) Engenharia civil, Universidade do Minho. Portugal.

ROS, J. L. P. (1997). Estructuras mixtas de hormigón-madera aplicadas a la rehabilitación de forjados. Tesis (Doctoral) Universidad Politécnica de Valencia. España.

ROSENBERG, G. (2010). *Teredo navalis* Linnaeus, 1758. World Register of Marine Species. Retrieved 2012-04-13. Disponível em: <<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetailseid=141607>> Apud <http://en.wikipedia.org/wiki/Teredo_navalis>. Acesso em: 27 de Dez. de 2013

ROSS, J. R. ; PELLERIN, R. F. (1994). Nondestructive testing for assessing wood members in structures. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-70 USDA, Department of Agriculture, Forest Service, Madison, WI.

ROSS, H.H. (1965). A textbook of entomology. 3.ed. John Wiley. New York/London.

ROSSOW, M. (2012). Inspection of timber bridge superstructures (BIRM). CED Engineering.

ROTAFIX RESIWOOD SYSTEMS (1997). Low disturbance: restauration of timber. Disponível em: <<http://www.rotafix.co.uk/documents/ResiwoodSystem-English-p2.pdf> > Acesso em: 31 de Jan. de 2012.

ROTAFIX RESIWOOD SYSTEMS (2007). Structural timber repair: methods of repairing splits and fissures. Disponível em: <<http://www.rotafix.co.uk/solutions-timbercrack.htm>>. Acesso em: 17 de Ago. de 2012.

ROTAFIX RESIWOOD SYSTEMS (2009). Principal repair methods currently used in-situ repair/restauration. Disponível em: <http://www.rotafix.co.uk/solutions-timber.htm>>. Acesso em: 17 de Ago. de 2012.

SAKAGAMI, S.F. e LAROCA, S. (1971). Observations on the bionomics of some Neotropical Xylocopini bees, with some comparative biofaunistiv notes (Hymenoptera, Anthophoridae). J. Fac. Sci. Hokkaido U.

SÁLES, J. J.; MUNAIAR Neto, J.; MALITE, M.; DIAS, A. A.; GONÇALVES, R. M. (2009). Sistemas estruturais: teoria e exemplos. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. ISBN: 85-85205-54-7. São Carlos.

SAMPAIO da COSTA, L. S. (2009). Tipificação de soluções de reabilitação de pavimentos estruturais em madeira em edifícios antigos. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto, Portugal.

SÁNCHEZ, F. P. (2001). Protección preventiva de la madera. AITIM. Madrid, 2001.

SANTOS, H. M. O. (2009)a. Validação da segurança estrutural de pavimentos existentes em madeira. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Porto, Portugal.

SANTOS, V. D. R. (2009)b. Avaliação do comportamento de asnas antigas de madeira de grande vão. Dissertação (Mestrado) Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro. Aveiro, Portugal.

SCANLON, B. (2013). Wood-Boring Gribbles Intrigue Researchers NREL National Laboratory of the U.S. Department of Energy. Disponível em: <http://www.nrel.gov/news/features/images/20130724_gribbles3_large.jpg >. Acesso em: 23 Jan. 2014.

SCHARF, M. (2007). Carpenter ant damage on a sectioned tree stump. Department of Entomology, College of Agriculture, Purdue University. Disponível em: <http://extension.entm.purdue.edu/urban/Urban_Info/ant_photos.html >. Acesso em 22 Jan. 2014.

SCHROTTKY, C. (1902). Ensaio sobre as abelhas solitárias do Brasil. Rev. Mus. Paulista.

SÉTRA (2006). Guide technique - Les ponts en bois: Comment assurer leur durabilité. Le Sétra appartient au Réseau Scientifique et Technique de L'Équipement. République Française. Ministère de l'Écologie du Développement et de l'Aménagement durables. France.

SHUPE, T.; LEBOW, S.; RING, D. (2008). Causes and Control of Wood Decay, Degradation e Stain. Louisiana State University Agricultural Center. Pub.2703. USA.

SILVA, J. F.; MARTINS, V. A.; REBELLO, E. R. G.; SILVA ALVES, M. V.; PINHO, G. S. C. (2001). Climatologia aplicada ao uso da madeira. In: Congresso Internacional de Compensados de Madeira Tropical, 1. Belém.

SILVEIRA, F.A. (2002). The bamboo-nesting carpenter bee, *Xylocopa (Stenoxylocopa) artifex* Smith (Hymenoptera: Apidae), also nesting fibrous branches of *Vellozia* (Velloziaceae). *Lundiana* 3(1): 57-60.

SILVEIRA, F.A.; MELO, G.A.R. e ALMEIDA, E.A.B. (2002). Abelhas brasileiras. Sistemática e identificação. Composição e Arte, Belo Horizonte.

SIMPSON, W. T.; WARD, J. C. (2001). Chapter 10: Log and Lumber Storage. USDA Agricultural Handbook AH-188: Dry Kiln Operator's Manual. Forest Products Technologist.

SOUTHERN PINE INSPECTION BUREAU. SPIB (1994). Standard grading rules for southern pine lumber. Pensacola, Fla.

_____. SPIB (1999). Graders manual for boards and 2" dimension. Pensacola, Fla.

_____. SPIB (2001). Procedures for mechanically graded lumber. Pensacola, Fla.

SOUZA, V. C. M.; RIPPER, T. (1998). Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. ISBN 85-7266-096-8. Editora Pini. São Paulo.

STUMES, P. (1979). The W.E.R. - system manual. Structural rehabilitation of deteriorated timber. Association for Preservation Technology. Ottawa, Canada.

TAMPONE, G.; FRANCI, F.; CAMPA, L. (1989). Rinforzo di puntoni e consolidamento di una capriata del teatro di Sarteano mediante centine metalliche. In: (Ed.) Atti del II Congresso Nazionale, Il resturo del legno, Firenze, Nardini.

TAMPONE, G. (1989). Restauro strutturale con lamine metalliche dei solai lignei della sede del Genio Civile di Firenze. In: Il Congresso Restauro del Legno. Firenze, Nardini, v.1.

TANG, B. (1997). Fiber reinforced polymer composites applications in USA DOT – Federal Highway Administration. In: Proceedings... FIRST KOREA/U.S.A. ROAD WORKSHOP, 1997, Washington, Jan. 1997.

TAYLOR, G. (1978). La madera. Blume. Barcelona.

TELES, C. D. M.; VALLE, Â. (2002). Panorama dos ensaios não destrutivos para estruturas de madeira em serviço. VIII EBRAMEM. Uberlândia.

TEMTIS (2008). Handbook 1: Timber Structures. Leonardo da Vinci Pilot Project. CZ/06/B/F/PP/168007. Educational Materials for Designing and Testing of Timber Structures. European Commission.

THOMPSON, J.; PARCHASO, F.; ALPINE, A.; CLOERN, J.; COLE, B.; MACE, O.; EDMUNDS, J.; BAYLOSIS, J.; LUOMA, S.; NICHOLS, F. (2007). The History and Effects of Exotic Species in San Francisco Bay Project, Water Resources Division. USGS, Science for a changing world. Disponível em: < http://sfbay.wr.usgs.gov/benthic_eco/exotic_species/exoticsp.pdf >. Acesso em: 23 Jan. 2014.

TIMOSHENKO, S. (1945). Resistência dos materiais II. Editora Científica.

TOBYOTTER. Carpenter Bees. Disponível em: < <http://www.nativebeeconservancy.org/native-bees/carpenter-bees/> >. Acesso em: 03 Out. 2014.

TURRINI, G.; PIAZZA, M. (1983)a. Una tecnica di recupero statico dei solai in legno. Recuperare, Italia, Mayo / Junio 1983.

TURRINI, G.; PIAZZA, M. (1983)b. Comportamento statico della struttura mista legno-calcestruzzo. Recuperare, Italia, Julio / Agosto 1983.

UBC (2009). University of British Columbia. Faculty of Forestry. Disponível em: < www.forestry.ubc.ca/fetch21/FRST308/lab8/limnoria_lignorum/Gribble%20damageB1_1.JPG >. Acesso em: 24 Ago. 2013.

UM (2012). Microorganisms causing decay in trees and wood: White rot fungi; Brown rot fungi; Soft rot fungi. University of Minnesota. Disponível em: < <http://forestpathology.cfans.umn.edu/microbes.htm> >. Acesso em: 20 de Ago. 2012.

UNE 56544:2003, Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural: Madera de coníferas. AENOR, Madrid, 2003.

USDA (2002). Old house borer *Hylotrupes bajulus* Larva(e) (Linnaeus, 1758). Clemson University, USDA Cooperative Extension Slide Series. Image Uploaded on July 23, 2002. Disponível em: < <http://www.forestryimages.org/images/768x512/1435189.jpg> >. Acesso em: 24 Jan. 2014.

USDA/APHIS (2011). *Teredo navalis* Naval Shipworm. USDA/APHIS Animal and Plant Health Inspection Service. Institute for the Study of Invasive Species. The Texas State University System. Disponível em: < <http://www.tsusinvasives.org/database/naval-shipworm.html> >. Acesso em: 23 Jan. 2014.

UZIELLI, L. (1995). Restoring timber structures - Repair and strengthening. Università degli Studi di Firenze. In: Timber Engineering STEP 2 lecture D4, Design - Details and structural systems, Eurofortech. ISBN 90-5645-002-6. The Netherlands.

VALLE, A. (1999). Rigidez de ligações com parafusos em estruturas de madeira laminada colada. Tese (Doutorado) Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações. São Paulo.

VALLE, A.; TEREZO, R. F.; DÍAZ, F. D.; BRIDI, Á. B.; MAYERLE, A. D. (2004). Avaliação da segurança da estrutura de cobertura do antigo cine ópera na cidade de Criciúma, Santa Catarina, Brasil. In: IX EBRAMEM, CUIABÁ.

VALLE, A.; BRITES, R. D.; LOURENÇO, P. B. (2006). Uso da perfuração controlada na avaliação de degradação da madeira em edificações antigas – estudo de caso. In: 10º EBRAMEM 2006. São Pedro-SP.

VALLE, A.; PEREIRA, N. B.; NAPPI, S. C. B. (2013). Recommendations for design in preserving historical buildings with wooden structures' roofs. In: SHATIS'13, Structural Health Assessment of Timber Structures. Trento, Italy.

VATOVEC, M.; KELLEY, P. L. (2007). Biodegradation of untreated wood foundation piles in existing buildings: Part 2 – Deterioration Mechanisms. Historic Structures. Highlighting significant structures of the past. Structure Magazine.

VIANA, B.F., KLEINERT, A.M.P. e SILVA, F.O. (2002). Ecology of *Xylocopa* (*Neoxylocopa*) *cearensis* (Hymenoptera, Anthophoridae) in Abaeté sand dunes, Salvador, Bahia. *Iheringia, Ser. Zool.* 92(4):47-57.

VILCHES, M.; RODRIGUEZ, V.; LABERNIA, C. (2011). Análisis de las principales patologías existentes en las estructuras de madera en edificios históricos de Cataluña. *Anais CIMAD 11*. Coimbra, Portugal.

VITALI, F. (2014). Cerambycinae Callidiini *Hylotrupes bajulus* (von Linné, 1758). Entomology: Worldwide Cerambycoidea Photo Gallery. Disponível em: < <http://www.cerambycoidea.com/foto.asp?Id=771> >. Acesso em: 18 Jan. 2014

VITÓRIO, A. (2005). Manutenção e gestão de obras de arte especiais: a importância da manutenção para a sustentabilidade do espaço construído. In: VII ENAENCO. Recife.

WALKER, K. (2005) Hairy powderpost beetle (*Minthea rugicollis*). Updated on 7/21/2008 9:46:17 AM. PaDIL. Disponível em: < <http://www.padil.gov.au/pests-and-diseases/Pest/Main/135581/661> >. Acesso em: 25 Jan. 2014.

WALKER, K. (2005). Coptotermes termite (*Coptotermes frenchi*). Updated on 2/10/2009 1:52:12 PM. PaDIL. Disponível em: <<http://www.padil.gov.au/pests-and-diseases/Pest/Main/136466/8873>>. Acesso em: 17 Jan. 2014.

WALKER, K. (2006). Oak pin-hole borer (*Platypus cylindrus*) Updated on 11/25/2011 10:32:15 AM. PaDIL. Disponível em: < <http://www.padil.gov.au/pests-and-diseases/Pest/Main/135751/4004> >. Acesso em: 22 Jan. 2014.

WALKER, K. (2006). Pacific Coast dampwood termite (*Zootermopsis angusticollis*) Updated on 10/31/2006 5:02:15 PM. PaDIL. Disponível em:< <http://www.padil.gov.au/pests-and-diseases/Pest/Main/136486/5474>>. Acesso em: 17 Jan. 2014.

WALKER, K. (2006). Powder-post beetles (*Bostrichus capucinus*) Updated on 10/21/2011 9:42:04 AM. PaDIL <<http://www.padil.gov.au/pests-and-diseases/Pest/Main/135663/2501> >. Acesso em: 22 Jan. 2014.

WALKER, K. (2006). *Kalotermitidae* Ringant termite (*Neotermes insularis*) Updated on 8/2/2012 3:34:47 PM. PaDIL. Disponível em: < <http://www.padil.gov.au/pests-and-diseases/Pest/Main/136476/5369>>. Acesso em: 17 Jan. 2014.

WALKER, K. (2006). West Indian drywood termite (*Cryptotermes brevis*) Updated on 8/2/2012 2:05:55 PM. PaDIL. Disponível em: <<http://www.padil.gov.au/pests-and-diseases/Pest/Main/136468/5277>>. Acesso em: 17 Jan. 2014.

WANG, X.; ALLISON, B. (2008). Decay Detection in Red Oak Trees Using a Combination of Visual Inspection, Acoustic Testing, and Resistance Microdrilling. ISA, International Society of Arboriculture. Arboriculture e Urban Forestry.

WARBIRD-NEWS (2014). World's Only Flying Mosquito Flew Today! Disponível em: < <http://www.warbirdsnews.com/warbirds-news/worlds-flying-mosquito-flew-today.html> >. Acesso em: 9 de Mai. de 2014.

WOOD, M. (2007). MykoWeb: Science of mycology - the study of the fungi. Disponível em: < [http://www.mykoweb.com/CAF/photos/Stereum_hirsutum\(mgw-04\).jpg](http://www.mykoweb.com/CAF/photos/Stereum_hirsutum(mgw-04).jpg)>. Acesso em: 06 Ago. 2012.

WOOSTER, J. (2009). *Martesia striata* (Linnaeus, 1758) Striate Piddock. Florida. Disponível em: <http://www.jaxshells.org/01209.htm> >. Acesso em: 23 Jan. 2014.

WORRALL, J. J. (2013). Wood Decay. Forest and Shade Tree Pathology. USDA Forest Service, Rocky Mountain Region. Forest Health Management. Colorado St. Disponível em: < <http://www.forestpathology.org/decay.html#terms> >. Acesso em: 05 Abr. 2014.

YEOMANS, D. T. (1999). The Problems of Assessing Historic Timber Strengths Using Modern Building Codes. The use of and need for preservation standards in: Architectural Conservation. ASTM STP 1355 (1999). ISBN 0-8031-2606-9. West Conshohocken. United States.

ZORZENON, F. J.; CAMPOS, A. E. C.; JUSTI JR.; J.; POTENZA, M. R. (2011). Principais pragas da arborização urbana II: formigas carpinteiras. Centro de PeD de Sanidade Vegetal, n166. Instituto biológico. São Paulo, 2011. Disponível em: < http://www.biologico.sp.gov.br/artigosok.php?id_artigo=166 >. Acesso em 26 Dez. 2013.

8 GLOSSÁRIO DE TERMOS TÉCNICOS

Esse item tem por finalidade apresentar uma proposta de glossário informativo com definições de diversos termos técnicos relacionadas aos temas sobre estruturas de madeira, patologias e reabilitação para elaboração de relatórios e laudos técnicos a serem formulados por Engenheiros e Arquitetos.

Abelha-carpinteira • [ingl.: Carpenter-bee] Classificadas entre os insetos de maiores dimensões que deterioram madeira, conhecidas popularmente no Brasil por mamangavas, medem entre 20mm a 25mm de comprimento, possuindo algumas diferenças, coloração negra, ausência de pêlos na região do abdômen tornando a sua superfície brilhante, e asas de tom violáceo, MARTINS (2009).

Ações • ¹ Ações são as causas que provocam o aparecimento de esforços ou deformações nas estruturas. As forças são consideradas como ações diretas e as deformações impostas como ações indiretas, NBR 7190:1997. ² Do ponto de vista prático, as forças e as deformações impostas pelas ações são consideradas como se fossem as próprias ações, NBR 8681:2003.

Ações de agentes atmosféricos • Alteração da camada superficial da madeira devido ao envelhecimento natural, provocada por radiação ultravioleta, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, vento, MACHADO et al (2009).

Ações excepcionais • São as ações que têm duração extremamente curta e muito baixa probabilidade de ocorrência durante a vida da construção, mas que devem ser consideradas nos projetos de determinadas estruturas, NBR 7190:1997 e NBR 8681:2003.

Ações permanentes • ¹ Ações que ocorrem com valores constantes ou de pequena variação em torno de sua média, durante praticamente toda a vida da construção, NBR 7190:1997 e NBR 8681:2003. A variabilidade das ações permanentes é medida num conjunto de construções análogas, NBR 8681:2003.

Ações variáveis • Conforme a NBR 7190:1997, são ações que ocorrem com valores cuja variação é significativa durante a vida da construção. Na NBR 8681:2003 ações variáveis são as que ocorrem com valores que apresentam variações significativas em torno de sua média, durante a vida da construção.

Agente de degradação • Tudo aquilo que agindo sobre um sistema contribui para reduzir seu desempenho, NBR 15575-1:2008.

Agressividade do ambiente • ¹ Segundo a NBR 6118:2003 está relacionada às ações físicas e químicas que atuam sobre as estruturas, independentemente das ações mecânicas, das variações volumétricas de origem térmica, da retração hidráulica e outras previstas no dimensionamento das estruturas.

Água-mestra • Água principal de maior área, geralmente trapezoidal, existente em telhados de três ou quatro águas, NBR 15575-5:2008.

Água, pano ou vertente • Cada um dos planos inclinados que constituem um telhado, NBR 15575-5:2008.

Alburno • [ingl.: Sapwood] ¹Parte externa do tronco de uma árvore que geralmente se distingue da parte interna pela sua cor mais clara, NBR 8456:1984. ²Normalmente o alburno contém substâncias de reserva, por exemplo, amido, e é permeável a passagem de líquidos. ³Lenho situado entre a casca e o cerne, geralmente de coloração mais clara que este e constituído por elementos celulares ativos, quando na árvore viva.

Análise • Atividade que envolve a determinação das partes constituintes de um todo, buscando conhecer sua natureza e/ou avaliar seus aspectos técnicos, CREA-MG (2001).

Alburno • [ingl.: Sapwood] Lenho situado entre a casca e o cerne, geralmente menos densa, de coloração mais clara que este e constituído por elementos celulares ativos (quando na árvore viva). Normalmente o alburno contém substâncias de reserva, por exemplo, amido, e é permeável a passagem de líquidos.

Anel de crescimento • [ingl.: annual ring; growth ring] Camada produzida pela árvore em um único ano de crescimento, incluindo madeira de verão e madeira de inverno.

Anel de crescimento • [ingl.: Annual ring; Growth ring] Conforme a NBR 8456:1984 é camada de crescimento do lenho, formada durante o período vegetativo, caracterizada pelo contraste, mais ou menos marcante na seção transversal, do lenho tardio de um período e o lenho inicial do período seguinte.

Anéis anuais de crescimento • [ingl.: Annual ring] Representam as camadas de crescimento referentes as estações do ano primavera/verão (camadas menos densas) e outono inverno (camadas mais densas). Os anéis anuais de crescimento podem ser observados nas secções transversais de tronco ou galhos, principalmente de árvores coníferas.

Anisotrópica • [ingl.: Anisotropic] Materiais com propriedades físicas diferentes em cada eixo. Em geral, materiais fibrosos, como a madeira são anisotrópicos.

Apodrecimento • [ingl.: Decay, Rot] Ato ou efeito de apodrecer.

Apodrecimento do cerne • [ingl.: Decay, Rot, Heart] Biodeterioração por apodrecimento que ocorrem em cerne, que podem ser detectadas em postes, colunas, toras, vigas, etc.

- Ar seco** • [ingl.: Air-dry] Teor de umidade da madeira abaixo de 20% que passou por processo de secagem por exposição ao ar livre.
- Armadura passiva** • Qualquer armadura que não seja usada para produzir forças de protensão, isto é, que não seja previamente alongada, NBR 6118:2003.
- Armadura ativa (armadura de protensão)** • Constituída por barra, fios isolados ou cordoalhas, destinada à produção de forças de protensão, isto é, na qual se aplica um pré-alongamento inicial, NBR 6118:2003.
- Arqueamento** • [ingl.: Crook] É definido como um empenamento em relação ao eixo de maior inércia de uma peça de madeira.
- Arrevesso** • [ingl.: Burl] Distorção das fibras da madeira, usualmente causada pelo crescimento anormal devido a ferimentos na árvore.
- Assessoria** • Atividade que envolve subsidiar quem efetivamente toma as decisões finais relativas à obra ou serviço, CREA-MG (2001).
- Assistência** • Atividade que envolve as decisões finais dos profissionais responsáveis pelos projetos, execuções, manutenções, instalações, condução, implantação, conservação, pesquisas com relação à obra ou serviço, CREA-MG (2001).
- Ático** • Espaço compreendido entre o telhado e o forro (ou laje de forro inclinada), NBR 15575-5:2008.
- Avaliação** • Atividade que envolve a avaliação técnica do valor qualitativo ou monetário de um bem, de um direito ou de um empreendimento, CREA-MG (2001).
- Base** • Seção transversal externa da parte inferior de poste (NBR 8456:1984), coluna, ou pilar.
- Biodeterioração** • [ingl.: biodeterioration] Termo empregado para designar alterações indesejáveis geradas pela ação, direta ou indireta, de seres vivos, nos materiais em uso pelo homem. Quando essa alteração é benéfica, ao meio ambiente da natureza, ela é chamada de biodegradação [ingl.: biodegradation]. Em ambos os casos, os processos levam a decomposição por apodrecimento [ingl.: decay] do substrato, isto é, a uma redução do material aos elementos que o constituem, LELIS et al (2001).
- Bisel** • Corte em ângulo na extremidade da peça, NBR 8456:1984.
- Bolsa de Resina** • [ingl.: Pitch Pocket; Resin Pocket] Pequena cavidade alongada e bem delimitada entre os anéis de crescimento contendo resina.
- Borda** • [ingl.: Edge] Existem três tipos de borda: a face estreita de peças de seção transversal retangular; o canto de uma peça na intersecção de duas faces longitudinais; e a parte da face larga próxima ao canto da peça.

Broca • [ingl.: Beetles] ¹Designação comum aos insetos coleópteros que perfuram sobretudo madeira e cereais, e cuja maioria é xilófaga. Incluem-se no grupo os bostríquídeos, os bruquídeos, os curculionídeos, os anobiídeos entre outros. ² O pó que resulta da ação desses insetos; carcoma. [Sin.: caruncho, bruco, gorgulho, carpinteiro, carneiro, carneirinho, carcoma], AURÉLIO (2004).

Caimento • Declividade para águas pluviais, NBR 15575-5:2008.

Cálculo Estrutural • Conforme a NBR 15575-5:2008, Cálculo da resistência e dos deslocamentos deve ser elaborado com base nas propriedades dos materiais e nas ABNT NBR 6118, ABNT NBR 7190, ABNT NBR 8800, ABNT NBR 9062, ABNT NBR 14762.

Capacidade resistente • Consiste basicamente na segurança à ruptura, NBR 6118:2003.

Cargas acidentais • Cargas acidentais são as ações variáveis que atuam nas construções em função de seu uso (pessoas, mobiliário, veículos, materiais diversos etc.), NBR 7190:1997; NBR 8681:2003.

Carga de flambagem • Carga sob a qual flamba a estrutura ou uma de suas peças, ABCP (1967).

Carga de ruína • Carga sob a qual se dá a ruína da estrutura, isto é, sob a qual a estrutura deixa de ser útil aos fins para que foi projetada, ou por se ter rompido, ou por se ter tornado hipostática, ou por ter flambado, ou por ter sofrido deformações exageradas, ou por ter fissurado além do limite prescrito, ABCP (1967).

Carga de ruptura • Carga sob a qual rompe a estrutura ou uma de suas peças, ABCP (1967).

Carregamento de construção • Um carregamento de construção é transitório e deve ser definido em cada caso particular em que haja risco de ocorrência de estados limites últimos já durante a construção. Admite-se, que um carregamento de construção corresponda à classe de carregamento definida pela duração acumulada da situação de risco, NBR 7190:1997.

Carregamento especial • Um carregamento é especial quando inclui a atuação de ações variáveis de natureza ou intensidade especiais cujos efeitos superam em intensidade os efeitos produzidos pelas ações consideradas no carregamento normal. Admite-se, que um carregamento especial corresponda à classe de carregamento definida pela duração acumulada prevista para a ação variável especial considerada, NBR 7190:1997.

Carregamento excepcional • Um carregamento é excepcional quando inclui ações excepcionais que podem provocar efeitos catastróficos. Admite-se, que um carregamento excepcional corresponda à classe de carregamento de duração instantânea, NBR 7190:1997.

Carregamento normal • Um carregamento é normal quando inclui apenas as ações decorrentes do uso previsto para a construção. Admite-se que um carregamento normal corresponda à classe de carregamento de longa duração, podendo ter duração igual ao período de referência da estrutura. Ele sempre deve ser considerado na verificação da segurança, tanto em relação a estados limites últimos quanto em relação a estados limites de utilização. Em um carregamento normal, as eventuais ações de curta ou média duração terão seus valores atuantes reduzidos a fim de que a resistência da madeira possa ser considerada como correspondente apenas às ações de longa duração, NBR 7190:1997.

Caibro • [ingl.: Dimension lumber] Peças de madeira de seção retangular em que a espessura é maior ou igual a 38mm e menor ou igual à 89mm, sendo que a largura é igual ou superior à 89mm.

Casca • [ingl.: Bark] ¹Camada da árvore externa ao câmbio. ²Conforme a NBR 8456:1984, casca são todos os tecidos que ficam por fora do cilindro do lenho das arvores.

Cavidade • [Do lat.: Cavitate.] ¹Espaço cavado de um corpo sólido. ²Designação genérica de local oco, AURÉLIO (2004).

CCA • Preservativo de madeira à base de Cloro, Cromo e Arsênio, NBR 8456:1984.

CCB • Preservativo de madeira à base de Cloro, Cromo e Boro, NBR 8456:1984.

Celulose • [Do fr.: Cellulose] Polímero natural, encontrado nos vegetais, e constituído pela polimerização da celobiose, substância branca, fibrosa, usada na fabricação de papéis [fórm.: (C₆H₁₀O₅)_n], AURÉLIO (2004).

Cerne • [ingl.: Heartwood; Heart; Corewood] ¹Parte interna do lenho, envolvida pelo alburno, constituída de elementos celulares sem atividade vegetativa, geralmente caracterizada por possuir coloração mais escura que o alburno. ²Parte do lenho constituída por camadas internas que, na árvore em crescimento, cessarem de conter células vivas e cujas substâncias de reserva (como por exemplo, o amido) foram consumidas ou transformadas em outras peculiares ao cerne, NBR 8456.

Chanfro / Bisel • ¹Corte, em ângulo, da extremidade superior do poste, NBR 8456:1984. ² Borda de peça de madeira, cortada obliquamente, isto é, sem aresta ou quina viva, AURÉLIO (2004).

Cisalhamento • [De **cisalhar* (< lat. **cisalia* < lat. *caedere*, ‘cortar’) + *-mento*.] Deformação que sofre um corpo quando sujeito à ação de forças cortantes, AURÉLIO (2004).

Classes de resistência • As classes de resistência das madeiras têm por objetivo o emprego de madeiras com propriedades padronizadas, orientando a escolha do material para elaboração de projetos estruturais, NBR 7190:2011.

Classes de serviço • As classes de serviço das estruturas de madeira são determinadas pelas classes de carregamento e pelas classes de umidade, NBR 7190:2011.

Classificação • Atividade que consiste em comparar os produtos, características, parâmetros e especificações técnicas (estabelecidas nos padrões), CREA-MG (2001).

Coefficientes de modificação • Os coeficientes de modificação k_{mod} afetam os valores de cálculo das propriedades da madeira em função da classe de carregamento da estrutura, da classe de umidade admitida, e do eventual emprego de madeira de segunda qualidade. O coeficiente de modificação k_{mod} é formado pelo produto: $k_{mod} = k_{mod1} \cdot k_{mod2} \cdot k_{mod3}$, NBR 7190:2011.

Colocação em uso • Atividades necessárias para permitir a ocupação inicial da edificação e a colocação em condições de funcionamento de suas instalações e equipamentos, NBR 14037:1998.

Colunas e Postes • [ingl.: Timbers] Peças de madeira de seção retangular em que ambos os lados são maiores ou igual a 114mm, sendo que o maior lado deve ser menos de 38mm superior ao menor lado.

Componente • ¹Unidade integrante de determinado elemento do edifício, com forma definida e destinada a cumprir funções específicas (exemplos: bloco de alvenaria, telha, folha de porta) , NBR 15575-1:2008. ²Produto constituído por materiais definidos e processados em conformidade com princípios e técnicas específicos da Engenharia e da Arquitetura para, integrar elementos ou instalações prediais da edificação, desempenhar funções específicas em níveis adequados, NBR 14037:1998.

Comprimento nominal (L) de um poste • Distancia entre o topo e a base, NBR8456.

Compressão • [Do lat. compressione.] ¹Ato ou efeito de comprimir(-se). ²Processo físico em que se aumenta a pressão num sistema pela ação de agentes externos, AURÉLIO (2004).

Condições de exposição; ações • conjunto de ações atuantes sobre a edificação, incluindo cargas gravitacionais, ações externas e ações resultantes da ocupação, NBR 15575-1:2008.

Condução • Atividade que consiste no comando e/ou chefia de equipe de trabalho de instalação, de montagem, de operação ou de manutenção, dentro do campo da respectiva especialização, CREA-MG (2001).

Coníferas • [ingl.: Softwoods] Grupo botânico de árvores que, na maioria dos casos, apresentam folhas com forma de agulha ou escama. A anatomia das coníferas caracterizam na forma anatômica das células, vasos, fibras e feixes de raios, de formação das árvores

coníferas, cuja principal característica está na diferenciação dos anéis de crescimento primavera verão (menos densos) e outono inverno (mais densos).

Conservação • ¹Ato ou efeito de conservar(-se). ²Conjunto de medidas de caráter operacional, intervenções técnicas e científicas, periódicas ou permanentes, que visam a conter as deteriorações em seu início, e que em geral se fazem necessárias com relação às partes da edificação que carecem de renovação periódica, por serem mais vulneráveis aos agentes deletérios, AURÉLIO (2004). ³Atividade que envolve um conjunto de operações visando manter em bom estado, preservar, fazer durar, guardar adequadamente, permanecer ou continuar nas condições de conforto e segurança previsto no projeto, CREA-MG (2001).

Construtor • Pessoa física ou jurídica, legalmente habilitada, contratada para executar o empreendimento, de acordo com o projeto e em condições mutuamente estabelecidas, NBR 15575-1:2008.

Consultoria • Atividade que envolve matéria específica, em que o profissional, através de seus conhecimentos técnicos e de forma eventual, fornece parecer consubstanciado, restrito às matérias específicas que tenham sido objeto da consulta, CREA-MG (2001).

Controle de qualidade • Atividade que envolve o acompanhamento efetivo da produção e verificar o enquadramento do produto ou serviço dentro das normas técnicas e das especificações estabelecidas, em termos de projeto padrão e mensuração visando a correção de eventuais desvios e fornecer os elementos para a aceitação ou rejeição, CREA-MG (2001).

Coordenação • Atividade que envolve decisões técnicas de uma obra ou serviço porém subordinados a uma direção, CREA-MG (2001).

Crítérios de desempenho • Especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados, NBR 15575-1:2008.

Cupim • [ingl.: Termite] ¹Designação comum aos insetos isópteros. São sociais, vivem em comunidades ger. populosas, formadas por indivíduos ápteros e alados; constroem cupinzeiros na madeira ou no solo. Vegetarianos, alguns atacam plantas vivas, raízes, sementes, cereais e tubérculos, mas podem alimentar-se, também, de objetos de madeira ou compensado, de papel, etc., causando sérios prejuízos. Algumas espécies possuem protozoários intestinais que digerem a celulose. ²Ninho do cupim. [Sin.: térmita, térmita, (bras., Amaz.) itapicuí, cupineiro, cupinzeiro, itacuru, itacurubá, itapecuim, tacuri, tacuru, tapecuim, termiteiro, tucuri, baga-baga, salalé.], AURÉLIO (2004).

Curvatura em um poste • Desvio de direção axial do poste, NBR 8456:1984.

Custo global • Custo total de um edifício ou de seus sistemas, determinado considerando-se, além do custo inicial, os custos de operação e manutenção ao longo da sua Vida útil, NBR 15575-1:2008.

Decomposição • [ingl.: Decay] ¹Ato ou efeito de decompor(-se), apodrecimento, AURÉLIO (2004). Decomposição da madeira causado pela ação de fungos destruidores da madeira, resultando em amolecimento, perda de resistência e de peso, e que geralmente ocorrem em mudança de textura e coloração. ASTM D 9-12.

Defeitos de secagem • [ingl.: Distortion] Defeitos originários na condução da secagem ou em cuidados insuficientes no armazenamento das peças serradas, e geralmente provocam uma série de defeitos que restringem ou até mesmo inviabilizam o aproveitamento estrutural de tais peças. Alguns dos defeitos mais frequentes entre os mencionados são: Torcimento, encurvamento, encanoamento, arqueamento.

Defeitos naturais • [ingl.: Natural Defects] São defeitos naturais que podem ocorrer em peças de madeira, e geralmente são classificados em: nó [ingl.: knot]; racha [ingl.: shake]; fenda [ingl.: split (through) check]; fenda superficial [ingl.: surface check]; fenda de borda em extremidade [ingl.: end check]; fenda no cerne [ingl.: check heart]; medula na peça [ingl.: pith]; BRASHAW et al (2012), e fendilhado [ingl.: seasoning check]; CARREIRA (2003).

Deformação • Variação da distância entre pontos de um corpo submetido a uma determinada tensão, com modificação de sua forma e volume primitivos, NBR 15575-2:2008.

Deformação lenta • Deformação que se processa no tempo, sem alteração da sollicitação atuante, ABCP (1967).

Degradação • ¹Deterioração, desgaste, AURÉLIO (2004). ²Redução do desempenho devido a atuação de um ou de vários agentes de degradação, NBR 15575-1:2008.

Delaminação • [ingl.: Delamination] Separação de camadas da madeira laminada colada ou de madeira compensada na junta de cola estrutural, geralmente causada por umidade, falha no processo de fabricação, ou com uso de cola sem compatibilidade ou com validade vencida.

Densa • [ingl.: Dense] Termo usado na classificação estrutural de certas espécies de madeiras com elevada densidade.

Densidade aparente da madeira • Massa específica obtida pelo quociente da massa pelo volume, ambos à mesma umidade, NBR 7190:2011.

Densidade básica da madeira • Massa específica convencional obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado. A massa seca é determinada mantendo-se os corpos de prova em estufa a 103 °C até que a massa do corpo de prova permaneça constante. O

volume saturado é determinado em corpos de prova submersos em água até atingirem peso constante, NBR 7190:2011.

Descascamento • Eliminação da casca de um poste, NBR 8456:1984.

Deslocamento • Afastamento entre a elástica e o eixo original de uma barra (ou plano original de uma placa) submetida a um carregamento estático ou dinâmico, NBR 15575-2:2008.

Desempenho • Conforme a NBR 5674:1999 desempenho é a capacidade de atendimento das necessidades dos usuários da edificação. Já na NBR 15575-1:2008 desempenho é o comportamento em uso de um edifício e de seus sistemas.

Desempenho em serviço • Consiste na capacidade de a estrutura manter-se em condições plenas de utilização, não devendo apresentar danos que comprometam em parte ou totalmente o uso para o qual foi projetada, NBR 6118:2003.

Desenho técnico • Atividade que implica na representação de formas sobre uma superfície, por meio de linhas, pontos e manchas com objetivo técnico, CREA-MG (2001).

Detalhamento • Atividade que implica na representação de formas sobre uma superfície, desenvolvendo o projeto de detalhes necessários à materialização de partes de um projeto, o qual já definiu as características gerais da obra ou serviço, CREA-MG (2001).

Deterioração • Ato ou efeito de deteriorar(-se); dano, ruína, degeneração, AURÉLIO (2004).

Diagnóstico • Conhecimento ou determinação de uma manifestação patológica pelo(s) sintoma(s) ou sinais e/ou mediante teste(s) por técnica(s) ou ensaio(s) *in loco* e/ou laboratoriais.

Dicotiledôneas/Folhosas [ingl.: Hardwoods] Grupo botânico de árvores que, geralmente, possuem folhas largas em contraste com as coníferas. A anatomia das folhosas caracteriza na forma anatômica das células, vasos, fibras e feixes de raios, de formação das árvores folhosas, (Cerne e o alburno).

Discriminação técnica: Descrição qualitativa e quantitativa de materiais, componentes, equipamentos e técnicas a serem empregados na realização de um serviço ou obra, NBR 14037:1998.

Ductilidade • [De dúctil + idade.] Qualidade ou propriedade de dúctil, AURÉLIO (2004).

Durabilidade • Conforme a NBR 8456:1983, durabilidade é a propriedade da madeira de resistir, em maior ou menor grau, ao ataque de agentes destruidores, sob condição natural de uso. A NBR 14037:1998 define durabilidade como a Propriedade da edificação e de suas constituintes de conservarem a capacidade de atender aos requisitos funcionais para os quais foram projetadas, quando expostas às condições normais de utilização ao longo da

Vida útil projetada. Já a NBR 6118:2003 rege que durabilidade consiste na capacidade de a estrutura resistir às influências ambientais previstas e definidas em conjunto pelo autor do projeto estrutural e o contratante, no início dos trabalhos de elaboração do projeto. E durabilidade na NBR 15575-1:2008 entende-se pela capacidade do edifício ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas, até um estado-limite de utilização.

Edificação • Conforme a NBR 14037:1998, edificação é o ambiente constituído de uma ou mais unidades autônomas e partes de uso comum. Já na NBR 5674:1999 edificação é o produto constituído pelo conjunto de elementos definidos e integrados em conformidade com os princípios e técnicas da Engenharia e da Arquitetura para, ao integrar a urbanização, desempenhar funções ambientais em níveis adequados.

Eflorescência • Manchas que surgem em determinada superfície causadas pelo acúmulo e cristalização de sais solúveis presentes nos elementos. A água é a responsável pelo transporte dos sais de dentro dos elementos até as superfícies.

Elemento • Parte de um sistema com funções específicas, geralmente é composto por um conjunto de componentes (exemplo: parede de vedação de alvenaria, painel de vedação pré-fabricado, estrutura de cobertura), NBR 15575-1:2008.

Elemento estrutural • Parte de um sistema com funções estruturais específicas.

Emenda • ¹Ato de emendar. ² to de ligar uma peça a outra. ³ Peça que se junta a outra para aumentar-lhe as dimensões, corrigir defeito, AURÉLIO (2004).

Empenamento • [ingl.: Warp] Qualquer desvio na forma geométrica inicial de uma peça de madeira, incluindo encanoamento, empenamento, encurvamento e torcimento.

Empilhamento de postes • Operação de dispor os postes em determinada forma, para secagem ou armazenamento, NBR 8456:1984.

Encurvamento • [ingl.: Bow] É definido como um empenamento em relação ao eixo e menor inércia de uma peça de madeira.

Ensaio • Atividade que envolve o estudo ou investigação sumária dos aspectos técnicos e/ou científicos de determinado assunto, CREA-MG (2001).

Ensaio de tipo • Ensaio de conformidade de um SC, com base em amostras representativas dele, em face de alterações havidas no projeto original, NBR 15575-5:2008.

Ensambladura • ¹Ato ou efeito de ensamblar; ensamblagem, ensamblamento, sambladura. ²Encaixe, emalhetamento, AURÉLIO (2004).

Ensamblar • [Do fr. ant. ensamblar, ‘juntar’, < fr. ensemble, ‘juntamente’.] Reunir (peças de madeira); encaixar, embutir, entalhar, emalhetar, malhetar, samblar, AURÉLIO (2004).

Entalhe no poste • Corte de superfície plana localizado na face do poste e normal aos furos, NBR 8456:1984.

Entreforro/ plenum/ático • Espaço compreendido entre o forro e uma laje ou pano de telhado que lhe é paralelo, NBR 15575-5:2008.

Esmoado • [ingl.: Wane] Casca ou falta de madeira.

Especificação • Atividade que envolve a fixação das características, condições ou requisitos de materiais, equipamentos e técnicas de execução a serem empregadas em obra ou serviço técnico, CREA-MG (2001).

Especificações de desempenho • ¹ NBR 15575-1:2008 Conjunto de requisitos e critérios de desempenho estabelecido para a edificação ou seus sistemas. ²As especificações de desempenho são uma expressão das funções exigidas da edificação ou de seus sistemas e que correspondem a um uso claramente definido; no caso da NBR 15575-1:2008, referem-se ao uso habitacional de edificações de até cinco pavimentos.

Estabilidade dimensional da madeira • É caracterizada pelas propriedades de retração e de inchamento considerando a madeira, considerada como um material ortótropo, com direções preferenciais 1, 2 e 3, correspondentes às direções axial, radial e tangencial, respectivamente, e devem ser determinadas a retração tangencial, a retração radial, a retração axial, o inchamento tangencial, o inchamento radial e o inchamento axial.

Estado da arte • Estágio de desenvolvimento de uma capacitação técnica em um determinado momento, em relação a produtos, processos e serviços, baseado em descobertas científicas, tecnológicas e experiências consolidadas e pertinentes, NBR 15575-1:2008.

Estados Limites de uma estrutura • Estados a partir dos quais a estrutura apresenta desempenho inadequado às finalidades da construção, NBR 8681:2003.

Estados Limites de Serviço (ELS) • Estados que, por sua ocorrência, repetição ou duração, causam efeitos estruturais que não respeitam as condições especificadas para o uso normal da construção, ou que são indícios de comprometimento da durabilidade da estrutura, NBR 8681:2003.

Estados Limites Últimos (ELU) • ¹Estados que, pela sua simples ocorrência, determinam a paralisação, no todo ou em parte, do uso da construção, NBR 8681:2003. ²Estado limite relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que determine a paralisação do uso da estrutura, NBR 6118:2003.

Estanqueidade • Permanecer estanque; estancar; sem fenda ou abertura por onde entre ou saia líquido; tapado, vedado, compartimento estanque, AURÉLIO (2004).

Estudo • A atividade que envolve simultaneamente o levantamento, a coleta, a observação, o tratamento e a análise de dados de natureza técnica, necessários à execução da obra ou serviço, ou o desenvolvimento de métodos ou processos de produção e/ou a determinação da viabilidade técnica-econômica, CREA-MG (2001).

Estrutura principal • Conjunto resistente apoiado diretamente nos pilares ou paredes estrutural do edifício habitacional. Nota: A estrutura principal pode ser constituída por lajes, vigas, treliças e outros componentes ou subsistemas estruturais, NBR 15575-5:2008.

Estrutura secundária • Conjunto de componentes estruturais intercalados entre a estrutura principal e o telhado, normalmente constituído por terças, caibros e ripas, NBR 15575-5:2008.

Etapa de condicionamento • Fase inicial do processo de impregnação sob pressão na qual a madeira é submetida a um aquecimento a vapor ou em solução preservativa oleosa, com a finalidade de reduzir o seu Teor de umidade antes de receber o preservativo, NBR 8456:1984.

Execução • Atividade de materialização na obra do que é previsto no projeto, e do que é decidido por si ou por outro profissional legalmente habilitado, CREA-MG (2001).

Exigências do usuário • Conjunto de necessidades do usuário do edifício habitacional a serem satisfeitas por este (e seus sistemas), de modo a cumprir com suas funções, NBR 15575-1:2008.

Experimentação • Atividade que consiste em observar manifestações de um determinado fenômeno, sob condições previamente estabelecidas, CREA-MG (2001).

Expurgo • Atividade que consiste em limpar, purificar, eliminar impurezas, sobras ou elementos nocivos, relativos à obra ou serviço, CREA-MG (2001).

Fabricação • Atividade que envolve a transformação de matérias primas em produtos, CREA-MG (2001).

Face do poste • Superfície no lado côncavo (o de menor raio de curvatura), nos postes com curva numa só direção superfície de menor raio de curvatura entre a linha de afloramento e o topo, nos postes com curvas reversas ou duplas, NBR 8456:1984.

Face estreita • [ingl.: Narrow face] A face mais estreita de uma peça de madeira de seção retangular.

Face larga • [ingl.: Wide face] A face mais larga de uma peça de madeira de seção retangular.

Faixa de resina • [ingl.: Pitch streak] É uma acumulação bem definida de resina nas células de madeira na forma de faixas.

Falha • Ocorrência que compromete o estado de utilização do sistema ou elemento. Essa ocorrência pode resultar de fissuração ou deslocamentos acima de limites aceitáveis, avarias no sistema ou no elemento estrutural ou nas interfaces com outros sistemas ou elementos, NBR 15575-2:2008.

Fenda • [ingl.: Split (through) check] ¹Separação longitudinal do tecido lenhoso na extremidade de uma peça, que atravessa a mesma em toda sua espessura, ou seja, de uma superfície adjacente até à superfície oposta, cortando os anéis anuais de crescimento, e que geralmente é originária do resultado de defeitos naturais de secagem da madeira.²[ingl.: Check] é uma separação longitudinal do tecido lenhoso que normalmente atravessa os anéis anuais de crescimento cortando-os, e geralmente é originária do resultado de defeitos naturais de secagem da madeira [ingl.: Seasoning], BRASHAW et al (2012). ³[ingl.: check] Separação da madeira ao longo da direção das fibras, que geralmente se estende através dos anéis anuais de crescimento, normalmente resultante das tensões internas à madeira originárias durante o processo de secagem, ASTM D 9-12. ⁴[ingl.: through check] Fenda que atravessa uma peça de madeira, de uma superfície adjacente até à superfície oposta, ASTM D 9-12.

Fenda de borda em extremidade • [ingl.: End check] ¹Pode ser caracterizada pela separação longitudinal do tecido lenhoso que ocorre apenas na borda na extremidade da peça, geralmente originária do resultado de defeitos naturais de secagem da madeira.²Fendilhado por secagem que ocorre na extremidade de uma tábua ou demais peças de madeira, ASTM D 9-12.

Fenda Interna • [ingl.: Check, internal] Separação longitudinal do tecido lenhoso, que ocorre internamente na peça, geralmente originária do resultado de defeitos naturais de secagem da madeira, NZFFA (2012).

Fenda no cerne • [ingl.: Check heart] ¹Separação longitudinal do tecido lenhoso, que ocorre apenas na região do cerne, geralmente originária do resultado de defeitos naturais de secagem da madeira. ²[ingl.: heart check] Fenda que se estende através das camadas de crescimento em uma ou mais direções até a medula, mas não até à superfície de uma peça de madeira; pode é um sinônimo de fenda apenas na medula, ASTM D 9-12.

Fenda superficial • [ingl.: Surface check] ¹Pode ser caracterizada por uma pequena separação do tecido lenhoso, em geral alinhada longitudinalmente e perpendiculares aos anéis de crescimento, geralmente originária do resultado de defeitos naturais de secagem da madeira. ²Fenda que ocorre na superfície de uma peça de madeira, geralmente na face tangencial mas que não atravessa a peça, ASTM D 9-12.

Fendilhado/ Fendilhado por secagem • [ingl.: Seasoning check] Pequenas fissuras superficiais que aparecem nas extremidades das peças, originária de defeitos naturais de secagem da madeira.

Fendilhamento • [ingl.: Split] ¹Separação longitudinal do tecido lenhoso na extremidade de uma peça, que atravessa a mesma em toda sua espessura, ou seja, de uma superfície adjacente até à superfície oposta, em função do efeito de separação das células da madeira, originária pela ação do efeito físico de rasgamento, em uma ou mais linhas de corte, geralmente oriunda de esforços de cisalhamento, superiores aos de projeto, principalmente em regiões de ligações com pinos, muito próximos dessa extremidade. ²Uma separação na madeira paralela à direção das fibras, devido ao rasgamento das células da madeira, ASTM D 9-12.

Fenda diametral • Separação do tecido lenhoso, ao longo das fibras, em geral transversalmente aos anéis de crescimento, que se estende de um lado a outro do poste, NBR 8456:1984.

Fenda em nó • [ingl.: Check, knot] Separação do tecido lenhoso que ocorre nas proximidades de um nó, NZFFA (2012).

Fenda em um poste • Separação do tecido lenhoso, ao longo das fibras, em geral transversalmente aos anéis de crescimento, podendo se estender de um lado a outro do poste, e nesse caso é denominada fenda diametral, NBR 8456:1984.

Fibras • [ingl.: Grain] Correspondem as fibras da madeira e sua direção, tamanho, organização, aparência ou qualidade.

Fibras cruzadas • [ingl.: Cross grain] Um padrão na madeira em que as fibras estão dispostas de forma não paralela às extremidades da peça.

Fiscalização • Atividade que envolve o controle e a inspeção sistemática de obra ou serviço, com a finalidade de examinar ou verificar se sua execução obedece às especificações e prazos estabelecidos e ao projeto, CREA-MG (2001).

Flambagem lateral de barras comprimidas entre limites elásticos • O estudo da flexão e compressão simultânea de escoras mostra há um certo valor crítico da força de compressão para o qual pode-se produzir grande deslocamento lateral por menor que seja a carga lateral. Para barra prismática com as extremidades articuladas esta força de compressão crítica é expressa por, TIMOSHENKO (1945):
$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{\ell^2}$$

Flecha • Máximo afastamento entre a elástica e a posição primitiva de uma barra ou de uma placa submetida a flexão, NBR 15575-2:2008.

Flecha (da deformada) • Deslocamento transversal máximo de dado trecho de uma barra reta ou plana, ABCP (1967).

Folhosas / Dicotiledôneas • [ingl.: Hardwoods] Grupo botânico de árvores que, geralmente, possuem folhas largas em contraste com as coníferas. A anatomia das folhosas caracteriza na forma anatômica das células, vasos, fibras e feixes de raios, de formação das árvores folhosas, (Cerne e o alburno).

Fornecedor • Pessoa física ou jurídica, pública ou privada, nacional ou estrangeira, bem como os entes despersonalizados, que desenvolvem atividade de montagem, criação, construção, transformação, importação, exportação, distribuição ou comercialização de produtos ou prestação de serviços¹ (1º Código de Defesa do Consumidor, Lei 8078 de 11/09/1990.), NBR 15575-1:2008.

Fungos de podridão ou apodrecedores • Microorganismos que biodeterioram a madeira ocasionando o apodrecimento. São agrupados em três principais tipos distintos na classificação baseada na forma em que atacam e na aparência da madeira biodeteriorada, e os denominam em função da coloração: Fungos de podridão parda ou cúbica [ingl.: brown rot fungi]; Fungos de podridão branca ou fibrosa [ingl.: white rot fungi]; Fungos de podridão mole [ingl.: soft rot fungi].

Fungos de podridão branca ou fibrosa • [ingl.: white rot fungi] Fungos apodrecedores, geram biodeteriorações da celulose e lignina que se assemelham a aparência normal da madeira, mas pode ser esbranquiçada ou com coloração castanha clara, e em certos casos, com listras entre às fibras escuras, semelhantes a linhas de lápis escuros (linhas de faixa). Tipicamente em estágios avançados de biodeterioração à madeira infectada não apresenta fendas e tem uma textura distintamente macia, com degradação que incidem separações individuais das fibras da madeira apesar da ausência de retrações anormais e com uma consistência esponjosa ou fibrosa.

Fungos de podridão mole • [ingl.: Soft rot fungi] Fungos apodrecedores que degradam preferencialmente celulose e hemiceluloses, e geralmente atacam madeiras susceptíveis a molhagem contínua ou em condições de variações de umidade, e podem ocorrer em ambientes de baixa disponibilidade de oxigênio, situação em que geralmente inibem o desenvolvimento dos fungos de podridão branca e parda, quando úmidas, as peças de madeira apresentam sua superfície amolecida. Ao secar, esta superfície escurece e tende a apresentar pequenas fissuras paralelas e perpendiculares as fibras da madeira.

Fungos de podridão parda ou cúbica • [ingl.: Brown rot fungi] Fungos apodrecedores que atacam à celulose, e em estágio avançado de biodeterioração, a madeira quando seca, além

de alterações na coloração parda-escura ou castanha-escura à marrom, geralmente, aparentam retração anormal e inúmeras fendas cruzadas paralelas e perpendiculares às fibras, e consistência quebradiça e friável, com aparência semelhante à superfície de uma madeira muito carbonizada.

Fungos de podridão seca • [ingl.: Dry rot fungi] Embora muitos usuários de madeira utilizem para o fungo de podridão parda, o termo citado por *podridão seca*, esse termo induz ao engano, uma vez que deve conter umidade na madeira para ocorrer a maioria dos ataques biológicos por fungos, RITTER e MORRELL (1990).

Fungos emboloradores • [ingl.: Mold Fungi] Microorganismos não biodeterioradores, mas são de consequências práticas primárias, que infectam a superfície da madeira, causando defeitos que geralmente podem ser removidos com escovação, lixamento ou aplainamento. São responsáveis por uma importante alteração na superfície da madeira conhecida popularmente como bolor, resulta da enorme produção de esporos, que possuem cores variadas de acordo com a espécie de fungo.

Fungos manchadores ou cromogêneos • [ingl.: Stain Fungi] Microorganismos não biodeterioradores, mas são de consequências práticas primárias, que provocam manchas profundas no alburno das madeiras, que resultam da presença de hifas pigmentadas ou de pigmentos liberados pelos fungos. Também conhecido como mancha azul é responsável por consideráveis prejuízos, principalmente de ordem estética em espécie de madeiras de Pinus.

Furos • Abertura cilíndrica e geralmente perpendicular ao eixo longitudinal do poste ou de peças de madeira, passando pelo eixo, e destinada à fixação de materiais, parafusos, equipamentos, cabos, etc., NBR 8456:1984.

Galerias de organismos xilófagos • Cavidades no interior da madeira, construídas por organismos xilófagos, onde se abrigam, tais como térmitas, brocas, formigas-carpinteiras, abelhas-carpinteiras, teredos, limnoria, entre outros.

Garantia • Termo de compromisso de funcionamento adequado de uma edificação, componente, instalação, equipamento, serviço ou obra, emitido pelo seu fabricante ou fornecedor, NBR 14037:1998.

Greta em poste • Separação da madeira em sentido radial, cujo desenvolvimento no chega a afetar a superfície do poste, NBR 8456:1984.

Higroscópico: Material que sofre alterações do seu Teor de umidade em função das condições ambientais climáticas, da umidade relativa do ar e temperatura, que o circundam.

Imunizar • Tornar imune a determinada moléstia, veneno, AURÉLIO (2004).

Incisão • Corte, em profundidade e distância determinadas, praticado na superfície geralmente de postes de essências resistentes à impregnação, com a finalidade de obter melhor penetração do preservativo, NBR 8456:1984.

Inclinação do veio • Desvio angular em relação ao eixo longitudinal do poste, NBR 8456:1984.

Ingrediente ativo • Padrão em cujos termos se define usualmente a composição ponderada, em porcentagem, das formulações preservativas. Esses padrões podem ser elementos, como flúor e boro, óxidos de elementos como CuO, CrO₃ e As₂O₅ ou substâncias químicas, como pentaclorofenol. Não serão expressos em ingredientes ativo os compostos cuja única finalidade é a de omitir a corrosão ou acertar o Ph da solução preservativa, NBR 8456:1984.

Inovação tecnológica • Aperfeiçoamento tecnológico, resultado de atividades de pesquisa, aplicado ao processo de produção da edificação, objetivando a melhoria de desempenho, qualidade e custo da edificação ou de um sistema, NBR 15575-1:2008.

Inspeção • Conforme a NBR 14037:1998 e a NBR 5674:1999, inspeção é a avaliação do estado da edificação e de suas partes constituintes, realizada para orientar as atividades de manutenção. Segundo o CREA-MG (2001) inspeção é a atividade de vistoriar ou examinar ou inspecionar a obra ou serviço, acusando no laudo técnico o estado em que se encontra o objeto da inspeção, dentro do campo de sua modalidade profissional.

Inspeção predial de uso e manutenção • Verificação, através de metodologia técnica, das condições de uso e de manutenção preventiva e corretiva da edificação, NBR 15575-1:2008.

Instalação • Atividade que implica em colocar ou dispor convenientemente, peças, equipamentos e acessórios em determinada obra ou serviço, CREA-MG (2001).

Instalações • Produto constituído pelo conjunto de componentes construtivos definidos e integrados em conformidade com princípios e técnicas da Engenharia e da Arquitetura para, ao integrar a edificação, desempenhar em níveis adequados determinadas funções ou serviços de controle e condução de sinais de informação, energia, gases, líquidos e sólidos, NBR 14037:1998.

Integridade estrutural • Capacidade da estrutura de evitar seu colapso progressivo na ocorrência de danificações localizadas, NBR 15575-2:2008.

Intervenção • No universo das artes, é todo processo que provoca uma interferência artística seja num espaço urbano, em obras de arte ou produtos preexistentes ou em projetos arquitetônicos, de forma definitiva ou efêmera.

Isotropia • Propriedade de um corpo possuir as mesmas características em todas as direções, ABCP (1967).

Laudo técnico • Atividade que consiste em elaborar uma peça escrita, fundamentada, na qual o profissional expõe as observações e estudos efetuados, bem como as respectivas conclusões, CREA-MG (2001).

Laje plana • Laje de cobertura com declividade menor ou igual a 5 %, NBR 15575-5:2008.

Lanternim • Trecho de telhado sobreposto e afastado das águas, destinado a ventilar e/ou iluminar o ambiente coberto, NBR 15575-5:2008.

Lei de Hooke • Lei que rege o comportamento dos corpos elásticos isótropos cujas deformações são proporcionais às tensões que as produzem, ABCP (1967).

Lei de Hooke generalizada • Lei segundo a qual, nas deformações elásticas muito pequenas, as componentes do estado de tensão num ponto são funções lineares das componentes da deformação nesse ponto. Estas funções são também homogêneas no caso de o estado inicial de referência do corpo ser estado neutro, ABCP (1967).

Levantamento • Atividade que envolve a observação, a mensuração e/ou a quantificação de dados de natureza técnica necessários à execução de serviço técnicos ou obras, CREA-MG (2001).

Limnoria • Ou gribbles, são perfuradores marinhos, conhecidos popularmente como piolhos do mar são crustáceos com capacidade de locomover-se de uma peça de madeira para outra durante o seu ciclo de vida.

Linha de afloramento • Interseção da superfície lateral do poste, estaca, coluna ou pilar com o plano do solo. A linha de afloramento é o limite superior do comprimento de engastamento, NBR 8456:1984.

Locação • Atividade que envolve marcação, por mensuração, do local a ser ocupado por uma obra, instalação ou equipamento, CREA-MG (2001).

Madeira bruta ou roliça • [ingl.: Roundwood] Madeira empregada em forma de tronco para postes, estacas, colunas, cortinas de contenções de solo, escoramentos, etc..

Madeira compensada • Formada pela colagem sobreposta de lâminas finas, dispostas com as direções das fibras alternadamente ortogonais.

Madeira comprimida • [ingl.: Compression wood] Madeira anormal que se forma em um dos lados de uma árvore que cresce inclinada. Apresenta alta densidade, baixa resistência e é considerada uma madeira frágil.

Madeira falqueada • Faces laterais aparadas a machado, formando seções maciças, quadradas ou retangulares, utilizada em estacas, cortinas de contenções de solo, pontes, etc.

Madeira Laminada Colada • Produto estrutural de madeira selecionada cortada em laminas dentre 15mm a 50mm de espessura, coladas sob pressão em prensas pneumáticas, com adesivos especiais, formando elementos estruturais geralmente de seção retangular de vigas, pilares, arcos, etc.

Madeira de inverno • [ingl.: Latewood] A parte mais densa, com células de paredes grossas formadas no segundo ciclo anual de crescimento.

Madeira de verão • [ingl.: Earlywood] A parte menos densa, com células grandes, parte do anel de crescimento formada durante o primeiro ciclo anual de crescimento.

Madeira preservada • A que contém preservativo em quantidade suficiente, de maneira a aumentar significativamente a sua resistência aos agentes biológicos, NBR 8456:1984.

Madeira recomposta • Produtos na forma de placas desenvolvidas a partir de resíduos de madeira em flocos, lamelas ou partículas.

Madeira sã • Madeira cuja estrutura não foi afetada por agentes biológicos, NBR 8456:1984.

Madeira serrada • Produto estrutural de madeira mais usual, sendo cortada em serrarias, geralmente em dimensões comerciais padronizadas.

Mancha • [ingl.: Stain] Descoloração que varia, seja para clara ou escura, e realça em contraste com a cor natural da madeira.

Manual de operação, uso e manutenção • Documento que reúne apropriadamente todas as informações necessárias para orientar as atividades de operação, uso e manutenção da edificação, NBR 5674:1999 e NBR 15575-1:2008. NOTA: Também conhecido como *Manual do proprietário*, quando aplicado para as unidades autônomas, e manual das áreas comuns ou manual do síndico, quando aplicado para as áreas de uso comum, NBR 15575-1:2008.

Manutenção • [do lat.: *Manutentione*] ¹Ato ou efeito de manter(-se). ²Medidas necessárias para a conservação ou a permanência de algo, AURÉLIO (2004). ³Conjunto de atividades a serem realizadas para conservar ou recuperar a capacidade funcional da edificação e de seus sistemas constituintes de atender as necessidades e segurança dos seus usuários, NBR 14037:1998, NBR 5674:1999 e NBR 15575-1:2008.

Manutenibilidade • Grau de facilidade de um sistema, elemento ou componente de ser mantido ou recolocado no estado no qual possa executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sobre condições determinadas, procedimentos e meios prescritos, NBR 15575-1:2008.

Medula • [ingl.: Pith] Parte mais ou menos central do tronco, de pequeno diâmetro, constituída por tecidos menos resistentes do que o tecido que o circunda.

Mensuração • Atividade que envolve a apuração de quantitativos de determinado fenômeno, produto, obra ou serviço técnico num determinado período de tempo, CREA-MG (2001).

Montagem • Atividade que implica no arranjo ou disposição ordenada de peças ou mecanismos de modo a compor um todo a funcionar, CREA-MG (2001).

Mossa • Vestígio de pancada ou pressão, NBR 15575-2:2008.

Necessidades dos usuários • Exigências de segurança, saúde, conforto, adequação ao uso e economia cujo atendimento é condição para realização das atividades previstas no projeto, NBR 5674:1999.

Nó • [ingl.: Knot] A parte de um galho que foi incorporada em uma peça de madeira. Na madeira, os nós são classificados por sua forma, dimensão, qualidade e ocorrência. Em madeiras novas, um nó vermelho significa que o galho estava vivo quando a madeira foi cortada e um nó escuro indica que o galho estava morto no momento do corte da madeira.

Nó cariado • [ingl.: Unsound knot] Nó que se encontra parcialmente deteriorado por agentes biológicos.

Nó de gravata • [ingl.: Spike knot] Conjunto de dois nós de formas alongadas e que convergem para o mesmo ponto na face da peça.

Nó firme • [ingl.: Vight knot] Nó que se mantém firmemente retido na madeira seca.

Nó no poste • Parte inicial de um galho, remanescente no poste, NBR 8456:1984.

Nó solto • [ingl.: Encased knot] Nó que, normalmente, não se mantém retido na madeira e que se apresenta total ou parcialmente envolvido por casca.

Nó vazado • [ingl.: Knot hole] Orifício do nó; Orifício na peça de madeira provocado pela queda de um nó.

Norma de desempenho • Conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para um edifício habitacional e seus sistemas, com base em exigências do usuário, independentemente da sua forma ou dos materiais constituintes, NBR 15575-1:2008.

Norma prescritiva • Conjunto de requisitos e critérios estabelecidos para um produto ou um procedimento específico, com base na consagração do uso ao longo do tempo, NBR 15575-1:2008.

- Operação** • Conjunto de atividades a serem realizadas para controlar o funcionamento de Instalações e equipamentos com a finalidade de criar condições adequadas de uso da edificação, NBR 14037:1998.
- Orçamento** • Atividade que envolve o levantamento de custos de todos os elementos inerentes à execução de determinado empreendimento, CREA-MG (2001).
- Organismos xilófagos** • [do gr.: xylophágos; xylon, madeira e fagus, comer] ¹Inseto que róí madeira e dela se nutre; ²lignívoro, AURÉLIO (2004).
- Orientação técnica** • Atividade que envolve um conjunto de processos traçando diretrizes para dirigir, encaminhar, guiar a obra ou serviço no âmbito da respectiva modalidade profissional, CREA-MG (2001).
- Orifícios de organismos xilófagos** • Aberturas na superfície da madeira, que servem de entrada e saída das galerias de abrigo no interior da madeira, construídas por organismos xilófagos, que variam em tamanho em função da espécie, tais como térmitas, brocas, formigas-carpinteiras, abelhas-carpinteiras, teredos, limnoria, entre outros.
- Orifício de um Nó** • [ingl.: Hole] ¹Orifício é o defeito que se manifesta como abertura da seção aproximadamente circular, originada especialmente pelo desprendimento de um nó, NBR 8456:1984. O orifício de um nó pode se estender parcialmente ou atravessar a peça.
- Padronização** • Atividade que envolve a determinação ou o estabelecimento de características ou parâmetros visando a uniformização de processos ou produtos, CREA-MG (2001).
- Parecer técnico** • Atividade que implica em elaborar uma peça escrita, na qual contenha opinião fundamentada sobre determinado assunto, emitido por profissional habilitado, CREA-MG (2001).
- Patologia** • [do gr.: páthos, doença, e lógos, estudo, tratado Etimologicamente] ¹Estudo das doenças; ²Ramo que se ocupa da natureza e das modificações estruturais e/ou funcionais produzidas por doença, AURÉLIO (2004).
- Patologia das edificações** • O termo inicialmente aplicado à medicina passou a ser utilizado pela engenharia. Patologia das edificações significa o estudo das *doenças* (anomalias ou problemas) do edifício e as alterações anatômicas e funcionais causadas no mesmo.
- Pé-direito** • Distância entre o piso de um andar e o teto desse mesmo andar. Caso o teto ou o piso apresente diferentes níveis, considera-se a menor das distâncias, NBR 15575-1:2008.
- Perícia** • Atividade que envolve a apuração das causas que motivaram determinado evento ou da asserção de direitos, CREA-MG (2001).

Pesquisa • Atividade que envolve a investigação minudente, sistemática e metódica para elucidação ou o conhecimento dos processos técnicos e/ou científicos de determinado fenômeno ou fato, CREA-MG (2001).

Pilar • [ingl.: Timber] Peças de madeira de seção retangular ou quadra.

Planejamento • Atividade que envolve a formulação sistematizada de um conjunto de decisões integrantes, expressa em objetivos e metas e que explicita os meios disponíveis e/ou necessários para alcançá-los, num dado prazo, CREA-MG (2001).

Planejamento dos serviços de manutenção • Elaboração de uma previsão detalhada dos métodos de trabalho, ferramentas e equipamentos necessários, condições especiais de acesso, cronograma de realização e duração dos serviços de manutenção, NBR 5674:1999.

Plano de aplicação de cargas • Plano transversal onde se aplicam as cargas específicas definidas em função do carregamento.

Plano transversal ao poste • Plano normal ao eixo do poste.

Podridão • [ingl.: Decay] decomposição gradual e avançada do tecido lenhoso produzida pela ação geralmente de fungos e/ou bactérias. É caracterizada pela mudança de consistência e coloração. [sin.: cárie; apodrecimento; biodeterioração; biodegradação; decomposição]

Poste • Peça de madeira, de eixo sensivelmente retilíneo, sem emendas, adequada para constituir uma coluna esbelta, engastada verticalmente no solo, e destinada a suportar linhas de transmissão aéreas (eletrificação e/ou telefonia), NBR 8456:1984.

Postes/colunas • [ingl.: Logs] Peças de madeira de seção circular.

Poste preservado • Poste cujo alburno contém preservativo em quantidade suficiente para protegê-lo dos agentes biológicos de deterioração, NBR 8456:1984.

Prazo de garantia • Período de tempo em que é elevada a probabilidade de que eventuais vícios ou defeitos em um sistema, em estado de novo, venham a se manifestar, decorrentes de anomalias que repercutam em desempenho inferior aquele previsto, NBR 15575-1:2008.

Preservativo de madeira • Substâncias ou formulações químicas de composições e características definidas, que deve apresentar as seguintes propriedades, FREITAS (2009): (a) alta toxidez aos organismos xilófagos; (b) alta permeabilidade através dos tecidos lenhosos permeáveis; (c) alto grau de fixidez nos tecidos lenhosos; (d) alta estabilidade química; (e) incorrosividade aos metais; (f) imprejudicabilidade às características físicas e mecânicas da madeira; (g) segurança para manipulação.

Previsão orçamentária • Estimativa do custo para a realização de um programa de manutenção, NBR 5674:1999.

Processo de preservação • Conjunto de operações destinadas a aplicar o preservativo na madeira, resultando numa impregnação adequada dos tecidos lenhosos, sem ocasionar lesões prejudiciais à estrutura das peças, ou alterações sensíveis em suas características físico-mecânicas, NBR 8456:1984.

Produção técnica ou especializada • Atividade que envolve o tratamento e/ou transformação de matéria prima, através de processos técnicos, pelo manuseio ou a utilização de equipamentos, gerando produtos acabados ou semi-acabados, isoladamente ou em série, CREA-MG (2001).

Programação dos serviços de manutenção • Elaboração de um cronograma para a realização dos serviços de manutenção, NBR 5674:1999.

Profilaxia • [do gr.: prophylaxis, precaução] ¹Medidas preventivas contra doenças; ²Emprego de meios para evitar doenças; ³Tratamento Preservativo, AURÉLIO (2004).

Profilaxia das edificações • O termo inicialmente aplicado à medicina passou a ser utilizado pela engenharia. Profilaxia das edificações significa a aplicação de meios tendentes a evitar as anomalias ou problemas (*doenças*) do edifício bem como suas propagações.

Projeto • ¹Descrição gráfica e escrita das características de um serviço ou obra de Engenharia ou de Arquitetura, definindo seus atributos técnicos, econômicos, financeiros e legais, NBR 14037:1998 e a NBR 5674:1999. ² projeto é a atividade necessária à materialização dos meios, através de princípios técnicos e científicos, visando a consecução de um objetivo ou meta, adequando-se aos recursos disponíveis e às alternativas que conduzem à viabilidade da decisão, CREA-MG (2001).

Proprietário • Pessoa física ou jurídica que tem o direito de dispor da edificação, NBR 14037:1998 e NBR 5674:1999.

Protensão / Pré-esforço • ¹Ato ou efeito de protender. ²Processo pelo qual se aplicam tensões prévias ao elemento, AURÉLIO (2004). ³Técnica, baseada na aplicação controlada de forças, destinada a aumentar a resistência de estruturas, PRIBERAM (2012).

Prótese • [do gr.: próthesis, pelo lat. tard. prothese.] ¹Na cirurgia, substituto artificial de um membro, perdida acidentalmente, ou retirada de modo intencional; ²Na medicina, qualquer aparelho que auxilie ou aumente uma função natural; [Sin.: enxerto], ³ Na engenharia, termo que vem sendo utilizado na engenharia de reabilitação de estruturas de madeira, na reconstituição, seja natural ou artificial, de parte de um elemento estrutural.

Protuberância ou nó fechado em um poste • Parte terminal de um galho, remanescente no poste e que não chega a abrir na superfície do mesmo, NBR 8456:1984.

Preservativo de madeira • Substâncias ou formulação química de composição e características definidas, que deve apresentar as seguintes propriedades: alta toxidez aos organismos xilófagos; alta penetrabilidade através dos tecidos lenhosos permeáveis; alto grau de fixidez nos tecidos lenhosos; alta estabilidade química; incorrosividade aos metais; imprejudicabilidade às características físicas e mecânicas da madeira; segurança para manipulação, NBR 8456:1984.

Racha/ Racha anelar • [ingl.: Shake/ Ring shake] ¹Separação dos tecidos lenhosos, ao longo das fibras, predominantemente entre dois anéis anuais de crescimento, NBR 8456:1984, geralmente originária do resultado de defeitos naturais de secagem da madeira. ²[ingl.: Shake] Separação longitudinal da madeira, ASTM D 9-12. ³[ingl.: Ring shake] Racha que ocorre no plano entre anéis de crescimento na camada externa do lenho tardio, parcial ou total da medula, ocasionalmente, movendo-se radialmente até o anel de lenho tardio adjacente, ASTM D 9-12.

Reabilitação • ¹Ato ou efeito de reabilitar, restauração à normalidade, recuperar, restituir, regenerar, reparar, renovar (uma edificação, um bairro antigo). ²da Medicina, restauração à normalidade, ou o mais próximo possível dela, de forma e de função alteradas por um tipo de lesão; ³da Arq. Urb., o conjunto de medidas que visam a restituir a um imóvel ou a um complexo urbanístico a capacidade de utilização, AURÉLIO (2004). ⁵da Eng., restaurar à capacidade de carga original.

Reconstituição • ¹ Ato ou efeito de reconstituir, ² recompor, AURÉLIO (2004), MACHADO et al (2009).

Recuperação • ¹Ato ou efeito de recuperar, ²reabilitar, AURÉLIO (2004).

Reforço • ¹Ato ou efeito de reforçar. ²Material ou peça que se coloca em determinadas partes de uma coisa para aumentar-lhe a resistência, AURÉLIO (2004).

Reparo • Ato ou efeito de reparar, restarção, reforma, conserto, AURÉLIO (2004).

Requisitos de desempenho • Condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam satisfazer as exigências do usuário, NBR 15575-1:2008.

Requisito de resistência e deformabilidade • Apresentar um nível satisfatório de segurança contra a ruína e não apresentar avarias ou deformações excessivas que prejudiquem a funcionalidade do sistema de coberturas (SC) ou dos sistemas contíguos, considerando-se

as combinações de ações passíveis de ocorrerem durante a Vida útil de projeto da edificação, NBR 15575-5:2008.

Requisito de solicitações de montagem ou manutenção • Suportar cargas transmitidas por pessoas e objetos nas fases de montagem ou de manutenção, NBR 15575-5:2008.

Retrofit • Remodelação ou atualização de edificações ou de sistemas, através da incorporação de novas tecnologias e conceitos, normalmente visando valorização do imóvel, mudança de uso, aumento da vida útil e eficiência operacional e energética, NBR 15575-1:2008.

Resina • [ingl.: Pitch] É uma acumulação de material resinoso.

Resiliência • [ingl.: Resilience] ¹ Propriedade pela qual a energia armazenada em um corpo deformado é devolvida quando cessa a tensão causadora de uma deformação elástica, AURÉLIO (2004).

Resistência • Aptidão da matéria em suportar tensões, NBR 7190:2011.

Resistência de embutimento • Aptidão da madeira em suportar solicitações de compressão em pinos embutidos em orifícios da madeira, e é determinada por ensaio específico de embutimento, realizado segundo método padronizado em norma específica de ensaio. Na ausência de determinação experimental específica, permite-se a adoção dos critérios simplificados estabelecidos na NBR 7190:2011.

Resistência nominal de poste (Rn) • Carga que o poste pode suportar sem sofrer deformações permanentes; deve ser considerada como uma força contida no plano de aplicação dos esforços e passando pelo eixo do poste, NBR 8456:1984.

Resistógrafo • Geralmente denominado por Resistograph[®] é um instrumento intrusivo, considerado não destrutivo pela maioria dos pesquisadores, utilizado em inspeções de estruturas de madeira, para avaliar a resistência à perfuração na madeira, através de sondagem interna em uma seção predeterminada.

Restauração • Atividade que implica em recuperar, na parte ou no todo, a obra ou equipamento mantendo as características iniciais, CREA-MG (2001).

Retenção • Quantidade de preservativo, contida de maneira uniforme num determinado volume de madeira, expressa em quilograma de ingrediente ativo de preservativo por metro cúbico de madeira tratável, NBR 8456:1984.

Rigidez • A rigidez dos materiais é medida pelo valor médio do módulo de elasticidade, determinado na fase de comportamento elástico-linear, NBR 7190:2011.

Ruína • Característica do Estado Limite Último (ELU), por ruptura ou por perda de estabilidade ou por deformação excessiva, NBR 15575-2:2008.

- Ruptura** • ¹Desagregação da peça em uma seção transversal, por haver sido ultrapassado o limite de resistência da madeira ou do material em questão. ²quando se atinge a carga máxima de ensaio, é denominada *Carga de Ruptura*, NBR 8456:1984.
- Secagem** • [ingl.: Seasoning] Secagem da madeira a um Teor de umidade adequado para as condições e fins pertinentes para o qual será utilizada, NZFFA (2012).
- Secagem ao ar livre** • [ingl.: Air-dried] Madeira cujo processo de secagem é realizado por exposição ao ar livre em um pátio ou galpão, sem calor artificial, NZFFA (2012).
- Secagem em estufa** • Madeira cujo processo de secagem é realizado em processo de industrialização, com calor artificial, dentro de estufas de secagem.
- Selamento** • Flecha ou deslocamento vertical ocorrido numa viga, numa tesoura ou num pano de telhado, NBR 15575-5:2008.
- Serviço de manutenção** • Intervenção realizada sobre a edificação e suas partes constituintes, com a finalidade de conservar ou recuperar a sua capacidade funcional, NBR 5674:1999.
- Sintomatologia** • Conhecimento de parte da patologia que tem por objeto o estudo dos sintomas que indicam os estados das manifestações patológicas.
- Sinuosidade no poste** • Desvio de direção do poste, medido em um comprimento definido conforme exposto na NBR 8456:1984.
- Sistema** • A maior parte funcional da edificação. Conjunto de elementos e componentes destinados a cumprir com uma macro função que a define (exemplo: fundação, estrutura, vedações verticais, instalações hidro sanitárias, cobertura), NBR 15575-1:2008. Nota: A NBR 15575-2 a e NBR 15575-6 tratam do desempenho de alguns sistemas do edifício, NBR 15575-1:2008.
- Sistema de Categorias de Uso** • O sistema é o mesmo sistema que tinha a denominação de Classe de Risco, que consiste no estabelecimento de seis categorias de uso baseadas nas condições de exposição ou uso da madeira, na expectativa de desempenho do componente e nos possíveis agentes biodeterioradores presentes, e teve essa denominação recentemente trocada no Projeto de Norma da NBR 7190:2011.
- Sistema de Classes de Risco (CR)** • O sistema consiste no estabelecimento de seis Classes de Risco baseadas nas condições de exposição ou uso da madeira, na expectativa de desempenho do componente e nos possíveis agentes biodeterioradores presentes, BRAZOLIN et al (2004).
- Sistema construtivo** • Conjunto de princípios e técnicas da Engenharia e da Arquitetura utilizado para compor um todo capaz de atender aos requisitos funcionais para os quais a

edificação foi projetada, integrando componentes, elementos e instalações, NBR 14037:1998.

Sistema de cobertura (SC) • Cobertura disposta no topo da construção, com as funções de assegurar estanqueidade as águas pluviais e salubridade, proteger demais sistemas do edifício habitacional ou elementos e componentes da deterioração por agentes naturais, e contribuir positivamente para o conforto termo-acústico do edifício habitacional, NBR 15575-5:2008.

Sistema de manutenção • Conjunto de procedimentos organizados para gerenciar os serviços de manutenção, NBR 5674:1999.

Sistema Estrutural • ¹ Estrutura, ²disposições racionais e adequadas de elementos estruturais SÁLES et al (2009), para a composição global de uma determinada estrutura.

Sótão • Espaço ático acessível e passível de utilização pelos usuários do edifício habitacional, NBR 15575-5:2008.

Subcobertura • Manta impermeável aplicada sob o componente telhas, com a finalidade de impedir que pequenas infiltrações de água atinjam o forro ou a laje de cobertura. Nota: Podem ser incorporadas películas reflexivas ou isolantes, com a finalidade de melhorar o desempenho térmico da cobertura, NBR 15575-5:2008.

Supervisão técnica • Atividade de acompanhar, analisar e avaliar, de plano superior, o desempenho dos responsáveis pela execução de programas, projetos ou serviços, CREA-MG (2001).

Sustentabilidade • [ingl.: Sustainability] A definição de sustentabilidade é muito abrangente, ¹simplificadamente é o resultado de produzir bens, com um menor impacto ambiental ajudando assim a preservar os recursos naturais para as gerações futuras; ²implica em obter um mesmo desempenho com um menor consumo de materiais, em menor poluição, transporte e o consumo de recursos naturais, além de favorecer a economia.

Tábuas • [ingl.: Boards] Peças de madeira de seção retangular em que a espessura é menor ou igual a 38mm, sendo que a largura é igual ou superior à 38mm.

Taxa de crescimento [ingl.: Rate of growth] A taxa em que a árvore cresceu. A unidade de medida é o número de anéis de crescimento por polegada (2,5 cm) medidos em uma linha radial representativa no tronco, ou em uma peça de madeira. A taxa de crescimento expressa diretamente a densidade da madeira, CARREIRA (2003). As principais taxas de crescimento são: densa, média e leve.

Taxa de crescimento densa • [ingl.: Dense grain] Para ser considerada como densa a peça de madeira deve ter seis ou mais anéis de crescimento por polegada medidos em uma linha

radial representativa e mais de 1/3 de madeira de inverno. Uma peça de madeira contendo quatro ou mais anéis de crescimento por polegada e mais da metade de madeira de inverno pode ser considerada como densa.

Taxa de crescimento média • [ingl.: Medium grain] Peça de madeira contendo quatro ou mais anéis de crescimento por polegada, medidos em uma linha radial representativa.

Taxa de crescimento leve • [ingl.: Coarse grain] Peça de madeira contendo menos de quatro anéis de crescimento por polegada, medidos em uma linha radial representativa.

Técnica intrusiva • Técnica que produz ação ou efeito de introduzir, AURÉLIO (2004).

Telhado • Elemento constituído pelos componentes telhas, peças complementares e acessórios, e estrutura-suporte, NBR 15575-5:2008.

Telhado de alpendre ou simplesmente alpendre • Telhado constituído ou formado por uma única água, NBR 15575-5:2008.

Telhado de duas águas • Telhado formado por dois planos inclinados que concorrem na linha de cumeeira, NBR 15575-5:2008.

Telhado de quatro águas • Telhado constituído por quatro planos inclinados, todos com forma de triângulos isósceles (formando uma pirâmide), ou dois trapézios com bases menores concorrentes (formando a linha de cumeeira) e dois triângulos opostos cujos lados concorrem com os lados inclinados dos trapézios (formando espigões), NBR 15575-5:2008.

Telhado em arco • Telhado com águas côncavas, geralmente com forma de parábola, NBR 15575-5:2008.

Telheiro • Telhado com uma única água, NBR 15575-5:2008.

Teredinidae • [ingl.: Shipworms] [do lat.: cient. Teredin- (< tax. Teredo < lat. teredo, inis, ‘caruncho’) + -ídeo¹; tax. Teredinidae.] ¹O gênero-tipo dos teredinídeos. ²Qualquer espécie desse gênero, três das quais se conhecem no Brasil; moluscos que têm um aspecto vermiforme e numa das extremidades duas pequenas valvas com sulcos providos de dentes. Com eles, em movimento rotatório, cava galerias em madeira submersa, com a qual se alimenta, causando prejuízos de monta às embarcações de madeira, e aos embarcadouros e cais, AURÉLIO (2004).

Térmita • [Do lat. tard. termite < lat. tarmes, itis, ‘verme’.] Ver cupim, AURÉLIO (2004).

Tesoura • Elemento apoiado sobre pilares ou paredes, funcionando como sustentação da trama, NBR 15575-5:2008.

Teto • Superfície horizontal ou inclinada que delimita internamente a parte superior de um cômodo ou de uma edificação, NBR 15575-5:2008.

Topo • Seção, transversal extrema da parte superior de poste, estacas, colunas, etc. excluído o chanfro ou bisel, NBR 8456:1984.

Torcimento • [ingl.: Twist] É definido como uma combinação de empenamentos em relação aos eixos de maior e de menor inércia da peça de madeira em forma espiralada.

Trama • Conjunto integrado pelas terças, caibros e ripas, NBR 15575-5:2008.

Tratamento preservativo • Tratamento a que se submete o poste ou madeira com substâncias letais aos agentes biológicos de degradação, visando a proteção da peça, NBR 8456:1984.

Teor de umidade • O teor de umidade correspondente ao mínimo de água livre e ao máximo de água de impregnação é denominado de *Ponto de Saturação das Fibras*. Para as madeiras brasileiras esta umidade encontra-se em torno de 25%. A perda de água na madeira até o ponto de saturação das fibras se dá sem a ocorrência de problemas para a estrutura da madeira. A partir deste ponto a perda de umidade é acompanhada pela retração (redução das dimensões) e aumento da resistência, por isso a secagem deve ser executada com cuidado para se evitarem problemas na madeira, DIAS et al (2005). É importante destacar ainda que a umidade apresenta grande influência na densidade da madeira. Para fins de aplicação estrutural da madeira e para classificação de espécies, a norma brasileira especifica a umidade de 12% como de referência para a realização de ensaios e valores de resistência nos cálculos. E o risco de biodeterioração depende do Teor de umidade da madeira e da duração do período de umidificação, NBR 7190:1997.

Uso • Atividades normais projetadas para serem realizadas pelos usuários dentro das condições ambientais adequadas criadas pela edificação, NBR 14037:1998.

Usina de preservação • Unidade industrial dotada de autoclave, tanques e bombas de vácuo e pressão destinada ao tratamento preservativo das madeiras, NBR 8456:1984.

Usuário • Pessoa física ou jurídica, ocupante permanente ou não permanente da edificação, NBR 14037:1998 e NBR 5674:1999.

Valor nominal de uma grandeza • Valor dessa grandeza indicada e garantida pelo fornecedor, NBR 8456:1984.

Veio • Disposição em direção longitudinal dos elementos constitutivos da madeira. Pode ser expresso como veio reto, inclinado, entrelaçado, etc., NBR 8456:1984.

Veio inclinado em poste • Veio que se desvia da direção longitudinal do poste, NBR 8456:1984.

Vida útil (VU) • ¹ Segundo as normas NBR 5674:1999 e NBR 14037:1998 é o intervalo de tempo ao longo do qual a edificação e suas partes constituintes atendem aos requisitos

funcionais para os quais foram projetadas, obedecidos os planos de operação, uso e manutenção previstos. ² Segundo a NBR 6118:2003 é período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas, desde que atendidos os requisitos de uso e manutenção prescritos pelo projetista e pelo construtor, bem como de execução dos reparos necessários decorrentes de danos acidentais. ³ Período de tempo no qual o produto (estrutura, revestimento, etc.) mantêm certas características mínimas de segurança, estética, estabilidade e funcionalidade, sem necessidade de intervenção não prevista. ⁴ Segundo a NBR 15575-1:2008 é o período de tempo durante o qual o edifício ou seus sistemas mantêm o desempenho esperado, quando submetido as atividades de manutenção predefinidas em projeto.

Vida útil de projeto (VUP) • Vida útil requerida para o edifício ou para seus sistemas, preestabelecida na etapa de projeto. Período estimado de tempo em que um sistema é projetado para atender aos requisitos de desempenho estabelecido pela NBR 15575-1:2008, desde que cumprido o programa de manutenção previsto no manual de operação, uso e manutenção.

Vida útil requerida (VUR) • É a Vida útil definida para atender as exigências do usuário (a ser estabelecida em projeto ou em especificações de desempenho), NBR 15575-1:2008.

Vigas / Longarinas • [ingl.: Beams / Stringers] Peças madeira de seção retangular com espessura igual a 114mm e tendo altura igual ou superior a 165mm. Estas peças são classificadas para resistirem a esforço de flexão em relação ao eixo de maior inércia.

Vistoria • Atividade que envolve a constatação de um fato, mediante exame circunstanciado e descrição minuciosa dos elementos que constituem, sem a indagação das causas que o motivaram, CREA-MG (2001).

Vistoria cadastral • Vistoria de referência na qual são adotados os principais elementos para a segurança e durabilidade da obra. A vistoria cadastral é complementada com o levantamento dos principais documentos e informes construtivos, NBR 9452:1986.

Vistoria especial • Vistoria pormenorizada da obra, visual e/ou instrumental, realizada por engenheiro especialista com a finalidade de interpretar e avaliar ocorrências danosas detectadas pela vistoria rotineira, , NBR 9452:1986.

Vistoria rotineira • Vistoria destinada a manter o cadastro da obra atualizado, devendo ser realizada a intervalos de tempo regulares, não superiores a um ano, e também aquela motivada por ocorrências excepcionais, NBR 9452:1986.

9 APÊNDICE A - FICHAS TÉCNICAS DE PESQUISAS EM CAMPO: ESTUDOS DE CASOS COM INSPEÇÕES NÃO DESTRUTIVAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA

Em função da dedicação do Autor durante a realização desse trabalho, em considerável tempo com pesquisas em inspeções *em campo*, em avaliações de elementos estruturais em estruturas de madeira, e na elaboração de relatórios, vistorias e laudos, considerou prudente elaborar de uma base de dados de fichas técnicas, optando-se em anexar os principais tipos de manifestações patológicas detectadas durante as inspeções, nesse apêndice uma vez que sua elaboração também foi requisito como parte de contribuição do Autor nos objetivos desse trabalho.

Esse apêndice tem por finalidade apresentar uma catalogação sucinta, mas de forma sistematizada das diversas informações de estudos de casos, obtidos durante as pesquisas *em campo*, nas visitas técnicas em inspeções realizadas no período de dedicação desse trabalho, para avaliações e identificações de manifestações patológicas em elementos estruturais de madeira. Para as avaliações das inspeções visuais, foram registradas imagens digitais (fotos digitais) de alta resolução para elaborações de relatórios técnicos, e confecção das *Fichas Técnicas* com exemplos de sintomas de manifestações patológicas em estruturas de madeira. As confecções das *Fichas Técnicas* demonstram os principais tipos de patologias em estruturas de madeira, e na maioria dos casos tem a finalidade de indicar as principais causas, sintomatologias e prevenções, para os diversos sistemas estruturais de madeira pesquisados e avaliados pelo Autor em visitas técnicas *in loco* pela *Técnica de Inspeção Visual Geral* e em casos específicos, quando acessível e/ou necessária, pela *Técnica de Inspeção Visual Detalhada*. Todas as inspeções realizadas pelas *Técnicas de Inspeção Visual Geral e/ou Detalhada*, foram realizadas e documentadas com registros de imagens digitais de alta resolução, e os arquivos foram armazenados em cópias gravadas em CD's, DVD's, e cartões de memórias SD's e micro SD's e discos rígidos HD's.

Os estudos de casos com técnicas não destrutivas (NDT), em estruturas de madeira, apresentadas nesse apêndice, validam em tese a eficiência da metodologia de inspeções não destrutivas proposta pelo Autor. Na sequência são apresentados os principais *Estudos de Caso*, realizados *in loco* que podem ilustrar aplicações de metodologia de inspeções para avaliações dos elementos estruturais de madeira:

- ✓ 9.1 Estudo de caso: Coberturas do Ginásio São Carlos Clube, em São Carlos – SP;
- ✓ 9.2 Estudo de caso: Passarela Pênsil de Piracicaba, Piracicaba – SP;
- ✓ 9.3 Estudo de caso: Ponte “01” Campus II EESC/USP, em São Carlos – SP;
- ✓ 9.4 Estudo de caso: Ponte “02” Campus II EESC/USP, em São Carlos – SP;
- ✓ 9.5 Estudo de caso: Ponte “03” Campus II EESC/USP, em São Carlos – SP;
- ✓ 9.6 Estudo de caso: Ponte “04” Campus II EESC/USP, em São Carlos – SP;
- ✓ 9.7 Estudo de caso: Ponte Monjolinho (Jockey Clube), em São Carlos – SP;
- ✓ 9.8 Estudo de caso: Ponte Batalha, em Paracatu – MG;
- ✓ 9.9 Estudo de caso: Coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis – SC;
- ✓ 9.10 Estudo de caso: Ponte Fazenda Yolanda, em São Carlos – SP;
- ✓ 9.11 Estudo de caso: Pergolado “Falsa grelha” com vigas MLC;
- ✓ 9.12 Estudo de caso: Cobertura lamelar de galpão industrial, em Boituva – SP;
- ✓ 9.13 Estudo de caso: Cobertura de Arcos de Madeira Laminada Pregada MLP – Sul, em Votuporanga – SP;
- ✓ 9.14 Estudo de caso: Cobertura de Arcos de Madeira Laminada Pregada MLP – Norte, em Votuporanga – SP;
- ✓ 9.15 Estudo de caso: Passarela Estaiada Com tabuleiro Curvo de Madeira Protendida do LaMEM/SET/EESC/USP, em São Carlos – SP;

Nesse trabalho, empregou-se maior ênfase em 9.2 no *Estudo de caso* específico da *Passarela Pênsil de Piracicaba*, destacando-se como contribuições originais: a *Metodologia de Inspeção* e das *Técnicas de Reabilitações* utilizadas nas intervenções das propostas avaliadas pelo Autor, para reabilitação dessa estrutura de grande porte.

Tabela 9.2. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas do Ginásio São Carlos Club (cont.)





Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 90% das terças das arquibancadas apresentavam características visuais de instabilidade por flambagem lateral, pois a seção transversal não atendia às dimensões mínimas em função do vão e do carregamento, conforme critérios de cálculo recomendados pela NBR 7190: 1997. ✓ Manchas de umidade na madeira evidenciam características visuais de infiltrações de águas pluviais; ✓ Deteriorações por vandalismo no compensado do sistema composto da viga caixão V7. 	
<p>Fontes: BRITO e CALIL JR. (2012)a</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Base do Arco 5 com manchas de umidade na madeira, com características visuais de infiltrações de águas pluviais; ✓ Armaduras dos estribos do pilarete de concreto-armado, para fixação da base do sistema do Arco 5 com características visuais de início de corrosão superficial. 	
<p>Fonte: BRITO et al (2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Armaduras dos estribos do topo do pilarete de concreto-armado, para fixação da base do sistema do Arco 6 com características visuais de início de corrosão superficial, oriunda da ineficiência e inexistência do cobrimento de concreto em algumas regiões. ✓ Foram identificados dois orifícios com características visuais de ataque por brocas-de-madeira na base do Arco 6. 	
<p>Fonte: BRITO et al (2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Detalhe dos dois orifícios com características visuais de ataque por brocas-de-madeira, na base do Arco 6. Nesses casos, é sempre recomendado observar o acúmulo de detritos (fezes) nos túneis, ou nas proximidades. ✓ Manchas de corrosão química na madeira. ✓ Armaduras dos estribos do topo do pilarete de concreto-armado, com características visuais de início de corrosão superficial. 	
<p>Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)h</p>	

Tabela 9.3. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas do Ginásio São Carlos Club (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Viga caixão inclinada V2 com manutenções inadequadas nas substituições de compensados inadequados, ineficiente pregados, sem a capacidade resistente suficiente para recompor a rigidez do sistema tipo caixão original; ✓ Todas as vigas inclinadas de madeira de seção composta tipo caixão, das coberturas das arquibancadas, visualmente apresentavam acentuados arqueamentos referentes às flechas de fluência (flechas diferidas ao longo do tempo), como pode ser observado no exemplo da viga V2. 	
<p>Fonte: BRITO e CALIL JR. (2012)a</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Viga caixão V2 desmontada com flecha de fluência visualmente perceptível (continuação); ✓ Manchas de umidade e biodeterioração por fungo na região da ligação inferior, com características visuais de ataque de fungo de podridão branca; ✓ Manchas de corrosão química na madeira. 	
<p>Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)h</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Deformações visíveis na viga caixão V10, com o mesmo caso de manutenções inadequadas ineficientes nas substituições de compensados. ✓ Viga caixão V10, também com flecha de fluência visualmente perceptível. ✓ Trinca no topo do pilar de concreto, na região de apoio da viga caixão V10. 	
<p>Fonte: BRITO e CALIL JR. (2012)a</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Regiões de topo de pilares de concreto, de apoio das vigas caixão inclinadas das coberturas das arquibancadas, apresentavam trincas de cisalhamento no concreto, com características visuais oriundas das deformações das vigas. 	
<p>Fonte: BRITO e CALIL JR. (2012)a</p>	

Tabela 9.4. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas do Ginásio São Carlos Club (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Diversos estribos metálicos nas quatro extremidades dos dois Arcos externos apresentavam rupturas e sinais de estágios avançados de corrosão, oriundas de urina e excrementos fecais de morcegos, que utilizavam o sistema caixão como abrigo; ✓ Características visuais de fungos manchadores e emboloradores. 	
<p>Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)h</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foi removido abrigo com caixa de vespas na região interna do Arco A7. ✓ Corrosão nos estribos, oriundas de urina e excrementos fecais de morcegos; ✓ Biodeterioração por fungos apodrecedores nas extremidades das peças de madeira da base do Arco A7. 	
<p>Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)h</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na base do Arco 7, foram detectados pelo teste de picoteamento, biodeterioração por fungos, com aspectos visuais de fungo de podridão parda, que em função das suas características visuais assemelha-se a madeira carbonizada. ✓ Foram detectados excreções fecais de morcegos; ✓ As barras metálicas dos estribos de ancoragem do Arco 7 apresentavam sinais de corrosão superficial. 	
<p>Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)h</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ruptura em ponto localizado no meio do vão da viga V5 inclinada, de seção composta de madeira e compensado, que também passou por manutenção inadequada, na substituição de compensados ineficientes, que foi o motivo chave na contratação do LaMEM para realização das inspeções. Nesse ponto a viga encontrava-se com características visuais de fungos apodrecedores. ✓ As terças vizinhas apresentavam sinais visíveis de manchas de umidade, com diferença de coloração na madeira, que evidenciam infiltrações de águas pluviais nas regiões de fixação dos parafusos das telhas de fibrocimento na terça. 	
<p>Fontes: CALIL et al (2011); BRITO et al (2012)</p>	

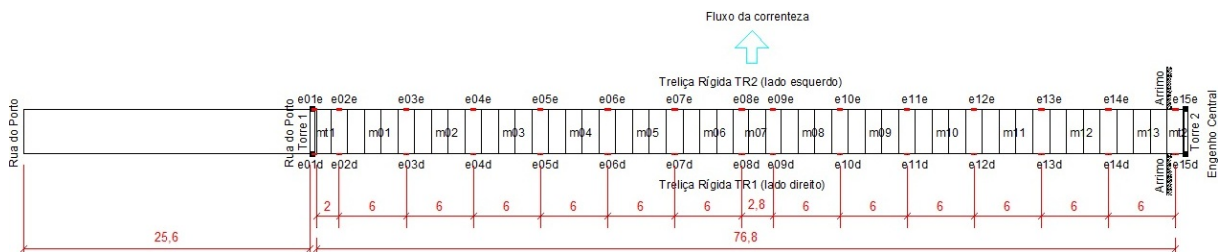
Tabela 9.5. Intervenções: Reabilitações e reforços nas coberturas do Ginásio São Carlos Club (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>✓ Reabilitação da base do Arco 7, com substituição parcial de peças de madeira e reforço com barras de aço passantes, arruelas e porcas.</p> <p>Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)h</p>	
<p>✓ Intervenção do sistema de vigas inclinadas da cobertura, com substituição de todas as vigas por vigas de Madeira Laminada Colada (MLC). (Proposta técnica de BRITO 2011 em CALIL et al (2011).</p> <p>Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)h</p>	
<p>✓ Intervenção na substituição das telhas de fibrocimento do telhado antigo, por telhas de aço galvanizado, com dupla camada tipo sanduíche.</p> <p>Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)h</p>	
<p>✓ Manutenção, pintura das terças e dos arcos, e fixação das telhas de aço galvanizadas do novo sistema de cobertura sobre a quadra poliesportiva do ginásio.</p> <p>Fonte: BRITO e CALIL JR. (2013)h</p>	

9.2 Passarela Pênsil de Piracicaba

Tabela 9.6. Inspeções (NDT) na Passarela Pênsil de Piracicaba “3 Anos de Acompanhamento” (cont.)

Descrição “Visitas Técnicas em Campo”	Técnicas de Inspeções
<p>Localização: Piracicaba Coordenadas GPS: 22°43'05,82”S; 47°39'16,63”W, 475m de Alt. Data de inauguração: 15 de dezembro de 1992, Piracicaba.sp.gov Tipo de uso: Passarela de Pedestres Sistema Estrutural: Passarela Pênsil Vão Livre: 76,8 m Espécie: Eucalyptus citriodora Tratamento Preservativo: CCA Finalidades das inspeções: Inspeções periódicas, para avaliações, e proposta de reabilitação dos elementos estruturais de madeira Tipos de Inspeções: Pré-inspeção; Nível 1 (Geral) e Nível 2 (Det.) Classe de Prioridade de Intervenção Geral: ● Classe vermelha Visitas Técnicas: de 12 de dezembro de 2011 a 27 de junho de 2014 Qtde. de fotos arquivadas (CD’s/DVD’s/SD’s): 4365 fotos Elementos inspecionados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aparelhos de suspensão (cabos, pendurais e ancoragens); ✓ Torres metálicas; ✓ Guarda-corpos metálicos; ✓ Elementos das treliças de madeira e ligações; ✓ Transversinas de madeira (inferiores e superiores) ✓ Diagonais de contraventamentos de madeira ✓ Peças de madeira do tabuleiro; ✓ Vigas de madeira da rampa (trecho simplesmente apoiado); ✓ Avaliação superficial dos Pilaretes, vigas de travamento e viga principal da rampa de acesso em Concreto Armado. 	<p>Metodologias das avaliações “<i>in loco</i>”:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Inspeção Visual Geral e Detalhada; ✓ Sondagens internas com testes à percussão; ✓ Sondagens sup. com testes ao Puncionamento; ✓ Sondagens sup. com testes de Picoteamento; ✓ Levantamento de flechas nas treliças com sistema de topografia. <p>Metodologias das avaliações em Laboratório:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Avaliações de levantamentos históricos; ✓ Análises de dados das inspeções; ✓ Análises visuais das fotos; ✓ Elaborações de desenhos via CAD; ✓ Avaliações das documentações, publicações e projetos existentes; ✓ Registros de documentos e fotos; ✓ Elaborações de relatórios. <p>Simbologias das nomenclaturas das peças:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ ID (identificação); m (módulo); M (Montante); ✓ TS (Transversina Superior); TI (Transversina Inferior); D (diagonal da Treliça); C (Contraventamento Lateral); Nó (Nó de ligação de treliça); TR1 (Treliça principal 1 à montante); TR2 (Treliça principal 2 à jusante).



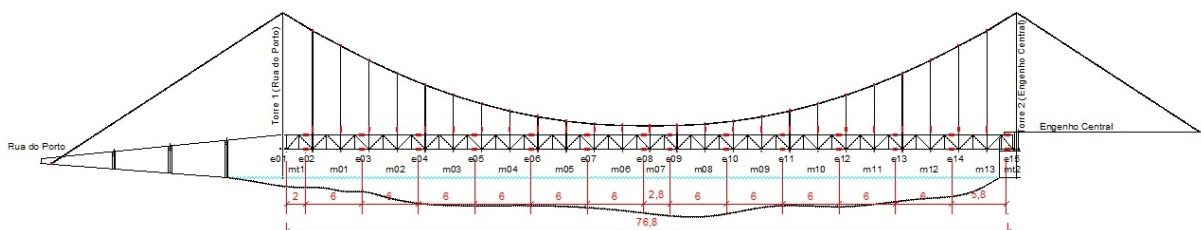
Esquema unifilar em planta da passarela pênsil: posição das treliças de rigidez, numeração dos módulos [M] e numeração das ligações das emendas [E] dos módulos. BRITO (2011)

Legenda:

- [mt1] representa o módulo na torre 1;
- [mt2] representa o módulo na torre 2;
- [mXX] representa a numeração dos módulos;
- [eXX] representa a numeração das ligações de emendas entre os módulos;
- [eXXe] representa a numeração das ligações de emendas entre os módulos do lado esquerdo (TR2);
- [eXXd] representa a numeração das ligações de emendas entre os módulos do lado direito (TR1).

Observações:

- as cotas estão em metros;
- lado esquerdo no sentido da rua do Porto ao Engenho (a jusante do rio);
- lado direito no sentido da rua do Porto ao Engenho (a montante do rio).



Esquema unifilar em elevação da passarela pênsil: numeração dos módulos [mXX] e posição das numerações das ligações das emendas [eXX] dos módulos. BRITO (2011)

Tabela 9.7. Inspeções (NDT) na Passarela Pênsil de Piracicaba “3 Anos de Acompanhamento” (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <p>✓ No ponto de ancoragem dos cabos principais de suspensão da TR1, no lado do “Engenho Central”, apresentavam acúmulo de água, o que pode favorecer ao potencial risco de degradação por envelhecimento precoce dos elementos estruturais, em função da umidade permanente, tanto na corrosão do aço, quanto na despassivação do concreto do bloco de ancoragem, ao longo do tempo, BRITO e CALIL JR. (2012)b.</p> <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ No ponto de ancoragem dos cabos principais de suspensão da TR2, no lado do “Engenho Central”, também apresentavam acúmulo de água, o que pode favorecer ao potencial risco de degradação por envelhecimento precoce dos elementos estruturais, em função da umidade permanente, tanto na corrosão do aço, quanto na despassivação do concreto do bloco de ancoragem, ao longo do tempo, BRITO e CALIL JR. (2012)b.</p> <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Nas regiões dos sistemas de ancoragens dos cabos principais de suspensão por intermédio de superlaços da TR1, no lado do “Engenho Central”, apresentavam acúmulo de pedras britadas, o que tende a causar degradação por envelhecimento precoce dos elementos estruturais, em função da umidade permanente, principalmente na tendência à corrosão do aço, BRITO e CALIL JR. (2013)a.</p> <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Nas regiões dos sistemas de ancoragens dos cabos principais de suspensão por intermédio de superlaços da TR2, no lado do “Engenho Central”, também apresentavam acúmulo de pedras britadas, o que tende a causar degradação por envelhecimento precoce dos elementos estruturais, em função da umidade permanente, principalmente na tendência à corrosão do aço, BRITO e CALIL JR. (2013)a.</p> <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	

Tabela 9.8. Inspeções (NDT) na Passarela Pênsil de Piracicaba “3 Anos de Acompanhamento” (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <p>✓ No ponto de ancoragem dos cabos principais de suspensão da TR1, no lado da “Rua do Porto”, estava inacessível à inspeção com acúmulo de água, entulhos e muito lixo, o que pode favorecer ao potencial risco de degradação por envelhecimento precoce dos elementos estruturais, em função da umidade permanente, tanto na corrosão do aço, quanto na despassivação do concreto do bloco de ancoragem, ao longo do tempo. Para isso foi recomendada limpeza e manutenção adequada nessa região.</p> <p>Foto: BRITO (Inspeções Detalhadas em 08/04/2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ No ponto de ancoragem dos cabos principais de suspensão da TR2, no lado da “Rua do Porto”, também estava inacessível com acúmulo de água, entulhos e muito lixo, o que pode favorecer ao potencial risco de degradação por envelhecimento precoce dos elementos estruturais, em função da umidade permanente, tanto na corrosão do aço, quanto na despassivação do concreto do bloco de ancoragem, ao longo do tempo.</p> <p>Foto: BRITO (Inspeções Detalhadas em 08/04/2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Nas regiões dos sistemas de ancoragens dos cabos principais de suspensão por intermédio de superlaços da TR1, no lado da “Rua do Porto”, além de acúmulo de pedras britas, também apresentavam entulhos, solo, vegetações, e folhas em processo de biodeterioração, o que tende a acelerar a deterioração por envelhecimento precoce dos elementos estruturais, em função da umidade permanente, principalmente na tendência à corrosão do aço, BRITO e CALIL JR. (2012)b.</p> <p>Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Nas regiões dos sistemas de ancoragens dos cabos principais de suspensão por intermédio de superlaços da TR2, no lado da “Rua do Porto”, também apresentavam além de acúmulo de pedras britadas, entulhos, solo, vegetações, e folhas em processo de biodeterioração, o que tende a acelerar a deterioração por envelhecimento precoce dos elementos estruturais, em função da umidade permanente, principalmente na tendência à corrosão do aço, BRITO e CALIL JR. (2012)b.</p> <p>Foto: BRITO (2011)</p>	

Tabela 9.9. Inspeções (NDT) na Passarela Pênsil de Piracicaba “3 Anos de Acompanhamento” (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pontos localizados de corrosão superficial em toda a extensão das torres metálicas, nas regiões dos apoios, nas placas de base engastadas sobre os blocos de concreto, nas regiões no nível do tabuleiro, nas extremidades da transversina, e nas treliças das torres, BRITO e CALIL JR. (2012)b. <p>Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Devido ao acúmulo de sujeira e entulho sobre as placas de base dos pilares da torre 2 (Lado do Engenho Central), não foi possível verificar o estado de condições das mesmas, na primeira inspeção em 12 de dezembro de 2011, BRITO e CALIL JR. (2012)b. <p>Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pontos com sinais de corrosão na extremidade da transversina metálica inferior da torre, no lado da “Rua do Porto”; ✓ Ausência de manutenções preventivas de pinturas dos elementos metálicos, BRITO e CALIL JR. (2013)a. <p>Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ausência de lubrificação dos cabos de aço; ✓ Manchas devido ausência de lubrificação e sinais acentuados de corrosão nos capuz (elementos de posicionamento dos cabos), sobre os cabos de aço nos apoios dos topos das torres, BRITO e CALIL JR. (2012)b. <p>Foto: BRITO (2011)</p>	

Tabela 9.10. Inspeções (NDT) na Passarela Pênsil de Piracicaba “3 Anos de Acompanhamento” (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ O indício de corrosão nas placas de base, parafusos e porcas, do lado do “Engenho Central”, pode ser verificado somente na inspeção de 9 de agosto de 2013, após a remoção do entulho ao lado do “Engenho Central”. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2013)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ausência de manutenção e pintura, e vandalismo; ✓ Diversas barras de aço dos pendurais, apresentam pontos com corrosão superficial, ao longo das barras, nas regiões de extremidades de ancoragens e nas porcas de fixação dos pendurais no banzo inferior da treliça, além de ausências da segunda porca de travamento (contra porca), em alguns casos, BRITO e CALIL JR. (2012)b. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ausência de manutenção e pintura; ✓ Pontos de corrosão nas estruturas dos guarda-corpos metálicos, principalmente na região inferior e placas de base de ligação com o tabuleiro, devido ao sistema construtivo utilizado que favorece o acúmulo de umidade; ✓ Também foram observadas corrosões em diversos parafusos de fixação dos guarda corpos nas peças de madeira do tabuleiro, BRITO e CALIL JR. (2013)a. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ausência de manutenção e pintura, e vandalismo; ✓ Em algumas regiões as telas de proteção dos guarda-corpos estão soltas, BRITO e CALIL JR. (2013)a. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	

Tabela 9.11. Inspeções (NDT) na Passarela Pênsil de Piracicaba “3 Anos de Acompanhamento” (cont.)





Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Regiões na madeira com umidade saturada e depressões acentuadas, com características visuais de alto nível de biodeterioração por fungo apodrecedor, na região central da diagonal de contraventamento C8, contraventada com a Treliça TR2 no Módulo m13. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Nas proximidades do “Engenho Central”, onde existe uma área de preservação permanente, em que a biodiversidade de espécies de microorganismos é intensa, foram detectados a maior quantidade de pontos de biodeterioração em peças de madeira serrada de Eucalyptus citriodora Tratadas com CCA; ✓ Começando pelo exemplo do nó de ligação M4xC8xTI4 com do sistema de contraventamento com o banzo inferior da Treliça TR2 no Módulo m13, foi possível visualizar acúmulo de sujeira, camadas de musgo esverdeadas, hifas esbranquiçadas e alto nível de biodeterioração da madeira por fungos apodrecedores. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ O crescimento de plantas e/ou musgos esverdeados ou escuros em fendas, rachas, fissuras, ou acumulações de solo, folhas em processo de biodecomposição, sobre elementos estruturais, são indicativos de que a madeira adjacente á região de apoio, possa estar com teor de umidade relativamente elevado, e sem a atenção devida, favorecem ao Alto Potencial de Risco de Biodeterioração por apodrecimento, quando expostas por um longo período de tempo. A exemplo tem-se o nó de ligação m13-TR2-M3-C3, com início de processo de biodeterioração da madeira por fungos apodrecedores, e cuja montante também apresentam hifas esbranquiçadas. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ausência de manutenção, ausência de pintura de proteção superficial, e acúmulo de sujeira são as principais causas da biodeterioração da madeira. ✓ Deterioração por fungos apodrecedores no nó de ligação M4xC7xTI4 módulo m13 no lado da treliça TR1, detectados pela inspeção visual detalhada e testes de picoteamento. ✓ Corrosão dos elementos metálicos de ligações. ✓ As Montantes M3 e M4 apresentavam indicio de biodeterioração por fungos apodrecedores. ✓ Transversina Inferior TI4 apresentava biodeterioração por fungos apodrecedores nas extremidades. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	

Tabela 9.12. Inspeções (NDT) na Passarela Pênsil de Piracicaba “3 Anos de Acompanhamento” (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foram detectados ataque de térmitas-subterrâneas da superfície da madeira e túneis de barro (cavernas tubulares), para transportar a madeira, e para os protegerem da luz e da umidade, em peças de madeira do tabuleiro na região da transversina superior TS2 do módulo m13 nas proximidades do “Engenho Central”. ✓ As peças do tabuleiro da camada inferior e na região da superior de transversina TS2, também apresentavam biodeterioração por fungos apodrecedores, detectadas pelos testes de picoteamento e puncionamento. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Manchas de musgo esverdeado devido a gotejamentos de águas pluviais sobre a diagonal; ✓ Presença de proliferação de hifas esbranquiçadas nessa região; ✓ Na Transversina Superior TS3, nas proximidades da Treliça TR2, no módulo m12, apresentava de deterioração por fungos apodrecedores, detectadas pelas técnicas de percussão, puncionamento, picoteamento, na parte superior, limitada pelas expressivas fendas longitudinais paralelas às fibras. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Transversina inferior TI4 no módulo 12 apresentava fendilhamentos paralelas às fibras na ligação TI4xC7xM4xTR1 com a montante M4 da treliça TR1 no módulo m12, e depressões de fungos apodrecedores. ✓ Diagonal do sistema de contraventamento C7 no módulo m12 apresentava fenda paralela às fibras, oriundas de defeito natural e depressões de fungos apodrecedores. ✓ Montante M3 interna apresenta fissuras e regiões com indicio de deterioração. ✓ Emenda e13d tinham parafusos soltos. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Manchas de musgo esverdeado devido às infiltrações e gotejamentos de águas pluviais sobre a diagonal; ✓ Mesa da diagonal D2 da Treliça TR2 no módulo m12 com expressivos fendilhamentos paralelas às fibras, na linha de fixação com pregos (foto ao lado). ✓ Patologia semelhante a essa, com fenda longitudinal paralela às fibras foi detectada também na Mesa da diagonal D2 da Treliça TR2 no módulo m9. 	

Foto: BRITO (2011)

Foto: BRITO (2011)

Foto: BRITO (2011)

Foto: BRITO (2011)

Tabela 9.13. Inspeções (NDT) na Passarela Pênsil de Piracicaba “3 Anos de Acompanhamento” (cont.)





Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foram detectadas fendas longitudinais paralelas às fibras na diagonal do sistema de contraventamento lateral C7 com a treliça TR1 do módulo m9, e com sintomatologia de fungos apodrecedores; ✓ Ainda no nó de ligação m9-C7-TR1 do módulo 9, foi possível visualizar as camadas de musgo esverdeadas e o início do processo de biodeterioração da madeira por fungos apodrecedores, além do acúmulo de sujeira artificial no nó. ✓ Transversina Inferior TI1 e TI4 apresentavam pontos de biodeterioração próximos aos apoios. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ A camada inferior do tabuleiro e a Transversina TS4 no módulo m3 apresentavam, sinais acentuados musgos esverdeados, hifas esbranquiçadas, biodeterioração por fungos apodrecedores e colônia de brocas; ✓ Parafusos e porcas apresentam sinais de corrosão na ligação dos sistemas de contraventamento no nó C8xTS4xC7. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ A Transversina inferior TI4 apresentava fenda paralelas às fibras, oriunda de defeito natural da madeira, próxima a ligação TI4xC7xM4xTR1, e parafusos com corrosão; ✓ A Diagonal de contraventamento apresentava fendilhamento paralelo às fibras, próximo à ligação TI4xC7xM4xTR1 da Treliça TR1 no módulo m3; ✓ Emenda e04d na cobrejunta interna tem indício de biodeterioração; ✓ As peças do tabuleiro inferior apresentam indício de deterioração por fungos apodrecedores. <p style="text-align: right;">Fonte: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Manchas de musgos esverdeados devido às infiltrações e gotejamentos de águas pluviais sobre a diagonal; ✓ Características visuais de fungo apodrecedor acentuada no nó C6xTI3xM3 do contraventamento C6 com a treliça TR2 do módulo m3. Podendo associar que os pontos mais intensos de biodeterioração dessa ponte foram as regiões de extremidades, onde prevalecem a biodiversidade de microorganismos naturais da vegetação presente. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	

Tabela 9.14. Inspeções (NDT) na Passarela Pênsil de Piracicaba “3 Anos de Acompanhamento” (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Acúmulo de lixo artificial no nó TI1xC1xTR1 da Trelça TR1 no Módulo m2. ✓ Chapa do pendural, próxima ao montante M1 do módulo m2 encontra-se fora de posição. ✓ Exemplo de corrosão visualmente superficial nas extremidades dos pendurais, em função da ausência de manutenções periódicas preventivas de pinturas. 	
<p>Fonte: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Mesa superior da diagonal D2 da trelça TR2 no módulo m2 apresentava acentuado nível de biodeterioração por fungos apodrecedores, e manchas com características visuais de fungos emboloradores sobre a diagonal. 	
<p>Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na base da diagonal do sistema de contraventamento C6 apresentava fenda paralela às fibras, oriunda de defeito natural, na ligação com o montante M3 com a Trelça TR2 no módulo m2. ✓ Observa-se manchas de musgos esverdeados devido às infiltrações e gotejamentos de águas pluviais sobre a diagonal. ✓ A susceptibilidade à biodeterioração por apodrecimento em regiões de ligações é maior, pois os furos dos conectores são geralmente furados “in loco”, removendo o tratamento preservativo, e geralmente não são adequadamente tratados com preservativos após confeccionados. 	
<p>Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Nas proximidades da “Rua do Porto” onde existe arborização, porém em menor intensidade, também foram detectadas alguns pontos de deterioração, porém em menor nível que o da região do “Engenho Central”. Como exemplo, as características visuais de fungo apodrecedor acentuada no nó TI2xC4xM2xTR2 do contraventamento C4 com a trelça TR2 do módulo m2. Novamente, podendo associar que os pontos mais intensos de biodeterioração dessa ponte foram as regiões de extremidades. 	
<p>Foto: BRITO (2011)</p>	

Tabela 9.15. Inspeções (NDT) na Passarela Pênsil de Piracicaba “3 Anos de Acompanhamento” (cont.)


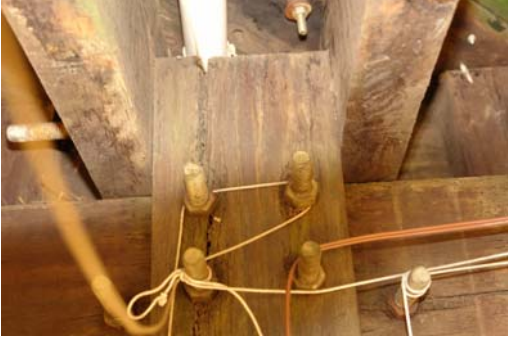

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ No dia da inspeção de 12 de Dezembro de 2011, os parafusos das cobrejuntas no banzo inferior da treliça TR1, de emenda dos Módulos m1+m2, encontravam-se soltos, por vandalismo. Essas desconexões mobilizaram esforços de tração em conexões no banzo superior e em transversinas de contraventamento lateral com o banzo inferior, favorecendo as manifestações patológicas de fendilhamentos paralelos às fibras na madeira, junto aos parafusos, que podem ser observados nas figuras seguintes. <p style="text-align: right;">Fonte: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Fendilhamentos paralelos às fibras no topo da M4 da: Treliça TR2 do módulo m2, oriundos das mobilizações de esforços pela falta de parafusos das cobrejuntas inferiores, de emenda dos módulos m1+m2. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ As duas cobrejuntas internas da ligação TS2xM2xTR2 da Treliça TR2 no módulo m2 apresentavam fendilhamentos paralelos às fibras, no centro das peças, no alinhamento dos parafusos, também oriundos das mobilizações de esforços pela falta de parafusos das cobrejuntas inferiores, de emenda dos módulos m1+m2. ✓ Parafusos e porcas apresentavam sinais de corrosão. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Manchas de musgos esverdeados devido às infiltrações e gotejamentos de águas pluviais sobre a diagonal; ✓ Fendilhamentos nas transversinas inferiores no nó m3xC6xT13xM3 na treliça TR2 do módulo m3; ✓ Deteriorações por fungos apodrecedores na diagonal de contraventamento C6 e na montante interna M3 do módulo m3, BRITO e CALIL JR. (2012). <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	

Tabela 9.16. Inspeções (NDT) na Passarela Pênsil de Piracicaba “3 Anos de Acompanhamento” (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Diagonal de contraventamento C7 no módulo m1 apresentava fenda paralela às fibras, oriunda de defeito natural da madeira. 	
<p>Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ A camada inferior d a transversina superior TS2 próxima ao nó TS2xM2xTR2, da treliça TR2, módulo mt1, nas proximidades da “Rua do Porto”, apresentavam manchas de umidade, musgos esverdeados e acentuadas deteriorações na madeira por ataque de fungos apodrecedores e elevado nível de deterioração por ataque de colônia de térmitas-subterrâneas na parte superior da TS2, conforme identificações de cavidades e orifícios com características visuais de ataque desses de insetos. 	
<p>Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ A camada inferior do tabuleiro do módulo mt1 e a transversina superior TS2 próxima ao nó TS2xM2xTR1, da treliça TR1, módulo mt1, nas proximidades da “Rua do Porto”, apresentavam acentuadas deteriorações na madeira por ataque de fungos apodrecedores e elevado nível de deterioração por ataque de colônia de térmitas-subterrâneas na parte superior da TS2, conforme indicativos de solo e identificação insetos nos orifícios. ✓ Parafusos na TS2 apresentavam sinais de corrosão. 	
<p>Foto: BRITO (2011)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Para avaliações dos deslocamentos, deformações e indicações de contra-flechas referentes á cada um dos pendurais, foram utilizados medições com o auxílio de uma estação de topografia, BRITO e CALIL JR. (2013)a. ✓ Para à contra-flecha no meio do vão da passarela foi considerada a relação L/300, conforme recomendações da NBR 7190. 	
<p>Foto: BRITO (2011)</p>	

Tabela 9.17. Inspeções (NDT) na Passarela Pênsil de Piracicaba “3 Anos de Acompanhamento” (cont.)



Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ausência de manutenção, impermeabilização e pintura dos elementos estruturais de concreto armado; ✓ As bases dos pilaretes de concreto (da Rua do Porto) em contato direto com a umidade, principalmente as das bases da torre 1, apresentavam início do mecanismo de envelhecimento pelo processo de lixiviação, ou seja a dissolução e transporte dos compostos hidratados da pasta de cimento por ação da água, BRITO e CALIL JR. (2013)a. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ausência de manutenção e pintura de proteção superficial; ✓ Mecanismo de envelhecimento do concreto, pelo processo de lixiviação por infiltrações e umidade relativa elevada. ✓ Viga V4 de madeira no tramo 2 apresenta problema de instabilidade por flambagem lateral. ✓ Elementos estruturais de concreto apresentam superfície arenosa; agregados expostos sem a pasta superficial; eflorescências de carbonatos; elevada retenção de fuligem e desenvolvimento de fungos. ✓ Peças de madeira da camada inferior do tabuleiro da rampa com fungos manchadores, emboloradores, hifas e fungos apodrecedores, e umidade relativa elevada. Foto: BRITO (2011) 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ausência de manutenção e pintura de proteção superficial, como stain hidrofugante e hidrorrepelente; ✓ Foram detectados na camada inferior das peças do tabuleiro da rampa de acesso ao lado da “Rua do Porto”, orifícios de brocas-de-madeira, musgos esverdeados, fungos manchadores, emboloradores, proliferação de hifas esbranquiçadas, e elevado grau de biodeterioração por fungos apodrecedores, detectados pelos testes de picoteamentos, BRITO e CALIL JR. (2013)a. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pela inspeção visual detalhada, puderam ser observados orifícios de brocas-de-madeira, fungos manchadores, emboloradores, proliferação de hifas esbranquiçadas, e elevado grau de biodeterioração por fungos com características visuais de podridão parda, detectados também pelos testes de picoteamentos, na camada inferior das peças do tabuleiro da rampa de acesso ao lado da “Rua do Porto”. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2011)</p>	

Tabela 9.18. Inspeções (NDT) na Passarela Pênsil de Piracicaba “3 Anos de Acompanhamento” (cont.)





Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Observa-se que foram constatadas ausências de manutenções e pintura de proteção superficial, como stains hidrofugantes e hidrorrepelentes, nos elementos estruturais de madeira dessa passarela. ✓ Na Viga 1 apresentavam-se fendas longitudinais, e regiões com elevado nível de biodeterioração por fungos apodrecedores, e elevada quantidade de hifas esbranquiçadas, principalmente nas regiões das fibras de extremidade das peças de madeira, próximas aos apoios. 	
<p>Foto: BRITO (Inspeção Detalhada em 12 Dez. de 2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na Viga 5 foram detectadas fendas longitudinais, manchas escuras sinais de escoamento de águas pluviais, pelas características visuais do posicionamento de fungos manchadores e emboloradores, além de musgos esverdeados, e regiões com elevado nível de biodeterioração por fungos apodrecedores, tanto nas regiões próximas aos apoios e quanto no vão. 	
<p>Foto: BRITO (Inspeção Detalhada em 12 Dez. de 2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Aparência da viga externa V1 trecho 2, ao lado sul na “Rua do Porto, na primeira inspeção dessa pesquisa em 12 de Dezembro de 2011: Proliferação de hifas esbranquiçadas na região inferior da viga, fendas longitudinais expressivas, e em um trecho de aproximadamente 120 cm de comprimento com uma fina camada do lado externo, escondendo biodeterioração por fungo apodrecedor, em aproximadamente 20% da parte superior da seção. 	
<p>Foto: BRITO (Inspeção Detalhada em 12 Dez. de 2011)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na foto ao lado, pode-se observar na inspeção de 09 de Agosto de 2013, à evolução do nível biodeterioração por fungos apodrecedores, dois anos e oito meses após a primeira inspeção dessa pesquisa que iniciou em 12 de Dezembro de 2011. ✓ Na viga externa V1 trecho 2 (mesma viga da foto anterior), ao lado sul na “Rua do Porto”, observa-se o acentuado nível de biodeterioração que ocorreu nesse período, com mais de 50% da seção transversal da viga estava com a parte superior, em um trecho de aproximadamente 150 cm de comprimento totalmente biodeteriorada por fungo apodrecedor, além do nível acentuado de hifas esbranquiçadas ao redor da região, na lateral da viga. 	
<p>Foto: BRITO (Inspeção detalhada em 12 de Ago. de 2013)</p>	

Tabela 9.19. Reabilitação na Passarela Pênsil de Piracicaba, “1 Ano de Acompanhamento” (cont.)

Avaliação e Intervenção: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Nas regiões superiores em mais de 90% das transversinas TS (vigas de madeira serrada), nas regiões de fixação dos tabuleiros (exemplo Módulo m13), foram constatados elevados níveis de biodeteriorações por fungos apodrecedores. Nesse caso foram substituídas 100% das transversinas superiores TS por 104 peças novas de madeira de <i>Eucalyptus citriodora</i> tratadas com CCA, com dimensões de 6x16x450 cm. ✓ Uns dos pontos mais críticos em pontes de madeira, com Alto Potencial Risco de Biodeteriorações, geralmente ocorrem nas interfaces viga-tabuleiro e em pontos de ligações. O risco é mais eminente quando às tábuas do tabuleiro são fixadas com pregos ou parafusos que penetram na região superior da seção da viga. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (Inspeção em 09/08/2013)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Durante a inspeção em 9 de agosto de 2013, foi constatada a remoção sem consentimento do LaMEM, de um quarto do total das tábuas que compõem o tabuleiro da passarela e todas transversinas do banzo superior dessa região ao lado do Engenho Central (foto ao lado), constatando-se que às 26 transversinas superiores (TS) removidas, encontravam-se biodeterioradas por fungos apodrecedores na região superior das mesmas, desde baixos níveis de biodeterioração até peças com mais de 50% da seção biodeterioradas internamente. Essas transversinas superiores que estavam removidas da passarela, sem consentimento do LaMEM, estavam armazenadas no pátio do Engenho Central. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (Inspeção em 09/08/2013)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ O tabuleiro com tábuas cruzadas tem grande contribuição no sistema de contraventamento lateral, e a remoção sem planejamento estratégico, pode conduzir à insegurança da estabilidade global da estrutura de madeira da ponte. Por isso, foi recomendado que nessa região fossem reinstaladas as transversinas superiores TS, reabilitando as peças com possibilidade de reabilitação com cobrejuntas paralelas, e substituindo por peças novas as peças com mais de 50% de seção biodeterioradas. Com a constatação de um quarto do total das tábuas que compõem o tabuleiro da passarela e todas transversinas do banzo superior nessa região, era perceptível pela inspeção visual geral, observar a inversão na deformação da estrutura, por alívio do peso próprio com a retirada dessas peças. <p>CPI: ●</p> <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (Inspeção em 09/08/2013)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Em primeira instância, antes de realizar a inspeção visual detalhada, havia sido cogitada a hipótese de um estudo para reconstituir as regiões biodeterioradas das transversinas, com compósitos em matriz de fibra de vidro e adesivo epóxi, em projeto elaborado no LaMEM. No entanto, durante a inspeção detalhada com início em 12/02/2014, e em função do alto custo principalmente do adesivo epóxi, e da grande porcentagem de transversinas com elevado nível de biodeterioração por fungos apodrecedores, esses fatores inviabilizariam o uso desse sistema, optando-se pela substituição de todas Transversinas Superiores (TS), suporte das peças de madeira do tabuleiro (foto ao lado). E sistema de reforços com cobrejuntas fixadas paralelamente às Transversinas Inferiores (TI), quando possível. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (Inspeção em 12/02/2014)</p>	

Tabela 9.20. Reabilitação na Passarela Pênsil de Piracicaba, “1 Ano de Acompanhamento” (cont.)





Avaliação e Intervenção: Descrição	Característica Visual
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Juntamente com as Inspeções Visuais Detalhadas, foram realizados testes de puncionamento, e picoteamento com ferramentas pontiagudas, a fim de avaliar em pontos localizados, previamente pela “Inspeção Geral”, às profundidades e os níveis de biodeteriorações em elementos estruturais de madeira da “Passarela Pênsil de Piracicaba”, além de pontos localizados com microperfuração controlada com o uso do Resistograph® IML-RESI-F500-S. 	
<p>Foto: Inspeção “in loco” em 09/08/2013</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Observa-se também o elevado nível de corrosão dos parafusos galvanizados, retirados da região do módulo m13. ✓ Esmagamento de parafuso de 16 mm de diâmetro, na região central com aproximada de 5 mm de espessura pela perda significativa de seção, em função do elevado nível de corrosão, quando na tentativa de retirada do mesmo. 	
<p>Foto: BRITO (Inspeção Detalhada “in loco” em 09/08/2013)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ No entanto, lamentavelmente observa-se que foram necessárias à substituição de 96% dos parafusos galvanizados, arruelas e porcas, com recomendações em equivalência nas propriedades físico químicas, pois os elevados níveis de corrosão eram visualmente perceptíveis, chegando às reduções de seção transversal em até 62% da seção efetiva, nas regiões dos parafusos embutidos na madeira. Foram constatados diversos parafusos de 16 mm diâmetros, que foram reduzidos à aproximadamente 5 mm de diâmetro, em função do alto nível de corrosão, nas regiões que estavam submetidas internamente à madeira. Foram substituídos aproximadamente 3.480 parafusos das ligações dos elementos estruturais das treliças da passarela. 	
<p>Foto: BRITO (Inspeção detalhada em 08/04/2014)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na inspeção realizada em 12/02/2014, observou-se que todas às transversinas superiores, foram substituídas por peças novas, na região ao lado do Engenho Central, retomando a segurança do sistema global. ✓ Durante o andamento das intervenções nas reabilitações de reforços e substituições de elementos estruturais de madeira da passarela, foram sendo realizadas inspeções visuais detalhadas de Nível 2, e foram indicadas às substituições de 52 diagonais do sistema de contraventamento lateral, que apresentavam elevado nível de biodeterioração por fungos apodrecedores, conservando 50% dessas peças. A foto ao lado exemplifica algumas dessas diagonais conservadas, representadas pelas peças com coloração mais escuras. 	
<p>Foto: BRITO (Inspeção detalhada em 08/04/2014)</p>	

Tabela 9.21. Reabilitação na Passarela Pênsil de Piracicaba, “1 Ano de Acompanhamento” (cont.)

Avaliação e Intervenção: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Durante as inspeções detalhadas, realizadas no Módulo m13, localizada ao lado do Engenho Central, fica evidente que à biodeterioração principalmente por fungos apodrecedores, em elementos estruturais de madeira em pontes, está diretamente associada à Classe de Risco 5, devido ao elevado teor de umidade, tanto pela relação da classe de agressividade com as vegetações que a circundam, quanto pelo elevado teor de umidade na madeira, pela condensação da água do rio. ✓ Por essa razão, às Classes de Risco fornecem subsídios importantes para identificação dos pontos mais críticos, favoráveis ao elevado Potencial de Risco de biodeterioração, durante a fase da inspeção visual geral de Nível 1. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (Inspeção Geral em 09/08/2013)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Os furos de parafusos, pregos, ou outras ferragens podem interceptar a água pela ação de capilaridade que fica retida em profundidade nas superfícies, principalmente nas fibras de extremidade da madeira, que são mais susceptíveis a essa ação. ✓ A foto ao lado exemplifica a biodeterioração por fungos apodrecedores, com características visuais de fungo de podridão branca, em avançado estado, na montante M2 do nó de ligação inferior M2xC3xTI2 no módulo m13 com a treliça TR1, localizado nas proximidades ao lado do Engenho Central, onde essa biodeterioração foi mais intensa. ✓ Observa-se a contaminação dessa biodeterioração também nas extremidades das transversinas inferiores. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (Inspeção Detalhada em 09/08/2013)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Para os casos de exemplos de montantes e transversinas e diagonais de contraventamentos, com alto nível de biodeterioração, a técnica de reabilitação adotada, foi a substituição dessas peças, por peças novas de <i>Eucalyptus citriodora</i> tratado com CCA, e com as mesmas propriedades físicas recomendadas no projeto original, a fim de preservar às características originais na intervenção. ✓ A foto ao lado exemplifica a técnica de reabilitação com substituições totais das peças de madeira M2xC3xTI2 e M1xC1xTI1 no módulo m13 com a treliça TR1, localizado nas proximidades ao lado do Engenho Central. ✓ Observa-se a substituição de 90% parafusos, arruelas e porcas nessa região. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (Inspeção Detalhada em 08/04/2014)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Em peças de montantes e transversinas inferiores, para os casos em que às biodeteriorações eram menos intensas, foi adotada a técnica de “reabilitação de reforço com fixação de cobrejuntas justapostas com peças novas de <i>Eucalyptus citriodora</i> tratado com CCA”, com propriedades físicas semelhantes às recomendadas no projeto original, a fim de preservar às características originais na intervenção. À foto ao lado exemplifica um modelo dessa técnica, com cobrejuntas fixadas lateralmente às montantes M2 e M3 e cobrejuntas fixadas lateralmente às transversinas TI2 do módulo m10. ✓ Também observa-se exemplos de substituições de peças de madeira de bases e de mesas de diagonais do nó M2xC4xTI2 da treliça TR2. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (Inspeção Detalhada em 08/04/2014)</p>	

Tabela 9.22. Reabilitação na Passarela Pênsil de Piracicaba, “1 Ano de Acompanhamento” (cont.)




Avaliação e Intervenção: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Os sinais escuros na madeira, com características visuais de fungos manchadores e emboloradores, evidenciam o caminho de percolação das águas pluviais, e a presença de hifas e fungos apodrecedores nas fibras de extremidade das peças da montante M1 do nó de ligação superior M1xC5xTI3 no módulo m13 com a treliça TR1, localizado nas proximidades ao lado do Engenho Central. ✓ Observa-se também fendilhamentos nas regiões dos parafusos nesse nó de ligação, oriundos de fendilhados de defeitos naturais das fibras de extremidades de madeira, porém com alto nível de deterioração. <p>Foto: BRITO (Inspeção Detalhada em 09/08/2013)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Também foram detectados sinais escuros na madeira, com características visuais de fungos manchadores e emboloradores, evidenciam o caminho de percolação das águas pluviais, e a presença de hifas e fungos apodrecedores, nas fibras de extremidade das peças da montante M3 do nó de ligação superior M3xC5xTI3 no módulo m13 com a treliça TR1, localizado nas proximidades ao lado do Engenho Central. Observa-se que essa região está situada sob meio ambiente com intensas vegetações e árvores, que se enquadra em uma classe ambiental com Alto Potencial de Risco de Biodeterioração. ✓ Observa-se também o elevado nível de corrosão dos parafusos galvanizados, retirados dessa região. <p>Foto: BRITO (Inspeção Detalhada em 09/08/2013)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Para reabilitações em trechos pontuais com biodeteriorações, nos banzos das treliças principais, foram utilizadas às técnicas de reforços com cobrejuntas dispostas paralelamente, e fixadas com parafusos em regiões de peças madeira sã, da estrutura, conforme exemplificações na foto ao lado. <p>Foto: BRITO (Inspeção Detalhada em 08/04/2014)</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Exemplo de aplicação da “Técnica de reabilitação proposta com fixação de cobrejunta paralela” em reforço de montante, para os casos em que às biodeteriorações eram menos intensas, com peça nova de madeira de Eucalyptus citriodora tratada com CCA, e com propriedades físicas semelhantes às recomendadas no projeto original, a fim de preservar às características originais na intervenção. À foto ao lado exemplifica uma vista inferior de um modelo dessa técnica de reabilitação, aplicada na montante M2 no módulo m1. <p>Foto: BRITO (Inspeção em 27-06-2013)</p>	

Tabela 9.23. Reabilitação na Passarela Pênsil de Piracicaba, “1 Ano de Acompanhamento” (cont.)

Avaliação: Registro dos Resultados	Característica Visual
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Para o projeto de reabilitação do tabuleiro, foi definida a substituição de todas as peças de madeira Pinus C30 com espessura de 4 cm em duas camadas totalizando 8 cm de espessura, com sistema cruzado em X, conforme especificações na sugestão do projeto do LaMEM. Esse sistema de tabuleiro com tábuas cruzadas contraventadas em X, se deve ao fato de garantir a eficiência da rigidez global do conjunto no sistema de contraventamento lateral da estrutura de madeira da passarela. Para isso, a madeira a ser empregada no tabuleiro deve ser do tipo Pinus C30 devidamente classificada. Foto: CALIL JR. (Inspeção detalhada em 26/05/2014) 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Foram recomendadas para fixação das tábuas do tabuleiro, a utilização de parafusos autoatarraxantes da Rothoblaas. ✓ A foto ao lado representa o aspecto final do tabuleiro concluído. Foto: BRITO (Inspeção Acabamento Superficial em 27/06/2013) 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Conforme às recomendações do LaMEM, todas as peças de madeira de eucalipto novas, para reabilitação e reforço dos principais elementos estruturais de madeira, além de tratadas com CCA em autoclave sob vácuo pressão, foram pintadas com três demãos com Polisten impregnante fungicida e hidro-repelente, da marca Sayerlack, segundo informações da construtora responsável pela execução da reabilitação da passarela. ✓ Para a contra-flecha no meio do vão da passarela foi considerada a relação L/300, escalonadas linearmente até às regiões de apoio conforme recomendações da NBR 7190, e foi realizada com auxílio de estação de topografia. Foto: BRITO (Inspeção Acabamento Superficial em 27/06/2013) 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ A título de sugestão de modelo de registros dos diagramas das microperfurações controladas, na sequência, estão dispostos alguns dos principais resultados dos ensaios de sondagem, registrados nos diagramas gerados pelo Resistograph® IML-RESI-F500-S, dentre os diversos pontos inspecionados para avaliações de elementos estruturais de madeira de Eucalyptus citriodora, de algumas das principais peças originais do módulo m13, da estrutura da “Passarela Pênsil de Piracicaba”, SP. ✓ Para a identificação dos pontos de sondagens, nos elementos estruturais, as denominações dos Diagramas do Resistograph®, foram denominados seguidos da sigla ID (identificação). Ensaio: BRITO (Avaliações: 2013 a 2014) 	

Tabela 9.24. Reabilitação na Passarela Pênsil de Piracicaba, “1 Ano de Acompanhamento” (cont.)

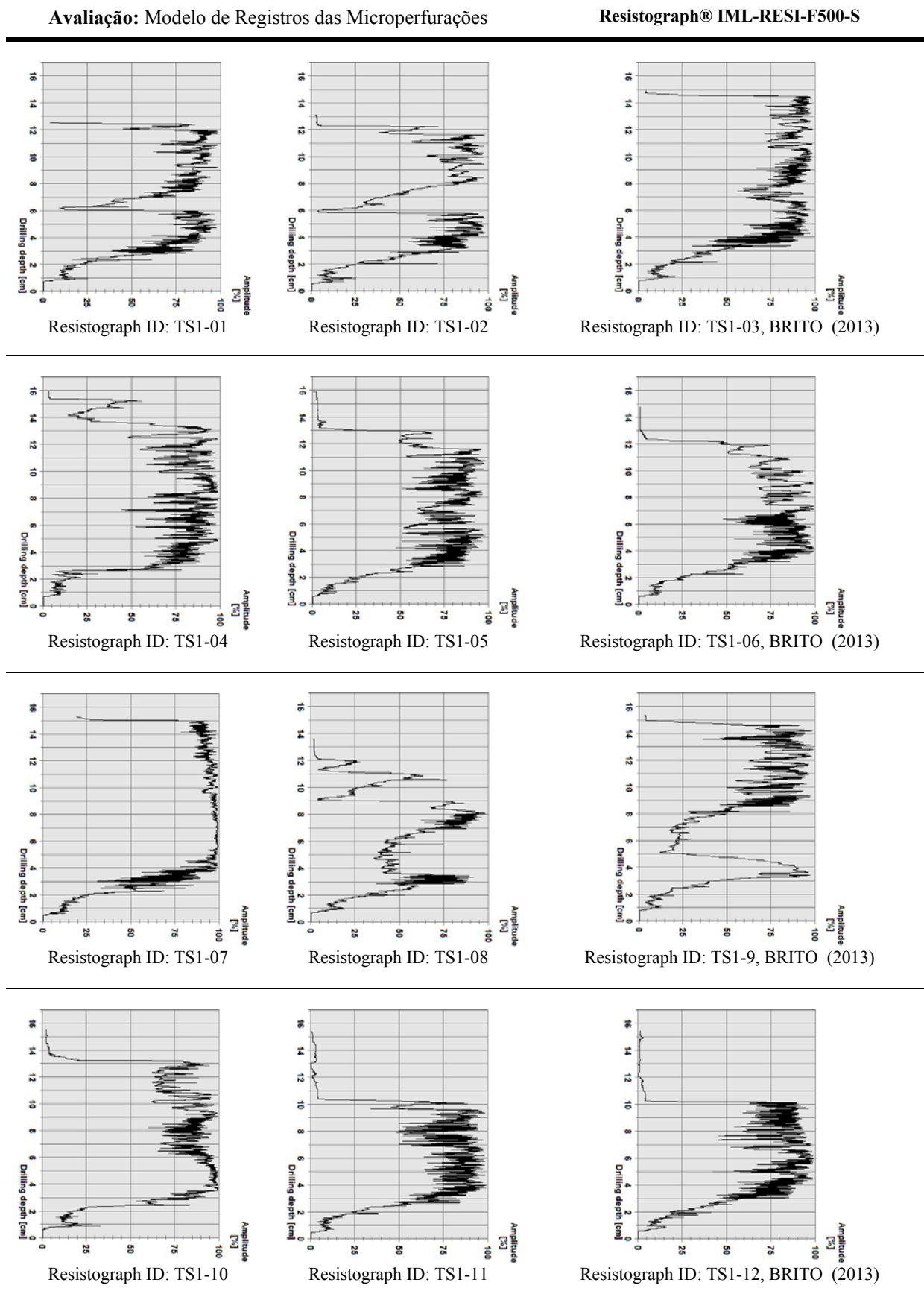


Tabela 9.25. Reabilitação na Passarela Pênsil de Piracicaba, “1 Ano de Acompanhamento” (cont.)

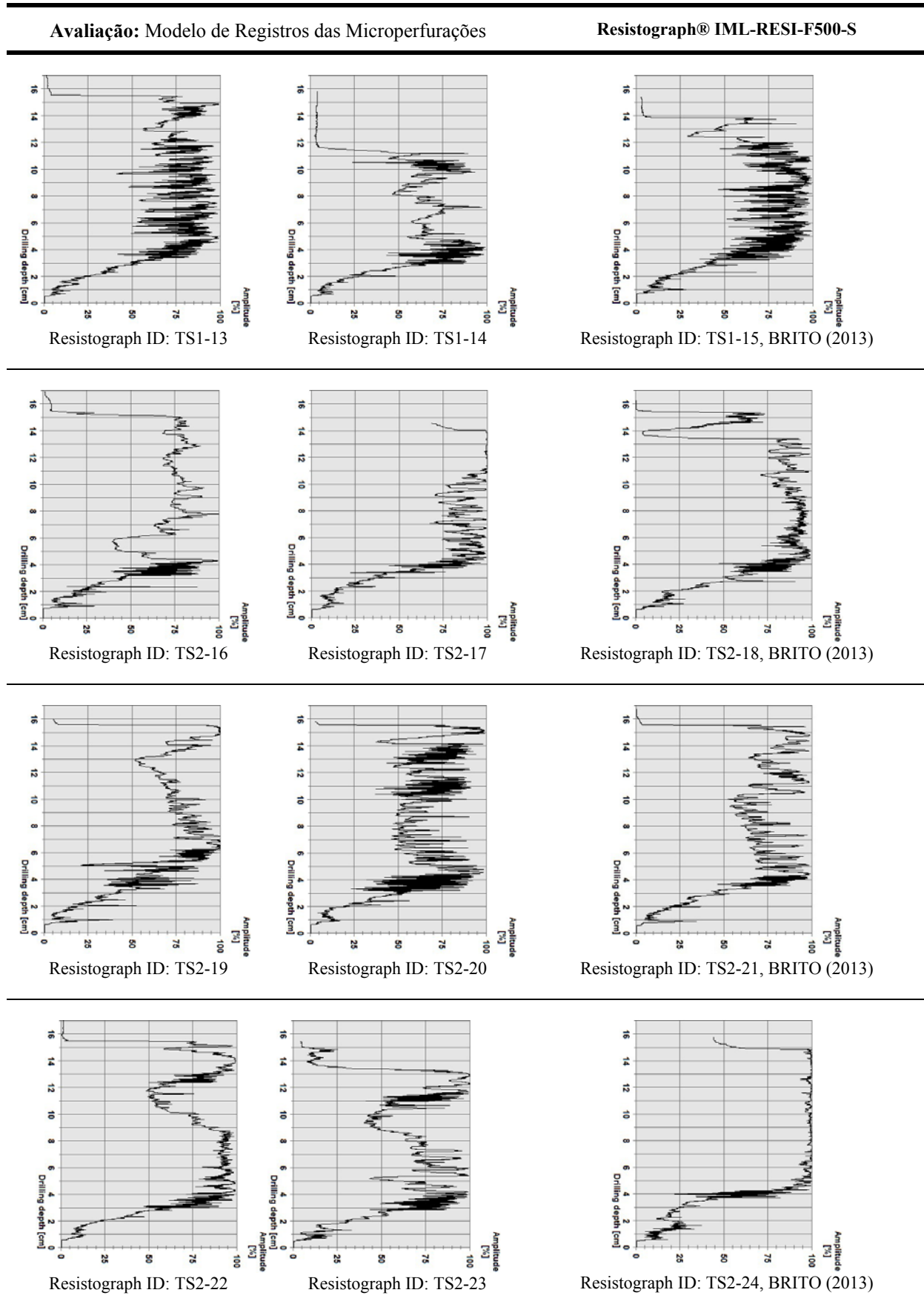


Tabela 9.26. Reabilitação na Passarela Pênsil de Piracicaba, “1 Ano de Acompanhamento” (cont.)

Avaliação: Modelo de Registros das Microperfurações

Resistograph® IML-RESI-F500-S

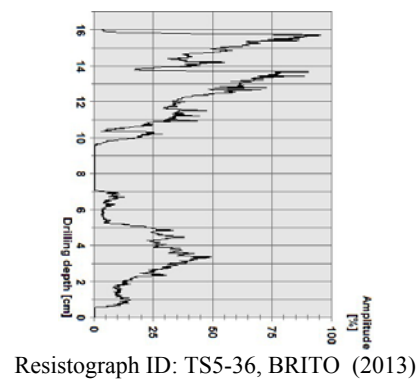
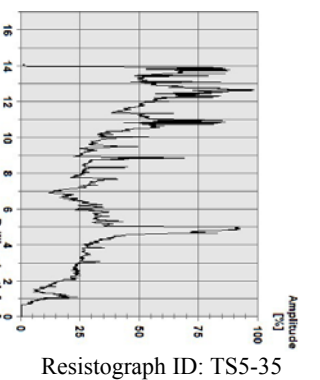
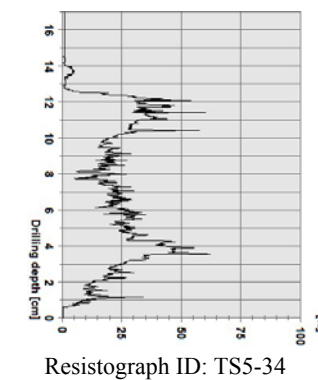
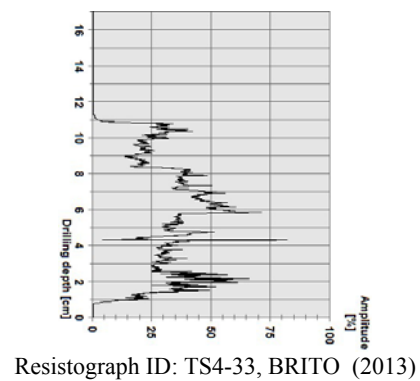
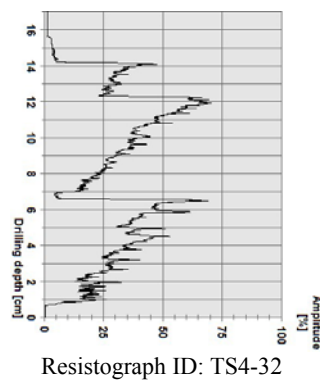
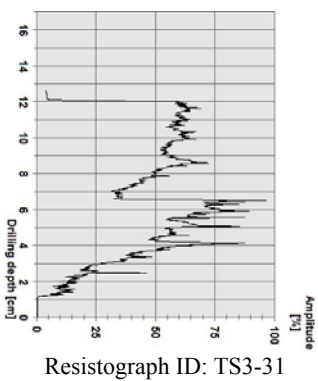
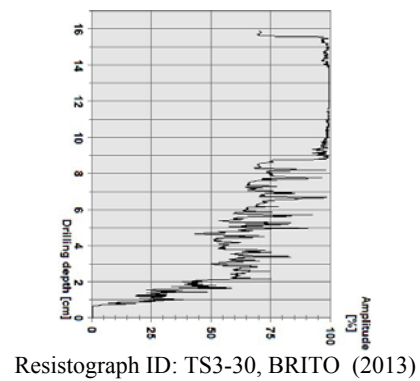
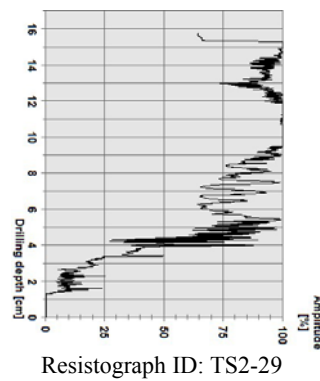
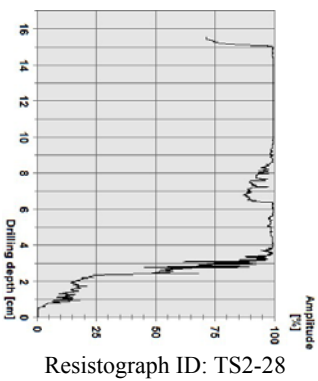
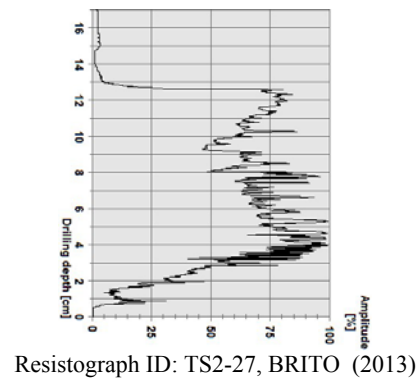
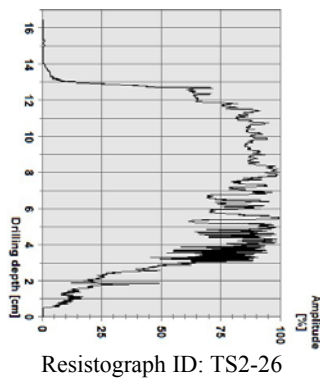
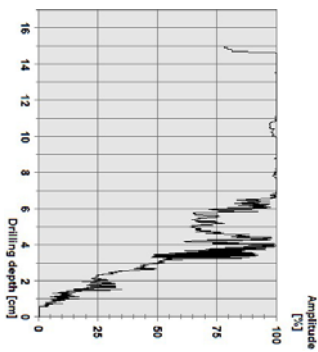


Tabela 9.27. Reabilitação na Passarela Pênsil de Piracicaba, “1 Ano de Acompanhamento” (cont.)

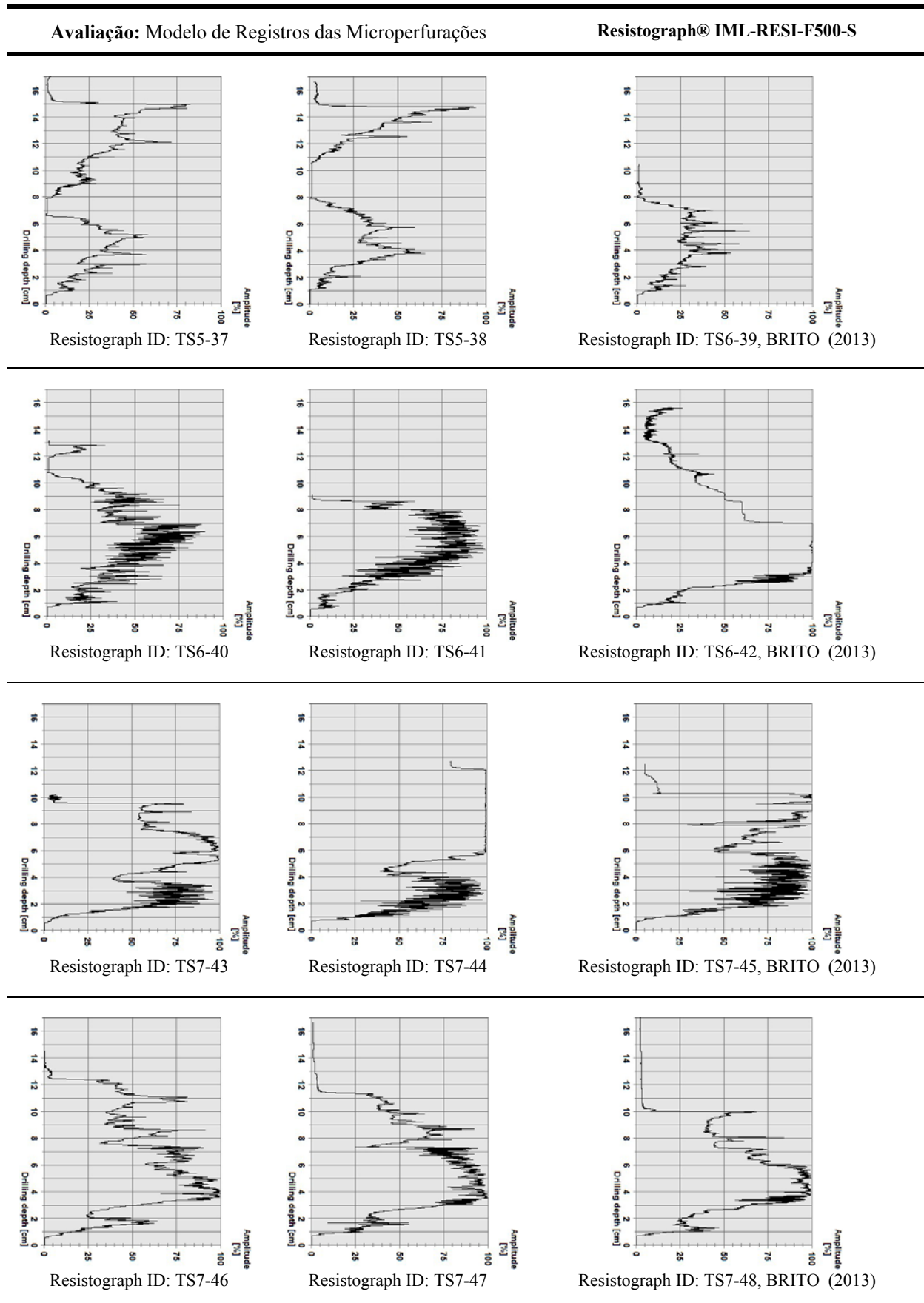
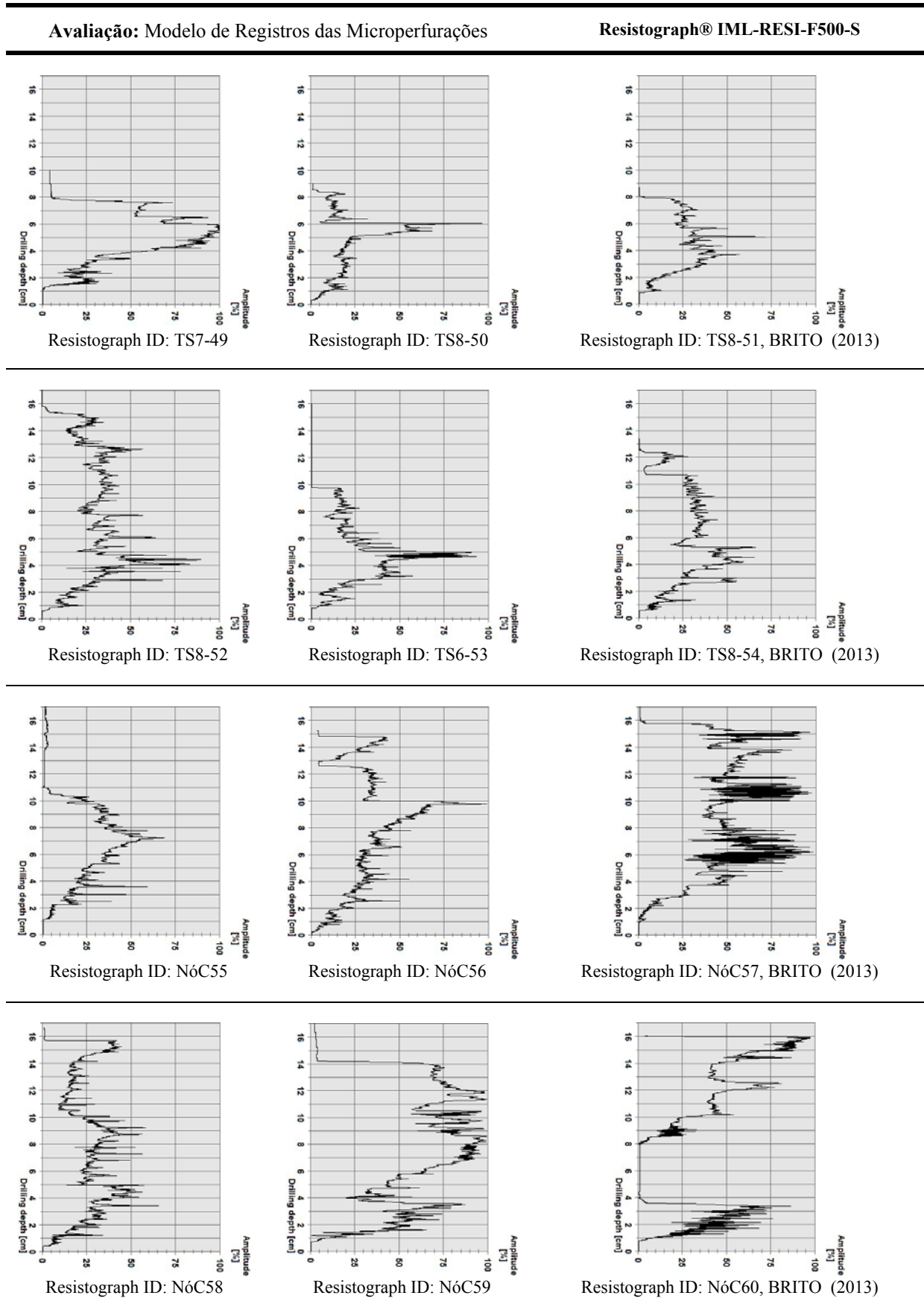


Tabela 9.28. Reabilitação na Passarela Pênsil de Piracicaba, “1 Ano de Acompanhamento” (cont.)



9.3 Ponte “01” - Campus II USP

Tabela 9.29. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte 01 - Campus II EESC/USP, São Carlos - SP

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>Localização: Ponte 01 - Campus II EESC/USP, São Carlos - SP Coordenadas GPS: 21°59'57,9"S; 47°55'44,7"W, 834m de Alt. Tráfego liberado: em 15 de janeiro de 2005 Tipo de uso: Ponte Rodoviária Classe TB 30 Sistema Estrutural: misto madeira roliça e concreto armado Vão Livre: 12 m Compr.; 10m Larg. Espécie: Eucalyptus citriodora Tratamento Preservativo: CCA Fundações: estacas, blocos e viga de distribuição em Concreto A. Finalidade das inspeções: Inspeções periódicas preventivas, para avaliações dos elementos estruturais de madeira. Tipos de Inspeções: Pré-inspeção; Nível 1 (Geral) e Nível 2 (Det.) Classe de Prioridade de Intervenção Geral: ● Classe Verde Visitas Técnicas: de 6 de mar. a 31 out. de 2012 Qtde. de fotos arquivadas (CD's/DVD's/SD's): 398 fotos</p>	
<p>Elementos avaliados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 22 longarinas de madeira roliça (diâmetro médio 33cm); ✓ madeiras serradas das defensas e dos guarda-corpos, elementos de ligações; ✓ sistemas de drenagens (coletores de águas pluviais); ✓ muros de contenções de concreto armado (avaliações visuais superficiais); ✓ recapeamento asfáltico nas interfaces tabuleiro x laje de transição. <p>A foto ao lado mostra a visão geral da Ponte 01, e a seta azul indica exemplo de coletores de águas pluviais com dimensões ineficientes, e em posições (acima do nível da ponte), que favorecem percolações de águas pluviais sobre o tabuleiro, em dias de chuvas intensas. CPI: ●</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>Ausência de manutenções superficiais nas defensas, como pinturas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ favorecem as deteriorações por ações atmosféricas de luz ultravioleta, associadas ao armazenamento de umidade nas fendas, são regiões de “Potencial de Risco de Biodeterioração” por apodrecimento. ✓ favorecem o surgimento de fendas. ✓ Fendas longitudinais expressivas, oriundas de defeitos naturais, sem valores significativos à eficiência estrutural da defesa; ✓ No entanto, observou-se manchas de fungos emboloradores, entre as fendas, que são favoráveis, como ponto de partida para à biodeterioração por fungos apodrecedores. Foto: BRITO (2012) 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ As mesmas observações do caso anterior, são válidas para o exemplo das peças defesa ao lado, que apresentam fendas nas fibras de extremidade, oriundas de deteriorações por ações atmosféricas de luz ultravioleta, associadas à umidade nessas regiões, também favorecem o fortalecimento do “Potencial de Risco de Biodeterioração” por apodrecimento. 	

Tabela 9.30. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte 01 - Campus II EESC/USP, São Carlos – SP (cont.)





Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ As mesmas observações anteriores são válidas, na constatação de ausência de manutenções superficiais preventivas no guarda-corpo da Ponte P01. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Deformação por recalque diferencial na parede de contenção externa da Ponte 01 (lado sudoeste). 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ As longarinas da Ponte 01 apresentam bom estado de conservação, no entanto, algumas peças apresentam fendas longitudinais decorrentes de defeito naturais do eucalipto, que não representam risco ao sistema; ✓ Nas peças de extremidade (leste e oeste), e em regiões próximas aos apoios (lado sudoeste), algumas peças apresentam sinais de manchas de umidade e manchas de fungos emboloradores. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Essas manchas são mais evidentes, nas peças de extremidade no canto sudoeste, nas proximidades de tubulações com sistema de drenagem que apresentavam danos; ✓ Observou-se também impregnação de terra residual, fixados nas peças de madeira, nessa região, decorrente do escoamento das águas pluviais. 	

Foto: BRITO (2012)

Foto: BRITO (2012)

Foto: BRITO (2012)

Tabela 9.31. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte 01 - Campus II EESC/USP, São Carlos – SP (cont.)




Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foram observados que alguns coletores verticais, do sistema de coleta de águas pluviais do tabuleiro, encontram-se danificados e/ou curtos, conforme indicação das setas azuis. Nessas regiões pontuais, próximas aos coletores verticais, as peças de madeira roliça, e apresentam indício de impregnação de terra residual; ✓ A seta vermelha na foto ao lado indica uma trinca no centro muro de contenção de concreto armado, do talude da margem M1 (Lado Norte) da Ponte 01. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Nas proximidades da cabeceira da Ponte 01, Lado Norte, algumas peças roliças próximas aos apoios, apresentam características visuais de manchas de umidade e manchas de musgo (exemplo na foto ao lado), decorrentes de infiltrações, de águas pluviais, que percolam nas fissuras da camada asfáltica, na interface laje de transição e tabuleiro. Uma solução para esse caso seria a aplicação de mantas geosintéticas; manutenções em recapamentos com revestimentos asfálticos periódicos; e pinturas de proteção superficial periódicas nas peças de madeira com Stain fungicidas hidrorrepelentes. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ As mesmas observações da foto anterior são válidas para foto ao lado. No entanto, observou-se nesse exemplo, que o compensado da forma de concretagem, entre as longarinas encontra-se biodeteriorado por fungos apodrecedores. Nesse caso, potencializa o risco de biodeterioração por fungos apodrecedores, com o passar do tempo, podendo reduzir a Vida útil da estrutura. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nas Provas de Carga realizadas por PIGOZZO em 24/09/2005 e recentemente após seis anos de utilização da Ponte 01, em 14/05/2011 para avaliações experimentais com auxílio de teodolito de topografia óptico com sensibilidade de 1,0 mm, os resultados de PIGOZZO et al (2014) foram comparados com os deslocamentos verticais obtidos por avaliações numéricas e comparados com resultados obtidos na primeira avaliação experimental, que demonstram o bom comportamento estrutural e ausência de patologias graves, considerando à ausência de manutenção preventiva nesse período. No entanto são sempre recomendadas inspeções e manutenções preventivas. <p>Foto: CALIL JR., BRITO e PIGOZZO (2012); PIGOZZO et al (2014)</p>	

9.4 Ponte “02” - Campus II USP

Tabela 9.32. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte 02 - Campus II EESC/USP, São Carlos - SP

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>Localização: Ponte 02 - Campus II EESC/USP, São Carlos - SP Coordenadas GPS: 21°59'58,4"S; 47°55'44,0"W, 833m de Alt. Tráfego liberado: em 15 de janeiro de 2005 Tipo de uso: Ponte Rodoviária Classe TB 30 Sistema Estrutural: misto madeira roliça e concreto armado Vão Livre: 12 m Compr.; 10m Larg. Espécie: Eucalyptus citriodora Tratamento Preservativo: CCA Finalidade das inspeções: Inspeções periódicas preventivas, para avaliações dos elementos estruturais de madeira. Tipos de Inspeções: Pré-inspeção; Nível 1 (Geral) e Nível 2 (Det.) Classe de Prioridade de Intervenção Geral: ● Classe Verde Fundações: estacas, blocos e viga de distribuição em Concreto A. Visitas Técnicas: de 6 de mar. à 31 out. de 2012 Qtde. de fotos arquivadas (CD's/DVD's/SD's): 412 fotos</p>	
<p>Elementos avaliados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 22 longarinas de madeira roliça (diâmetro médio 35cm); ✓ madeiras serradas das defensas e dos guarda-corpos, elementos de ligações; ✓ sistemas de drenagens (coletores de águas pluviais); ✓ muros de contenções de concreto armado (avaliações visuais superficiais); ✓ recapeamento asfáltico nas interfaces tabuleiro x laje de transição. <p>CPI: ●</p> <p>Na foto ao lado, observa-se deteriorações superficiais, com fendilhados em regiões de extremidade das fibras, em função de ausência de manutenções preventivas com pinturas superficiais.</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ As mesmas observações da foto anterior são válidas para foto ao lado, porem foi detectado elevado nível de ataque de fungo emboloradores, que pode elevar o potencial de risco de biodeterioração, por fungos apodrecedores, mesmo para peças de eucalipto tratadas com CCA, pois esse tipo de tratamento preservativo, mesmo em alta pressão a vácuo em autoclave, não é eficiente para tratar regiões densas e pouco porosas da madeira, como é o caso dos cernes do eucalipto; ✓ Constatou-se também deteriorações superficiais, na camada de pintura, por ações atmosféricas pela incidência de luz ultravioleta. <p>Foto: BRITO (2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ As mesmas observações anteriores são válidas, na constatação de ausência de manutenções superficiais preventivas no guarda-corpo das Pontes 01 e 02. <p>Foto: BRITO (2012)</p>	

Tabela 9.33. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte 02 - Campus II EESC/USP, São Carlos – SP (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ O crescimento de plantas e/ou musgos esverdeados ou escuros nas proximidades e principalmente sobre elementos estruturais, podem ser indicativos de que a madeira adjacente á região de apoio, possa estar com teor de umidade relativamente elevado, e sem a atenção devida, favorecem ao Alto Potencial de Risco de Biodeterioração, principalmente fungos apodrecedores, quando expostas por um longo período de tempo. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na segunda longarina do Lado oeste, foi constatada uma pequena caixa de marimbondos, e nas proximidades, manchas de fungos emboloradores e hifas esbranquiçadas, que podem caracterizar como um elevado Potencial de Risco de Biodeterioração por fungos apodrecedores no futuro. ✓ Nas proximidades da cabeceira da Ponte 02, Lado Norte, algumas peças roliças próximas aos apoios, apresentam características visuais de manchas de umidade e manchas de musgo no muro de contenção, decorrentes de infiltrações, de águas pluviais, que percolam nas fissuras da camada asfáltica, na interface laje de transição e tabuleiro. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Nas proximidades da peça paralela a essa, foram detectadas manchas de umidade expressivas, e pequena depressão superficial, com indício de ataque de fungo apodrecedor, como pode ser observado na foto ao lado. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Manchas químicas superficiais de corrosão na madeira, possivelmente oriundas de vergalhões do sistema misto da malha de concreto armado, em regiões circunvizinhas à fissura no asfalto; ✓ Nessas proximidades, também foram detectadas manchas de umidade na madeira, e manchas com características visuais de fungos emboloradores; ✓ As soluções preventivas para esses casos também são aplicações de mantas geosintéticas nas interfaces tabuleiro e laje de transição, com manutenções periódicas em recapamentos asfálticos; e pinturas de proteção superficial periódicas nas peças de madeira com Stain fungicidas hidrorrepelentes. 	

9.5 Ponte “03” - Campus II USP





Tabela 9.34. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte 03 - Campus II EESC/USP, São Carlos - SP

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>Localização: Ponte 03 - Campus II EESC/USP, São Carlos - SP Coordenadas GPS: 22°00'13,4"S; 47°55'52,2"W, 841m de Alt. Tráfego liberado: em 15 de janeiro de 2005 Tipo de uso: Ponte Rodoviária Classe TB 45 Sistema Estrutural: multicelular de compensado e madeira protendida Vão Livre: 12 m Compr.; 10m Larg. Espécie: Eucalyptus citriodora Tratamento Preservativo: CCA Compensados: Pinus Tratamento Preservativo: CCA Fundações: Estacas de madeira roliça de Eucalyptus citriodora Finalidade das inspeções: Inspeções periódicas preventivas, para avaliações dos elementos estruturais de madeira. Tipos de Inspeções: Pré-inspeção; Nível 1 (Geral) e Nível 2 (Det.) Classe de Prioridade de Intervenção Geral: ● Classe Amarela Visitas Técnicas: de 6 de mar. a 31 out. de 2012 Qtde. de fotos arquivadas (CD's/DVD's/SD's): 398 fotos</p>	
<p>Elementos avaliados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 20 vigas do tabuleiro, compostas com alma de compensado; ✓ avaliação dos cabos de protensão (rijo ou solto); ✓ defensas de MLC e dos guarda-corpos, elementos de ligações; ✓ sistemas de drenagens (coletores de águas pluviais); ✓ muros de contenções de madeira; ✓ topo das estacas de madeira (avaliações visuais superficiais); ✓ recapeamento asfáltico nas interfaces tabuleiro x laje de transição. <p>Na foto ao lado, observa-se deteriorações superficiais, com fendas em longitudinais na última lamina MLC, por ações atmosféricas, em função de ausência de manutenções com pinturas superficiais.</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ No topo dos pilaretes da Ponte 03, apresentam indício de deteriorações com delaminações e fendilhados em regiões de extremidade das fibras expostas, por ações atmosféricas, em função, principalmente, de ausência de manutenções preventivas com pinturas superficiais. ✓ Na defesa do lado leste da Ponte 03, apresentam deteriorações superficiais, com fendas em longitudinais na última lamina MLC, por ações atmosféricas; a solução adotada para reforço dessa delaminação é a técnica proposta de costura de fendas e delaminações, com parafusos autoatarraxantes, que nesse caso a costura foi realizada em zig-zag. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Assim como o exemplo anterior, os fendilhados em fibras de extremidade expostas, no exemplo da foto ao lado, são uma das causas mais visíveis dessas ações de deterioração na madeira pela ação de raios ultravioleta, da luz solar, que degrada quimicamente à lignina, na camada superficial da madeira. 	

Tabela 9.35. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte 03 - Campus II EESC/USP, São Carlos – SP (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Na peça de extremidade (lado leste), foram detectadas características visuais de fungos manchadores, infectando a superfície da madeira, causando defeitos, que poderiam ser evitados com tratamentos de pinturas superficiais. Esses fungos além de manchar a madeira, podem causar preocupações mais sérias, pois além de penetrarem mais profundamente e descolorirem ou escurecer a madeira, sob condições ambientais favoráveis, também podem favorecer ao Potencial de Risco de Biodeterioração na madeira ao longo do tempo, causando a diminuição na resistência e o aumento da permeabilidade, potencializando assim a origem de fungos apodrecedores.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Na região da estaca mais extrema da região sudeste, foi constatado processo de erosão no solo, em função do escoamento de águas pluviais mais de chuvas intensas, quando a drenagem de enxurradas pelo coletor (boca de lobo) é insuficiente, escoando sobre a guia. Nesse caso, os coletores também estão acima da cota de nível do tabuleiro, e essas condições favorecem a biodeterioração quando expostas por um longo período de tempo. Os sinais de fungos manchadores comprovam as percolações de águas pluviais, originárias do acúmulo de água no centro do tabuleiro, em que as flechas são máximas, como pode ser observado na foto anterior e ao lado.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Na região central da defesa (lado leste) da Ponte 03, foram detectados além de delaminações nas lâminas superiores, a última lâmina apresentam deteriorações, com características visuais de retração anormal e inúmeras fendas cruzadas paralelas e perpendiculares às fibras, e de consistência quebradiça e friável, que podem caracterizar biodeterioração por fungos apodrecedores.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Na emenda da defesa (lado oeste) da Ponte 03, além de delaminações e fendilhado nas fibras de extremidade expostas, foi detectado um fendilhamento na região das proximidades das laminas superiores.</p>	

Tabela 9.36. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte 03 - Campus II EESC/USP, São Carlos – SP (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Assim como as defensas, o guarda-corpo e o deck da passarela de pedestres, dessa ponte, ainda não passaram por manutenções preventivas, ficando as peças de madeira expostas às ações atmosféricas, e essas condições também favorecem a biodeterioração quando expostas por um longo período de tempo. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ No primeiro finger joint da última lamina da defesa (lado oeste), apresentam sinais de ruptura, com características visuais de biodeterioração por fungos apodrecedores, e acentuada delaminação decorrente desse ponto fragilizado. Na figura ao lado tem-se uma vista frontal da biodeterioração dos finger joints. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ O caso comentado da delaminação acentuada, nesse ponto fragilizado, pode ser observado na vista frontal, na figura ao lado. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ O topo do pilarete nessa mesma região, além de apresentar fendilhados excessivos nas fibras de extremidade expostas, e delaminações pelas ações atmosféricas, também apresenta fendilhamento na linha de parafusos de fixação da defesa. ✓ Apesar dessas manifestações patológicas primárias, na Ponte 03 não foram detectadas patologias graves, considerando à ausência de manutenção preventiva no período de existência da mesma. No entanto são sempre recomendadas inspeções e manutenções preventivas, para aumentar a Vida útil das estruturas, independentemente dos materiais que a compõe. 	

9.6 Ponte “04” - Campus II USP

Tabela 9.37. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte 04 - Campus II EESC/USP, São Carlos - SP

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>Localização: Ponte 04 - Campus II EESC/USP, São Carlos - SP Coordenadas GPS: 22°00'02,17"S;47°55'44,78"W, 838 m de Alt. Tráfego liberado: em 15 de janeiro de 2005 Tipo de uso: Ponte Rodoviária Classe TB 45 Sistema Estrutural: Multicelular com vigas MLC protendidas Vão Livre: 11,45 m sendo, 12 m Compr.; 9,22 m Larg. Espécie: Eucalyptus citriodora e vigas de Madeira Laminada Colada (MLC) de Pinus Elliotti Tratamentos Preservativos: CCA Fundações: Estacas de madeira roliça de Eucalyptus citriodora Finalidade das inspeções: Inspeções periódicas preventivas, para avaliações dos elementos estruturais de madeira. Tipos de Inspeções: Pré-inspeção; Nível 1 (Geral) e Nível 2 (Det.) Classe de Prioridade de Intervenção Geral: ● Classe Amarela Visitas Técnicas: de 6 de mar. a 31 out. de 2012 Qtde. de fotos arquivadas (CD's/DVD's/SD's): 412 fotos</p>	
<p>Elementos avaliados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ 16 vigas de madeira laminada colada (MLC) com 12 cm de espessura por 80 cm de altura e 1200 cm de comprimento; ✓ avaliação dos cabos de protensão (rijo ou solto); ✓ defensas de MLC e dos guarda-corpos, elementos de ligações; ✓ sistemas de drenagens (coletores de águas pluviais); ✓ muros de contenções de madeira; ✓ topo das estacas de madeira (avaliações visuais superficiais); ✓ reaparelamento asfáltico nas interfaces tabuleiro x laje de transição. <p>Na foto ao lado, acúmulo de areia, próximo aos drenos no tabuleiro, evidenciam a direção do escoamento das águas pluviais, decorrentes de enxurradas, pois o tabuleiro está em cota de nível abaixo dos coletores pluviais ineficientes. Foto: BRITO (6/3/2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ As setas azuis indicam os caminhos de percolações das águas pluviais no lado sul e sudeste da Ponte P4: analisando as posições dos coletores pluviais da Ponte 04, é visivelmente perceptível de que as cotas de níveis destes coletores estão acima do nível do tabuleiro. Essa situação torna-se favorável para a percolação de grande quantidade de água pluvial sobre o tabuleiro, quando na ocorrência de chuvas carregadas, com grande intensidade de precipitação. Como pode ser observado nas setas azuis indicadas, que apontam para regiões com indício de umidade, e acúmulo de areias, provenientes do escoamento ineficiente do coletor (sudeste) de água pluvial. Foto: BRITO (6/3/2012) 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Também é perceptível pela forma do acúmulo de areia, indicado pelas setas azuis, que evidenciam que a enxurrada provocada por chuvas intensas, percolam sobre a guia, devido à ineficiência da elevação do coletor sudeste, e desagua no ribeirão, passando sobre a estaca externa sudeste que está indicada com seta. Portanto o processo de erosão tem ocorrido, em função da direção em que as águas pluviais têm percolado constantemente por este caminho, têm provocando a sedimentação do solo do talude da margem sudeste. A mesma situação de erosão ocorre no talude da margem nordeste, em função também da ineficiência da posição e possível capacidade limitada de vazão do coletor daquela região. Foto: BRITO (6/3/2012) 	

Tabela 9.38. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte 04 - Campus II EESC/USP, São Carlos – SP (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ É possível avaliar a evolução de fungos manchadores e emboloradores, no período entre a data da primeira inspeção em 6 de março de 2012, até 31 de outubro de 2012, quando comparadas as fotos na tabela anterior, com as fotos nessa tabela. Nas fotos anteriores esses fungos eram quase imperceptíveis, apresentado mais evidencias em manchas de umidade na madeira. 	
Foto: (31/10/2012)	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ E isso reforça a teoria de que os fungos manchadores e emboloradores aumentam o Potencial de Risco de Biodeterioração, mesmo em peças de madeira tratadas, que não passam por manutenções periódicas preventivas, principalmente com pinturas fungicidas hidrorrepelentes. 	
Foto: (31/10/2012)	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Fendas longitudinais típicas de defeitos naturais, que geralmente ocorrem em longarinas externas, decorrentes de ações atmosféricas de raios ultravioleta, associados ao intemperismo de umidificação e secagem, de águas pluviais. ✓ Para vigas de pinus tratado, geralmente não causam muitos problemas. No entanto, para vigas de dicotiledôneas, em que o cerne geralmente não é tratado, mesmo em processos de alta pressão em autoclaves, quando ocorre a fenda, geralmente a camada de tratamento nessas regiões pode ser rompida, expondo a madeira sã à biodeterioração. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Nesses casos, o sequestro de umidade e surgimento de musgos esverdeados e/ou escuros, fungos manchadores e/ou emboloradores, em fendas, rachas, fissuras, ou acumulações de solo sobre elementos estruturais, podem ser indicativos de que a madeira nessa região esteja com teor de umidade relativamente elevado, e isso favorece o aumento do Potencial de Risco de Biodeterioração por apodrecimento, quando expostas por um longo período de tempo. 	

Tabela 9.39. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte 04 - Campus II EESC/USP, São Carlos – SP (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Assim como o estudo de caso na Ponte 03, as defensas, o guarda-corpo e o deck da passarela de pedestres, da Ponte 04, ainda não passaram por manutenções preventivas, estando às peças de madeira expostas às ações atmosféricas, em condições que favorecem a biodeterioração quando expostas por um longo período de tempo. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Além das delaminações nas camadas superiores da defesa (lado oeste) da Ponte 04, na primeira emenda de finger joint da última lamina da defesa, apresentaram ruptura nos fínges, com características visuais de biodeterioração por fungos apodrecedores, e acentuada delaminação decorrente desse ponto fragilizado. Na figura ao lado tem-se uma vista lateral dessas deteriorações, oriundas geralmente de ações atmosféricas, de molhagem, secagem e ação de raios ultravioleta. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ As peças de madeira na camada inferior do tabuleiro, não apresentavam patologias graves, no entanto, foi possível observar em pontos localizados, musgos esverdeados entre as gretas verticais de laminas, manchas de umidade, sinais com características visuais de fungos manchadores e emboloradores e hifas esbranquiçadas, que aumentam o Potencial de Risco de Biodeterioração por apodrecimento. Novamente frisa-se que a solução com manutenções preventivas com recapeamentos asfálticos e pinturas com fungicidas hidrorrepelente de proteção superficiais, favoreceriam o aumento da Vida útil das pontes de madeira. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Nos topos das peças de madeira das estacas, não apresentavam patologias graves, mas, também foi possível observar em pontos localizados, musgos esverdeados entre fendilhados e manchas de umidade; ✓ Na foto anterior e ao lado é possível observar o processo erosivo do solo decorrentes da ineficiência dos sistemas de drenagens, além das épocas de cheias do riacho. Para esse caso a solução recomendada seria um reforço nas contenções de terra com uso de gabiões, por exemplo. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>	

9.7 Ponte Monjolinho

Tabela 9.40. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte Monjolinho (Jockey Clube), São Carlos - SP

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>Localização: Ponte Monjolinho (Jockey Clube), São Carlos - SP Coordenadas GPS: 21°59'25,5"S; 47°53'30,6" 849m de Alt. Tipo de uso: Ponte Rodoviária Classe TB 45 Sistema Estrutural: madeira multicelular protendida Dimensões: 8 m de Comprimento por 4 m de largura. Tabuleiro: espessura 25 cm em protensão dywidag ϕ15 mm com 63 cm Espécie: Eucalyptus citriodora Tratamento Preservativo: CCA Fundações: Muro de contenção Finalidade das inspeções: Inspeções periódicas preventivas, para avaliações dos elementos estruturais de madeira. Tipos de Inspeções: Pré-inspeção; Nível 1 (Geral) e Nível 2 (Det.) Classe de Prioridade de Intervenção Geral: ● Classe Vermelha Visitas Técnicas: de 19 de abr. a 31 out. de 2012 Qtde. de fotos arquivadas (CD's/DVD's/SD's): 104 fotos</p>	
<p>Elementos avaliados:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ elementos estruturais do tabuleiro de madeira; ✓ avaliação dos cabos de protensão (rijo ou solto); ✓ madeiras serradas das defensas, guarda-rodas e dos guarda-corpos, elementos de ligações; ✓ sistemas de drenagens (coletores de águas pluviais); ✓ muros de contenções de terra (avaliações visuais superficiais); ✓ recapeamento asfáltico nas interfaces do tabuleiro. ✓ passarela de pedestres (não projetada pelo LaMEM). <p>Outo exemplo grave de ausência de manutenções periódicas preventivas e corretivas é o caso da “Ponte Monjolinho”, ou “melhor dizendo o descaso”, que denigre a imagem desse nobre material que é “madeira”.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ No tabuleiro da passarela, além das dimensões insuficientes das peças, causando desconforto sensorial de vibrações aos usuários, foram detectadas rachaduras, fendas, características visuais de fungos de podridão branca, além de algumas peças apresentarem arqueamentos, encurvamentos, torcimentos e flechas acentuadas. ✓ Tanto às longarinas quanto às transversinas, apresentavam sinais de manchas com características visuais de fungos manchadores e emboloradores, e nas transversinas das cabeceiras, apresentavam biodeterioração por fungos. <p>Nos guarda-corpos, foram detectadas além de travessas soltas à ausência da travessa superior ao lado noroeste, e apodrecimento por fungos no topo dos pilaretes. CPI: ●</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Nas inspeções de abril de 2012, no tabuleiro da ponte, foram detectadas manifestações patológicas de agentes físicos com degradações por abrasão mecânica, como ondulações, trincas e rachaduras, na pavimentação asfáltica sobre todo tabuleiro. ✓ A defesa do lado oeste da ponte foi substituída por um guarda-corpo improvisado, e completamente ineficiente ao caráter de uso estrutural como defesa, e a madeira sem tratamento encontra-se parcialmente biodeteriorada. ✓ Observa-se os sistemas de drenagens do tabuleiro, encontravam-se colmatados com gramíneas e resíduos de solo decorrentes de enxurradas. 	

Tabela 9.41. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte Monjolinho (Jockey Clube), São Carlos – SP (cont.)









Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ainda nas inspeções em abril de 2012, nas peças originais das defensas ao lado oeste foram constatado, ausência de manutenções, com degradações superficiais de agentes atmosféricos, sinais de fungos manchadores e emboloradores entre fendas longitudinais, e mais de 20 orifícios de brocas. ✓ Nas ligações dos pilaretes dessa defesa com as extremidades do guarda-rodas, foram detectadas porcas das barras passantes soltas dos parafusos, BRITO e CALIL JR. (2013)f. ✓ Também foram observados colmatações com gramíneas nos sistemas de drenagens do tabuleiro, e ausência de manutenção e limpeza nessa região. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ E nas inspeções de outubro de 2012, a situação da ponte estava ainda mais precária, pois além das manifestações patológicas detectadas nas inspeções anteriores, a defesa do lado leste, dessa vez, também encontrava-se em colapso. ✓ Na foto ao lado, observou-se pela técnica de inspeção visual detalhada, o aspecto do modo de ruptura por choque de veículo nos pilaretes centrais das defensas, BRITO e CALIL JR. (2013)f. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pela técnica de inspeção visual geral pode-se observar o estado geral da ponte e dos sistemas de defensas danificados, colocando em risco de queda de veículos, em caso de nova colisão. ✓ Observa-se a ausência de manutenção e limpeza também nas regiões de proximidades que circundam a ponte, BRITO e CALIL JR. (2013)f. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foi detectado “in loco”, que no nível é mais alto da rua, existe apenas um coletor de águas pluviais, situado a oeste da rua, e é visivelmente perceptível, na seta azul da foto ao lado, que à cota de nível desse coletor está acima do nível do tabuleiro. Essa situação torna-se favorável para a percolação de grande quantidade de água pluvial sobre o tabuleiro da ponte, na ocorrência de chuvas com grande intensidade de precipitação, favorecendo às colmatações do sistemas de drenagem do tabuleiro, que acelera o processo de biodeterioração da madeira, BRITO e CALIL JR. (2013)f. 	

Tabela 9.42. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte Monjolinho (Jockey Clube), São Carlos – SP (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Colmatações com resíduos de solo e gramíneas nos sistemas de drenagens do tabuleiro, que como já comentado em outras inspeções, o crescimento de plantas e/ou musgos esverdeados ou escuros e fungos manchadores e emboloradores em elementos estruturais de madeira, podem ser indicativos de que a madeira adjacente à região, possa estar com teor de umidade relativamente elevado, e sem a atenção devida, favorecem ao Alto Potencial Risco de Biodeterioração, principalmente fungos apodrecedores, quando expostas por um longo período de tempo. ✓ Observa-se também oxidações na galvanização das barras de protensão, BRITO e CALIL JR. (2013)f. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ As manifestações patológicas detectadas de degradações por abrasão mecânica, como ondulações, trincas e rachaduras, na pavimentação asfáltica, podem ser decorrentes de vários fatores como desgaste natural, frenagens de veículos, e em casos extremos de sobrecargas excessivas de veículos e vibrações excessivas como indicativos nas perdas de protensão em função das pequenas movimentações das peças de madeira. Essa abrasão mecânica produz desgaste na superfície da pavimentação asfáltica que é essencial como impermeabilização, para proteção física da madeira e proteção biológica dos fatores de intemperismo nas peças de madeira do tabuleiro. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Essas degradações com aberturas das rachaduras na pavimentação asfáltica do tabuleiro, são pontos favoráveis para infiltrações e concentrações de umidades de águas de chuva, que percolam entre as peças de madeira dispostas paralelamente, até a face inferior do tabuleiro. ✓ Foram detectados pontos de umidades na parte inferior do tabuleiro (setas azuis), hifas e sinais de fungos manchadores e emboloradores, principalmente nas regiões dessas aberturas, e nas regiões de apoios das cabeceiras da ponte, sobre os muros de contenções de terra, mais acentuada ao lado sul da ponte, onde a cota de nível é mais baixa (vista do tabuleiro e cabeceira ao lado sul da ponte), BRITO e CALIL JR. (2013)f. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ao longo do tempo, essas regiões com umidade, hifas e fungos manchadores e emboloradores, são propensas a fontes geradoras favoráveis ao aparecimento de agentes biodeterioradores na madeira, principalmente por fungos apodrecedores (vista do tabuleiro e cabeceira ao lado norte da ponte). ✓ O recapeamento da pavimentação asfáltica associada com a tecnologia em aplicação de mantas geosintéticas nas interfaces da ponte com a pista de rolamento, contribuem com o aumento da Vida útil da madeira d o tabuleiro, e dos muros de contenções de terra, pois o revestimento asfáltico contribui como fator impermeabilizante, BRITO e CALIL JR. (2013)f. 	

9.8 Ponte Batalha

Tabela 9.43. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte Batalha, Paracatu – MG

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>Localização: Ponte “Batalha”, Paracatu – MG Dados de Projeto: Informações CALIL et al (2006) Tipo de uso: Ponte Rodoviária Classe TB 45 Sistema Estrutural: misto madeira roliça e concreto armado Vão Livre: 2 trechos (15 m + 5,45m Compr.); 4 m Larg. Espécie: Eucalyptus citriodora Tratamento Preservativo: CCA Fundações: Muros de Concreto Armado Finalidade das inspeções: Inspeções periódicas preventivas, para avaliações dos elementos estruturais de madeira. Tipos de Inspeções: Pré-inspeção e Nível 1 (Geral) Classe de Prioridade de Intervenção Geral: ● Classe Amarela Visitas Técnicas: início em 8 de maio de 2012 Qtde. de fotos arquivadas (CD’s/DVD’s/SD’s): 136 fotos Foto: BRITO (2012); BRITO e CALIL JR. (2013)d</p>	
<p>Elementos avaliados: ✓ 9 longarinas de madeira roliça (diâmetro médio 43 cm); ✓ pavimentação de concreto ✓ sistemas de drenagens (coletores de águas pluviais); ✓ muros de contenções de concreto armado (avaliações visuais superficiais) CPI: ● Nas bases dos muros de contenções foram detectados: ✓ germinação de algumas vegetações no concreto; ✓ e lixiviações superficiais da pasta de concreto, evidenciando agregados expostos. Foto: BRITO (2012); BRITO e CALIL JR. (2013)d</p>	
<p>CPI: ● Uma associação de fatores causados por agentes físicos, como acúmulo de solo nos tabuleiro, frenagens bruscas de veículos, têm causado manifestações patológicas produzido desgaste na superfície de concreto do tabuleiro, deixando os agregados expostos: ✓ abrasão mecânica por atrito e regiões pontuais nos guarda-rodas com destacamento do concreto, em função do impacto de pneus de caminhões (manchas de pneus); ✓ Colmatação com solo, nos furos do sistema de drenagem do tabuleiro. ✓ Trincas no concreto nas regiões posições das extremidades, de encontro, das peças roliças de madeira, sobre o muro intermediário, formando uma junta de dilatação natural. Foto: BRITO (2012); BRITO e CALIL JR. (2013)d</p>	
<p>✓ Nas peças roliças, nas regiões próximas aos apoios, foram detectadas manchas superficiais de umidade; ✓ Nas peças de madeira roliça extremas, foram detectadas manchas superficiais de umidade, sinais escuros de fungos manchadores e emboloradores, e hifas esbranquiçadas; ✓ Em regiões pontuais, internas a algumas fendas inferiores nas longarinas de madeira roliça, e nos muros de contenções de concreto armado, foram detectados e sinais esbranquiçados de eflorescências de carbonato do concreto oriundos de lixiviação, e percolação entre as peças. ✓ O revestimento com manta geosintética e pavimentação asfáltica, e aplicações de pinturas stain, reduziram significativamente essas manifestações patológicas. CPI: ● Foto: BRITO (2012); BRITO e CALIL JR. (2013)d</p>	

9.9 Coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis

Tabela 9.44. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis


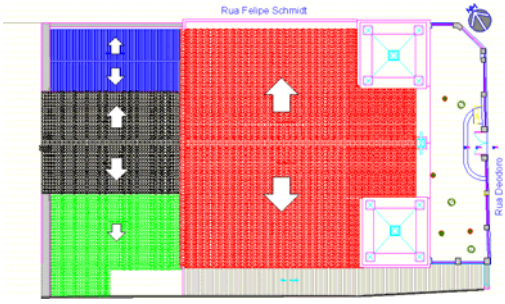
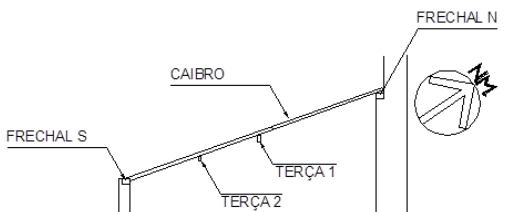
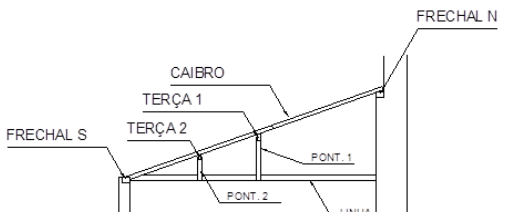
Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>Localização: Florianópolis - SC Coordenadas GPS: 27°35'48,49"S; 48°33'06,86"O; e 15 m Alt. Tipo de uso: Igreja São Francisco Espécie: Características visuais de Peroba Rosa Finalidade das inspeções: Avaliações das manifestações patológicas nos elementos estruturais de madeira, para proposta de reabilitação. Tipos de Inspeções: Pré-inspeção; Nível 1 (Geral) e Nível 2 (Det.) Classe de Prioridade de Intervenção Geral: ● Classe Vermelha Visitas Técnicas: de 26 a 29, de Junho de 2012 Coordenação: Eng. MSc. Henrique Partel / ENGETREL Avaliações Estruturais: Verificações conforme NBR 7190:1997 Elaboração Fichas Técnicas: Eng. MSc. Leandro Dussarrat Brito Elaborações de Relatórios: de 26 de Junho a 15 de Julho de 2012 Qtde. de fotos arquivadas (CD's/DVD's/SD's): 352 fotos "in loco"</p>	
<p>Legenda da Planta de locação da cobertura e respectivos Sistemas Estruturais: Cobertura Vermelha: Cobertura da Nave Principal (Sul e Norte) com Pórticos de Duas Águas com Vigas inclinadas. Cobertura Preta: Cobertura da Nave Mor (Sul e Norte) com Pórticos de Duas Águas com Vigas inclinadas. Cobertura Azul: Cobertura Externa com Pórticos de Duas Águas com Vigas inclinadas. Cobertura Verde: Cobertura da Sacristia em uma água com vigas inclinadas.</p>	
<p>Metodologias das avaliações "in loco": Inspeção Preliminar Nível 1 ✓ Levantamentos preliminares e marcações com giz; ✓ Inspeção Visual Geral. Inspeção Detalhada Nível 2 ✓ Inspeção Visual Geral; ✓ Sondagens internas com testes à Percussão; ✓ Sondagens superficiais com testes ao Puncionamento; ✓ Sondagens superficiais com testes de Picoteamento; ✓ Sondagens internas pontuais com Resistograph IML RESI F500, em regiões localizadas identificadas na inspeção preliminar de Nível 1; ✓ Avaliação de flechas em vigas inclinadas.</p>	 <p>Elevação: Vigas de 1 a 14 e 20 a 23 da Sacristia (Face Leste)</p>
<p>Na Cobertura Lateral Sul (cobertura da cozinha da sacristia) foram inspecionados: ✓ Vigas Principais; ✓ Vigas Secundárias.</p> <p>Na Cobertura Lateral Norte (cobertura do comercio) foram inspecionados: ✓ Vigas Principais; ✓ Vigas Secundárias.</p>	 <p>Elevação: Vigas de 15 a 19 da Sacristia (Face Leste)</p>

Tabela 9.45. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis

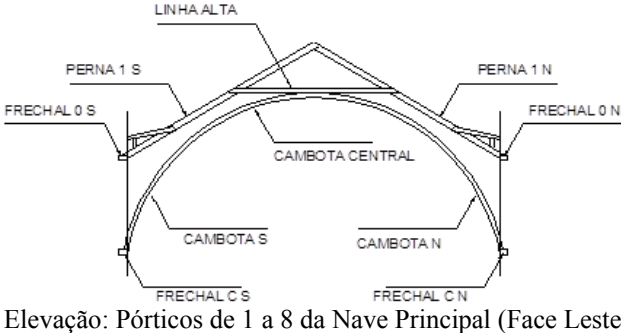
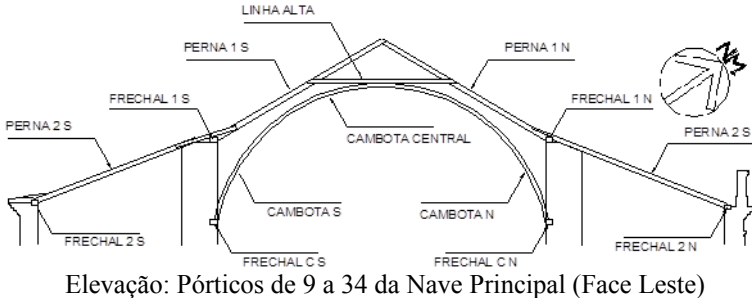
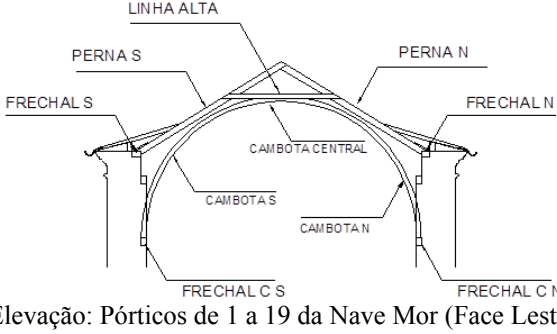
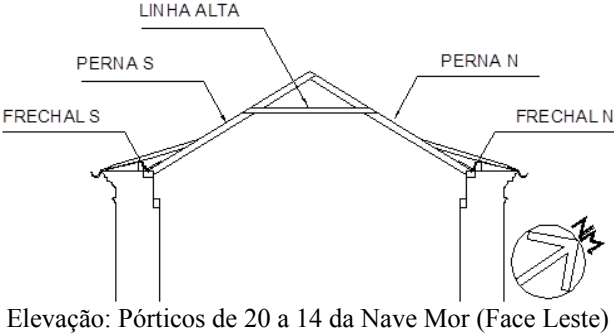
Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
 <p data-bbox="293 672 916 696">Elevação: Pórticos de 1 a 8 da Nave Principal (Face Leste)</p>	<p data-bbox="1011 353 1444 544">Na sequência das fichas dessa inspeção são apresentadas as avaliações com ênfase nos principais elementos estruturais das coberturas da “Nave Principal” e da “Capela Mor”, que são as principais estruturas de madeira das coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis, SC.</p>
 <p data-bbox="288 1064 932 1088">Elevação: Pórticos de 9 a 34 da Nave Principal (Face Leste)</p>	<p data-bbox="1011 757 1444 1088">Na cobertura da “Nave Principal” foram inspecionadas: Pernas 1 Sul (P1S): da C1 à C34; Pernas 2 Sul (P2S): da C9 à C34; Pernas 1 Norte (P1N): da C1 à C34; Pernas 2 Norte (P2N): da C9 à C34; Frechais 0 Sul; Frechais 1 Sul; Frechais 2 Sul; Frechais 0 Norte; Frechais 1 Norte; Frechais 2 Norte; Linhas Altas: da C1L à C34L; Cambotas dos Arcos: da CAMB1 à CAMB34; Frechais Sul das Cambotas; Frechais Norte das Cambotas.</p>
 <p data-bbox="309 1451 900 1476">Elevação: Pórticos de 1 a 19 da Nave Mor (Face Leste)</p>	<p data-bbox="1011 1137 1444 1384">Na Cobertura da “Capela Mor” foram inspecionadas: Pernas 1 Sul (P1S): da C1 à C24; Pernas 2 Sul (P2S): da C1 à C24; Pernas 1 Norte (P1N): da C1 à C24; Pernas 2 Norte (P2N): da C1 à C24; Frechais 1 Sul; Frechais 1 Norte; Linhas Altas: da C1L à C24L; Cambotas dos Arcos: da CAMB1 à CAMB24; Frechais Sul das Cambotas; Frechais Norte das Cambotas.</p>
 <p data-bbox="304 1843 911 1868">Elevação: Pórticos de 20 a 14 da Nave Mor (Face Leste)</p>	<p data-bbox="1011 1536 1444 1749">A fim de facilitar e padronizar as metodologias das inspeções gerais de Nível 1 e detalhadas de Nível 2, e proporcionar todos os elementos estruturais foram devidamente e numerados com identificações (ID), conforme seu posicionamento nas coordenadas cardeais, e localização na determinada estrutura.</p>

Tabela 9.46. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis

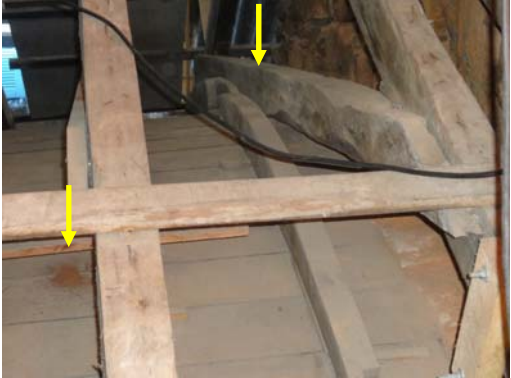


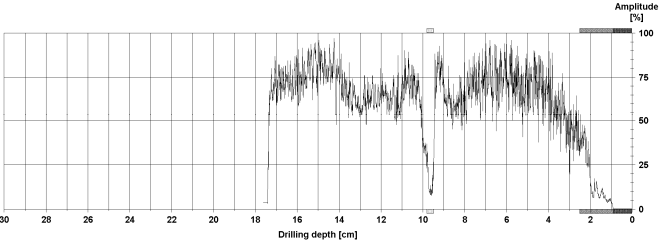

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual												
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C1L</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foram detectadas Técnica de Inspeção Visual geral, na inspeção preliminar de Nível 1, Manchas de umidade por infiltração, na Linha Alta (Viga Horizontal) NAVE C1L Cobertura da Nave Principal, BRITO e CALIL JR. (2013)b. ✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, e testes de picoteamento, região com ataque de cupim. Nesse ponto foi marcado com um asterisco para posterior em inspeção detalhada de nível 2, para avaliação interna da madeira com microperfuração controlada com o uso do Resistograph. ✓ Variações nas seções transversais. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>													
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C1L</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral, variações nas seções transversais. ✓ Manchas de umidade por infiltração, na Linha Alta (Viga Horizontal) NAVE C1L Cobertura da Nave Principal. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>													
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C1L</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Inspeção localizada com sondagem de microperfuração controlada com o uso do Resistograph IML RESI F500, no ponto pré-inspecionado pela técnica de inspeção visual geral, na Linha Alta (Viga Horizontal) NAVE C1L Cobertura da Nave Principal: A sondagem detectou as cavidades superficiais e internas, perdas de resistência à perfuração na região superficial externa. No entanto, conforme pode ser observado no Diagrama Resistograph da inspeção NAVE C1L, não ocorreu perda de resistência à perfuração significativa ao longo da seção. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>													
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  <table border="1" data-bbox="161 1906 411 1995"> <thead> <tr> <th colspan="2">Assessment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: #808080; width: 15px;"></td> <td>From 0,0 cm to 0,9 cm : Cavidade Cupim</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #696969; width: 15px;"></td> <td>From 0,9 cm to 2,5 cm : Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #4682B4; width: 15px;"></td> <td>From 9,5 cm to 9,8 cm : Cavidade</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #D3D3D3; width: 15px;"></td> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FFFFFF; width: 15px;"></td> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td> </tr> </tbody> </table> </div> <div style="flex: 0.5; margin-left: 10px;"> <p>Comment</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> Diagrama Ref: NAVE PRINCIPAL P1C1L </div> </div> </div> <p style="text-align: center;">Diagrama Resistograph ID: NAVE C1L. BRITO (2012)</p>	Assessment			From 0,0 cm to 0,9 cm : Cavidade Cupim		From 0,9 cm to 2,5 cm : Queda na Res. Perf.		From 9,5 cm to 9,8 cm : Cavidade		From 0,0 cm to 0,0 cm :		From 0,0 cm to 0,0 cm :	
Assessment													
	From 0,0 cm to 0,9 cm : Cavidade Cupim												
	From 0,9 cm to 2,5 cm : Queda na Res. Perf.												
	From 9,5 cm to 9,8 cm : Cavidade												
	From 0,0 cm to 0,0 cm :												
	From 0,0 cm to 0,0 cm :												

Tabela 9.47. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)



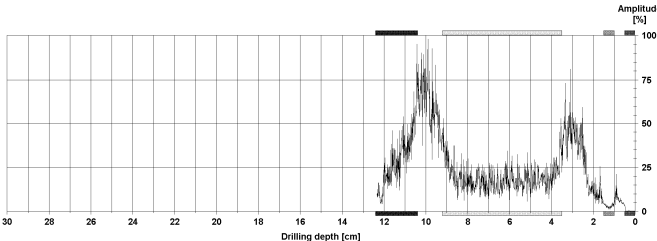


Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual														
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C2-P1S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na inspeção preliminar de Nível 1, pela Técnica de Inspeção Visual Geral na região da Perna 1 Sul (Viga Inclinada) C2-P1S na Cobertura da Nave Principal, foram detectado na região abaixo da viga, um acúmulo de resíduos de pequenos grânulos ovalados, que evidenciam ataque por cupins em atividade. Essa peça foi marcada para posterior avaliação em inspeção detalhada de Nível 2. ✓ Em etapa posterior, nessa viga foram realizadas Inspeções Visuais Detalhadas, com testes de picoteamento e com testes de percussão. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>															
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C2-P1S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pelas técnicas de picoteamento, e inspeção visual detalhada, foram detectadas cavidades com resíduos de pequenos grânulos ovalados que caracterizam a presença ativa de térmitas (cupins), na região superficial da Perna 1 Sul (Viga Inclinada) C2-P1S na Cobertura da Nave Principal. Nesse ponto foi marcado com um asterisco para posterior em inspeção detalhada de nível 2, para avaliação interna da madeira com microperfuração controlada com o uso do Resistograph. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>															
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C2-P1S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Inspeção localizada com sondagem de microperfuração controlada com o uso do Resistograph IML RESI F500, no ponto pré-inspecionado pela técnica de inspeção visual geral, da Perna 1 Sul (Viga Inclinada) C2-P1S na Cobertura da Nave Principal: A sondagem detectou as cavidades superficiais e significativas perdas de resistência à perfuração interna na madeira, conforme pode ser observado no Diagrama Resistograph da inspeção NAVE C2-P1S. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>															
<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;">  <table border="1" style="font-size: small; width: 100%;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Assessment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="background-color: black; width: 10px;"></td> <td>From 0,0 cm to 0,5 cm : Cavidades de Cupim</td> </tr> <tr> <td style="background-color: gray; width: 10px;"></td> <td>From 1,0 cm to 1,5 cm : Cavidades</td> </tr> <tr> <td style="background-color: lightgray; width: 10px;"></td> <td>From 3,5 cm to 5,2 cm : Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td style="background-color: white; width: 10px;"></td> <td>From 10,4 cm to 12,4 cm : Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td style="background-color: white; width: 10px;"></td> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td> </tr> <tr> <td style="background-color: white; width: 10px;"></td> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td> </tr> </tbody> </table> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-top: 5px;"> <p style="font-size: x-small; margin: 0;">Comment</p> <p style="font-size: x-small; margin: 0;">Diagrama Ref: NAVE PRINCIPAL P1SC2</p> </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">Diagrama Resistograph ID: NAVE C2-P1S. BRITO (2012)</p> </div> <td data-bbox="935 1675 1442 2051">  </td>	Assessment			From 0,0 cm to 0,5 cm : Cavidades de Cupim		From 1,0 cm to 1,5 cm : Cavidades		From 3,5 cm to 5,2 cm : Queda na Res. Perf.		From 10,4 cm to 12,4 cm : Queda na Res. Perf.		From 0,0 cm to 0,0 cm :		From 0,0 cm to 0,0 cm :	
Assessment															
	From 0,0 cm to 0,5 cm : Cavidades de Cupim														
	From 1,0 cm to 1,5 cm : Cavidades														
	From 3,5 cm to 5,2 cm : Queda na Res. Perf.														
	From 10,4 cm to 12,4 cm : Queda na Res. Perf.														
	From 0,0 cm to 0,0 cm :														
	From 0,0 cm to 0,0 cm :														

Tabela 9.48. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)





Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C5-P1S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na inspeção preliminar de Nível 1, pela Técnica de Inspeção Visual Geral na região da Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C5-P1S na Cobertura da Nave Principal, foram detectados resíduos de pequenos grânulos ovalados, que evidenciam ataque por cupins em atividade. ✓ Foram detectadas significativas fendas longitudinais; ✓ Essa peça foi marcada para posterior avaliação em inspeção detalhada de Nível 2, em que foram realizados Inspeção Visual Detalhada, com testes de percussão e testes de picoteamento ao longo do comprimento da viga. 	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C5-P1S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na inspeção detalhada de Nível 2, pela Técnica de Inspeção Visual Detalhada, e por testes de percussão e de picoteamento, na região da Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C5-P1S na Cobertura da Nave Principal, foram detectados resíduos de pequenos grânulos ovalados, que evidenciaram ataque por cupins em atividade. ✓ Também foram detectadas pela técnica de inspeção visual detalhada, significativas fendas longitudinais, que atravessavam em espessura ao longo da seção transversal, aproximadamente em todo comprimento, no eixo da viga. 	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C5-P1S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Detalhes gerais de orifícios, cavidades e resíduos de pequenos grânulos ovalados de ataques de cupins detectados pelos testes de picoteamento, na região central da Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C5-P1S na Cobertura da Nave Principal. 	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C5-P1S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Inspeção visual detalhada e testes de picoteamento, na região central da Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C5-P1S na Cobertura da Nave Principal: detalhes das características visuais de cavidades e resíduos de pequenos grânulos ovalados oriundos de ataques de cupins. 	

Foto: BRITO (2012)

Foto: BRITO (2012)

Foto: BRITO (2012)

Foto: BRITO (2012)

Tabela 9.49. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)





Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C5-P1N</p> <p>✓ Foram detectados pela técnica de inspeção visual detalhada, e testes de picoteamentos, cavidades com resíduos de pequenos grânulos ovalados que caracterizaram a presença de atividades de cupins, na Perna 1 Norte (Viga Inclinada) NAVE C5-P1N, da Cobertura da Nave Principal.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C6L</p> <p>✓ Foram detectados pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, e testes de puncionamento e picoteamento, acentuado nível de biodeterioração com características tátil/visuais de fungo de podridão mole em madeira com umidade saturada, no vão central da Linha Alta (Viga Horizontal) NAVE C6L da Cobertura da Nave Principal;</p> <p>✓ Também foram detectadas nessa viga, cavidades com grande quantidade de resíduos com pequenos grânulos ovalados que caracterizaram a presença de atividades de cupins, além de significativas fendas longitudinais, paralelas às fibras, BRITO e CALIL JR. (2013)g.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C7L</p> <p>✓ Na Linha Alta (Viga Horizontal) NAVE C7L da Cobertura da Nave Principal foram detectadas pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, cavidades com resíduos de pequenos grânulos ovalados que caracterizam a presença ativa de cupins, orifícios de brocas e fendas longitudinais.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C7L</p> <p>✓ Características visuais de cavidades com resíduos de pequenos grânulos ovalados que caracterizam a presença ativa de cupins, detectadas pela técnica de inspeção visual e testes de picoteamentos, na Linha Alta (Viga Horizontal) NAVE C7L da Cobertura da Nave Principal, BRITO e CALIL JR. (2013)g.</p>	

Tabela 9.50. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C6-P1S</p> <p>✓ Foram detectados pela técnica de inspeção visual geral, regiões com variações em reduções de seção transversal, confeccionada pelo sistema de madeira lavrada, que caracteriza madeira original da época da construção na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C6-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p> <p>Foto: BRITO (2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C6-P1S</p> <p>✓ Foram detectados pela técnica de inspeção visual detalhada, em região com variações em reduções de seção transversal, na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C6-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p> <p>Foto: BRITO (2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C6-P1S</p> <p>✓ Foram detectados pela técnica de inspeção visual geral, variações de seção transversal, anomalias na ligação de topo das vigas inclinadas e cavidades ataques de cupins, no topo na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C6-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p> <p>Foto: BRITO (2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C6-P1S</p> <p>✓ Vista lateral do topo na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C6-P1S da Cobertura da Nave Principal, em que foram detectados pela técnica de inspeção visual detalhada, variações de seção transversal, anomalias na ligação de topo das vigas inclinadas e grandes cavidades superficiais de galerias de ataques de cupins.</p> <p>Foto: BRITO (2012)</p>	

Tabela 9.51. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)


Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C7-P1S</p> <p>✓ Foram detectadas pela técnica de inspeção visual geral, reduções significativas na seção transversal, cavidades de ataque de cupins e fissuras longitudinais, na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C7-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p> <p>Foto: BRITO (2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C7-P1S</p> <p>✓ Detectado reduções na seção e fissuras pelas técnicas de inspeção visual geral e detalhada na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) C7-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p> <p>ID: NAVE CL7</p> <p>✓ Características visuais de cavidades com resíduos de pequenos grânulos ovalados que caracterizam a presença ativa de cupins, detectadas pela técnica de inspeção visual e testes de picoteamentos, na extremidade sul da Linha Alta (Viga Horizontal) NAVE C7L da Cobertura da Nave Principal.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C7-P1S</p> <p>✓ Características visuais de reduções na seção detectadas pela técnica de inspeção visual geral na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) C7-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p> <p>Foto: BRITO (2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C7-P1S</p> <p>✓ Características visuais cavidades de ataque de cupins e reduções na seção transversal, detectadas pela técnica de inspeção visual detalhada, na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C7-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p>	

Tabela 9.52. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual												
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C8-P1S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral reduções na seção transversal, fissuras; e foram observados acentuados nível de ataque de cupins, principalmente no topo da Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C8-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p> <p>Foto: BRITO (2012)</p>													
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C8-P1S</p> <p>✓ Características visuais de reduções de seção transversal, ataques de cupins e fissuras longitudinais. Observou-se que a Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C8-P1S da Cobertura da Nave Principal, apresenta características de madeira lavrada (técnicas de cortes utilizados na época da construção), evidenciando ser uma viga original da época da construção.</p> <p>Foto: BRITO (2012)</p>													
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C8-P1S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, reduções de seção transversal, ataque de cupins e fissuras longitudinais.</p> <p>✓ Detalhe da inspeção de sondagem com o Resistograph, realizada na região pré-inspecionada, tanto pela técnica de inspeção visual geral de Nível 1 quanto pela técnica de inspeção visual detalhada na isenção de Nível 2, onde foram detectadas cavidades de ataque de cupins, e perdas acentuadas de resistência à perfuração, na região central da Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C8-P1S da Cobertura da Nave Principal (Diagrama Resistograph ID: NAVE C8-P1S).</p> <p>Foto: BRITO (2012)</p>													
 <p>Assessment</p> <table border="1" data-bbox="167 1910 422 1984"> <tr> <td>From 0,0 cm to 1,0 cm</td> <td>: Cavidades de Cupim</td> </tr> <tr> <td>From 1,0 cm to 4,0 cm</td> <td>: Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>From 4,4 cm to 7,0 cm</td> <td>: Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>From 7,0 cm to 7,9 cm</td> <td>: Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>From 9,9 cm to 10,2 cm</td> <td>: Cavidade</td> </tr> <tr> <td>From 10,2 cm to 12,8 cm</td> <td>: Queda na Res. Perf.</td> </tr> </table> <p>Comment</p> <p>Diagrama Ref. NAVE PRINCIPAL CSP1S</p> <p>Diagrama Resistograph ID: NAVE C8-P1S. BRITO (2012)</p>	From 0,0 cm to 1,0 cm	: Cavidades de Cupim	From 1,0 cm to 4,0 cm	: Queda na Res. Perf.	From 4,4 cm to 7,0 cm	: Queda na Res. Perf.	From 7,0 cm to 7,9 cm	: Queda na Res. Perf.	From 9,9 cm to 10,2 cm	: Cavidade	From 10,2 cm to 12,8 cm	: Queda na Res. Perf.	
From 0,0 cm to 1,0 cm	: Cavidades de Cupim												
From 1,0 cm to 4,0 cm	: Queda na Res. Perf.												
From 4,4 cm to 7,0 cm	: Queda na Res. Perf.												
From 7,0 cm to 7,9 cm	: Queda na Res. Perf.												
From 9,9 cm to 10,2 cm	: Cavidade												
From 10,2 cm to 12,8 cm	: Queda na Res. Perf.												

Tabela 9.53. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)



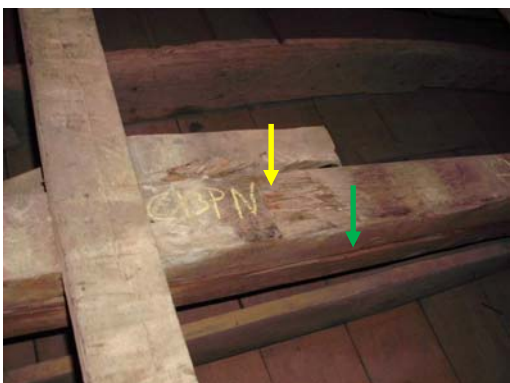

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C8-P2S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, extremidade da viga com teor de umidade elevado, com características visuais com umidade saturada e de biodeterioração por ataque de fungo apodrecedor, e fendilhados na extremidade superior da Perna 2 Sul (Viga Inclinada) NAVE C8-P2S da Cobertura da Nave Principal, BRITO e CALIL JR. (2013)g.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C9-P1N</p> <p>✓ Detectado fendas longitudinais significativas pela técnica de inspeção visual geral de detalhada na Perna 1 Norte (Viga Inclinada) NAVE C9-P1N da Cobertura da Nave Principal</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C13-P1N</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, fenda longitudinal significativa e cavidades de ataque de cupins com grânulos ovalados, pelo teste de picoteamento, Na Perna 1 Norte (Viga Inclinada) NAVE C13-P1N da Cobertura da Nave Principal.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C13-P1S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, fenda longitudinal expressiva, na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C13-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p>	

Tabela 9.54. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)




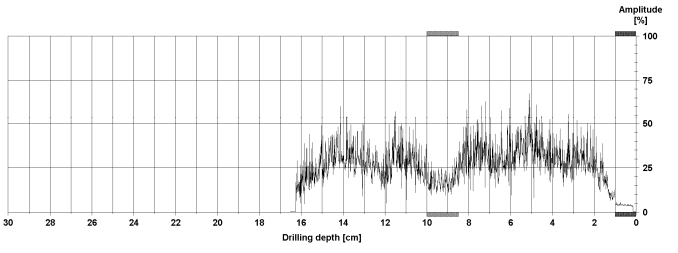

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual															
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C10-P1S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Detectada pela técnica de inspeção visual geral, anomalia na ligação de topo ente vigas inclinadas da Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C10-P1S com a Perna 1 Norte (Viga Inclinada) NAVE C10-P1N da Cobertura da Nave Principal. <p>Foto: BRITO (2012)</p>																
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C10-P1S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral de Nível 1 e detalhada de Nível 2, orifícios de cupins e manchas de umidade na região central da Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C10-P1S da Cobertura da Nave Principal; ✓ Após realizada a inspeção visual detalhada de Nível 2 foi realizada a inspeção com sondagem localizada, interna da peça, com o uso do Resistograph IML RESI F500 (visão geral da execução na investigação com essa técnica “in loco”). <p>Foto: BRITO (2012)</p>																
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C10-P1S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Técnica de inspeção com sondagem localizada com o uso do Resistograph IML RESI F500 observa-se que foram detectadas cavidades superficiais de ataques de cupins, e perda na resistência à perfuração (Diagrama Resistograph ID: NAVE C10-P1S), na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C10-P1S da Cobertura da Nave Principal. ✓ Observa-se na foto seguinte dois furos próximos de Φ 3 mm gerados pelo Resistograph na peça. <p>Foto: BRITO (2012)</p>																
 <p>Assessment</p> <table border="1" data-bbox="150 1904 414 1982"> <tr> <td>■</td> <td>From 0,0 cm to 1,0 cm :</td> <td>Cavidade de Cupim</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 8,5 cm to 10,0 cm :</td> <td>Queda na Resistência</td> </tr> <tr> <td>□</td> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td> <td></td> </tr> <tr> <td>□</td> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td> <td></td> </tr> <tr> <td>□</td> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td> <td></td> </tr> </table> <p>Comment</p> <p>Diagrama Ref: NAVE PRINCIPALPSC10</p>	■	From 0,0 cm to 1,0 cm :	Cavidade de Cupim	■	From 8,5 cm to 10,0 cm :	Queda na Resistência	□	From 0,0 cm to 0,0 cm :		□	From 0,0 cm to 0,0 cm :		□	From 0,0 cm to 0,0 cm :		
■	From 0,0 cm to 1,0 cm :	Cavidade de Cupim														
■	From 8,5 cm to 10,0 cm :	Queda na Resistência														
□	From 0,0 cm to 0,0 cm :															
□	From 0,0 cm to 0,0 cm :															
□	From 0,0 cm to 0,0 cm :															

Diagrama Resistograph ID: NAVE C10-P1S. BRITO (2012)

Tabela 9.55. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)


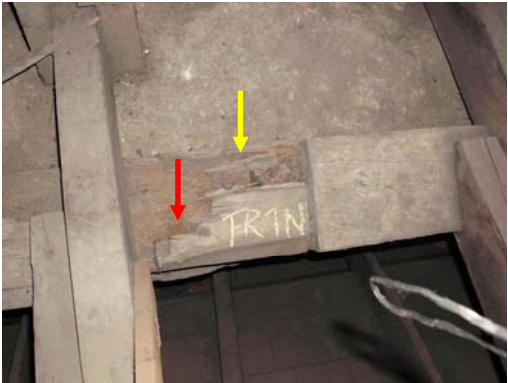
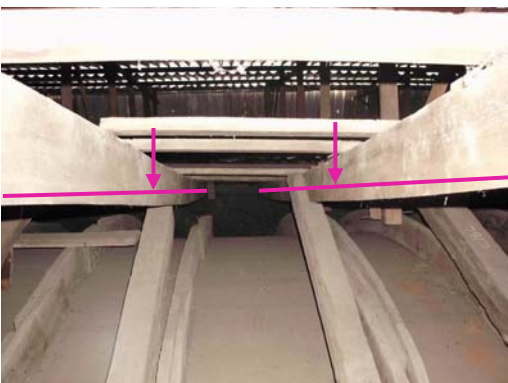

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C9-P1S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, manchas de umidade no topo, fendas longitudinais significativas e reduções de seção na região central e no topo da Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C9-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p> <p>Foto: BRITO (2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE F1N</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral, detalhada e testes puncionamento e de picoteamento, fungos apodrecedores, ataques excessivos de cupins, e fendas longitudinais no Frechal 1 Norte NAVE F1N da Cobertura da Nave Principal.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C16-P1S</p> <p>ID: NAVE C17-P1S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral, flechas devido à fluência (flechas diferidas no tempo) nas vigas inclinadas C16-P1S e C17-P1S das Pernas 1 Sul da Cobertura da Nave Principal.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C18L</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral e detalhada cavidades de ataques de cupins e fendas longitudinais na Linha Alta (Viga Horizontal) NAVE C18L da Cobertura da Nave Principal.</p>	

Tabela 9.56. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)




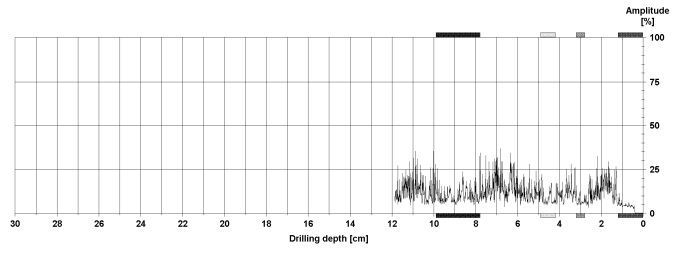

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual														
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C17-P1S</p> <p>ID: NAVE C17L</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral e detalhada redução na seção no topo da viga inclinada NAVE C17-P1S; ✓ Fendas longitudinais, cavidades de ataques de cupins, e manchas de umidade na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C17-P1S; ✓ e cavidades de ataques de cupins na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C17-P1S e na Linha Alta (Viga Horizontal) C17L da Cobertura da Nave Principal. 															
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C17-P1S</p> <p>ID: NAVE C17L</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Características visuais de cavidades de ataques de cupins, detectadas pela técnica de inspeção visual detalhada na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C17-P1S e na Linha Alta (Viga Horizontal) C17L da Cobertura da Nave Principal. 															
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C17-P1S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Após realizadas as inspeções gerais de Nível 1 e detalhas de nível 2, foi realizada a inspeção com sondagem localizada com o uso do Resistograph IML RESI F500, e foram detectadas pelo equipamento, cavidades de ataques de cupins e perdas acentuadas de resistência à perfuração (Diagrama Resistograph ID: NAVE C17-P1S). 															
 <table border="1" data-bbox="159 1899 411 1982"> <thead> <tr> <th colspan="2">Assessment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>From 0,0 cm to 1,2 cm :</td> <td>Cavidade de Cupim</td> </tr> <tr> <td>From 2,8 cm to 3,2 cm :</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>From 4,2 cm to 4,8 cm :</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>From 7,8 cm to 9,8 cm :</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td> <td></td> </tr> <tr> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="657 1899 805 1982">Comment Diagrama Ref: NAVE PRINCIPALPSC17</p>	Assessment		From 0,0 cm to 1,2 cm :	Cavidade de Cupim	From 2,8 cm to 3,2 cm :	Queda na Res. Perf.	From 4,2 cm to 4,8 cm :	Queda na Res. Perf.	From 7,8 cm to 9,8 cm :	Queda na Res. Perf.	From 0,0 cm to 0,0 cm :		From 0,0 cm to 0,0 cm :		
Assessment															
From 0,0 cm to 1,2 cm :	Cavidade de Cupim														
From 2,8 cm to 3,2 cm :	Queda na Res. Perf.														
From 4,2 cm to 4,8 cm :	Queda na Res. Perf.														
From 7,8 cm to 9,8 cm :	Queda na Res. Perf.														
From 0,0 cm to 0,0 cm :															
From 0,0 cm to 0,0 cm :															
Diagrama Resistograph ID: NAVE C17-P1S. BRITO (2012)															

Tabela 9.57. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)





Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C20-P1N</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, fendilhados na região do nó e ataques de cupins, na Perna 1 Norte (Viga Inclinada) NAVE C20-P1N da Cobertura da Nave Principal.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C20-P1S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, manchas de umidade, redução na seção transversal e fendas longitudinais, na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C20-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p> <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C20L</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, cavidades de ataques de cupins e fenda longitudinal expressiva, na Linha Alta (Viga Horizontal) NAVE C20L da Cobertura da Nave Principal.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C28-P2S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral reforços com cobrejuntas paralelas laterais, executadas com concepção inadequada, na Perna 2 Sul (Viga Inclinada) NAVE C28-P2S da Cobertura da Nave Principal.</p>	

Tabela 9.58. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)


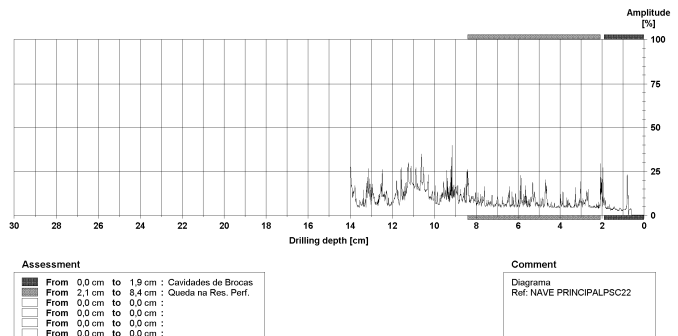

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C21-P1S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Detectado pela técnica de inspeção visual reduções de seção transversal, fendas longitudinais, cavidades de ataque de cupins e manchas de umidade, na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C21-P1S da Cobertura da Nave Principal ✓ Após realizadas as inspeções de Nível 1 e de Nível 2 foi realizada a inspeção com sondagem localizada com o uso do Resistograph IML RESI F500, e foram constatadas cavidades de ataques de cupins e perdas acentuadas de resistência à perfuração (Diagrama Resistograph ID: NAVE C21-P1S). <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>	
 <p>Diagrama Resistograph ID: NAVE C21-P1S. BRITO (2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C22-P1S (Região Central)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, cavidades de ataque de brocas, manchas de umidade e fendas longitudinais, Na região central da Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C22-P1S da Cobertura da Nave Principal; ✓ Foram constatados reforços com escoramentos nas pernas C21-P1S e C22-P1S com calços soltos inadequados; ✓ Foram detectadas pela sondagem com o Resistograph as cavidades superficiais de brocas e perdas acentuadas na resistência à perfuração (Diagrama Resistograph ID: NAVE C22-P1S (Central)). <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>	
 <p>Diagrama Resistograph ID: NAVE C22-P1S (Central).</p>	

Tabela 9.59. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual																												
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C22-P1S (topo)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Detectada pela técnica de inspeção visual detalhada, e cavidades de ataque de brocas, manchas de umidade, e fendas longitudinais no topo da Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C22-P1S da Cobertura da Nave Principal; ✓ Observou-se reforços de escoramentos nas pernas C21-P1S e C22-P1S com calços soltos inadequados; ✓ Em sondagem com o Resistograph foram constatadas cavidades superficiais de brocas e perdas acentuadas de resistência à perfuração (Diagrama Resistograph ID: NAVE C22-P1S (Topo)). <p>Foto: BRITO (2012)</p>																													
 <p>Diagrama Resistograph ID: NAVE C22-P1S (Topo)</p> <table border="1" data-bbox="240 1041 502 1120"> <thead> <tr> <th>Assessment</th> <th>From</th> <th>To</th> <th>Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>■</td> <td>From 0,0 cm</td> <td>to 0,9 cm</td> <td>Cavidades de Brocas</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 0,9 cm</td> <td>to 4,9 cm</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 5,9 cm</td> <td>to 8,2 cm</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 9,6 cm</td> <td>to 10,5 cm</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 11,5 cm</td> <td>to 13,8 cm</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 13,8 cm</td> <td>to 15,8 cm</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> </tbody> </table> <p>Comment: Diagrama Ref: NAVE PRINCIPALPSC22</p>	Assessment	From	To	Comment	■	From 0,0 cm	to 0,9 cm	Cavidades de Brocas	■	From 0,9 cm	to 4,9 cm	Queda na Res. Perf.	■	From 5,9 cm	to 8,2 cm	Queda na Res. Perf.	■	From 9,6 cm	to 10,5 cm	Queda na Res. Perf.	■	From 11,5 cm	to 13,8 cm	Queda na Res. Perf.	■	From 13,8 cm	to 15,8 cm	Queda na Res. Perf.	
Assessment	From	To	Comment																										
■	From 0,0 cm	to 0,9 cm	Cavidades de Brocas																										
■	From 0,9 cm	to 4,9 cm	Queda na Res. Perf.																										
■	From 5,9 cm	to 8,2 cm	Queda na Res. Perf.																										
■	From 9,6 cm	to 10,5 cm	Queda na Res. Perf.																										
■	From 11,5 cm	to 13,8 cm	Queda na Res. Perf.																										
■	From 13,8 cm	to 15,8 cm	Queda na Res. Perf.																										
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C23-P1S</p> <p>ID: NAVE C23-P1N</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foi detectado pela técnica de inspeção visual geral, anomalias na ligação de topo, entre as vigas inclinadas C23-P1S com C23-P1N, do pórtico 23 da Cobertura da Nave Principal. <p>Foto: BRITO (2012)</p>																													
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C27-P2N</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, região de apoio de viga de madeira com fendilhamento comprometido por entalhe executado de maneira incorreta, na extremidade superior da Perna 2 Norte (Viga Inclinada) NAVE C27-P2N da Cobertura da Nave Principal. 																													

Tabela 9.60. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)


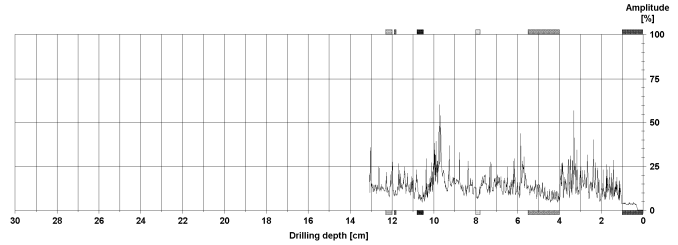


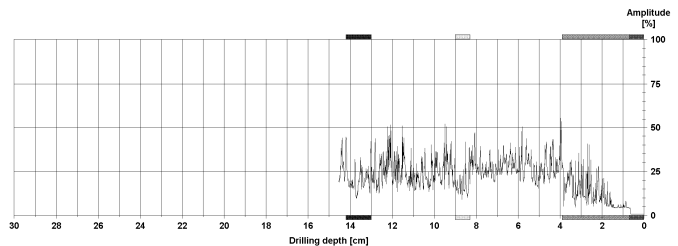
Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual																	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C23-P2S e ID: NAVE C24-P2S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, manchas de umidade e orifícios de cupim na Perna 2 Sul (Viga Inclinada) NAVE C23-P2S da Cobertura da Nave Principal. ✓ Após as inspeção de Nível 1 e de Nível 2 foi realizada sondagem com o Resistograph da peça estrutural NAVE C23-P2S, e foram constatadas cavidades superficiais do ataque de cupins e perdas de resistência à perfuração (Diagrama Resistograph ID: NAVE C23-P2S). ✓ Detectado pela inspeção visual geral, peça C24-P2S com flambagem lateral acentuada. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>																		
 <table border="1" data-bbox="159 1041 805 1131"> <thead> <tr> <th colspan="2">Assessment</th> <th>Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>■</td> <td>From 0,0 cm to 1,0 cm : Cavidades de Cupim</td> <td rowspan="5">Diagrama Ref: NAVE PRINCIPALP2S23</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 4,0 cm to 5,5 cm : Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 7,8 cm to 8,0 cm : Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 10,5 cm to 10,8 cm : Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 11,8 cm to 11,9 cm : Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 12,0 cm to 12,3 cm : Queda na Res. Perf.</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Diagrama Resistograph ID: NAVE C23-P2S. BRITO (2012)</p>	Assessment		Comment	■	From 0,0 cm to 1,0 cm : Cavidades de Cupim	Diagrama Ref: NAVE PRINCIPALP2S23	■	From 4,0 cm to 5,5 cm : Queda na Res. Perf.	■	From 7,8 cm to 8,0 cm : Queda na Res. Perf.	■	From 10,5 cm to 10,8 cm : Queda na Res. Perf.	■	From 11,8 cm to 11,9 cm : Queda na Res. Perf.	■	From 12,0 cm to 12,3 cm : Queda na Res. Perf.		
Assessment		Comment																
■	From 0,0 cm to 1,0 cm : Cavidades de Cupim	Diagrama Ref: NAVE PRINCIPALP2S23																
■	From 4,0 cm to 5,5 cm : Queda na Res. Perf.																	
■	From 7,8 cm to 8,0 cm : Queda na Res. Perf.																	
■	From 10,5 cm to 10,8 cm : Queda na Res. Perf.																	
■	From 11,8 cm to 11,9 cm : Queda na Res. Perf.																	
■	From 12,0 cm to 12,3 cm : Queda na Res. Perf.																	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C25-P1S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, fendas longitudinais expressivas, com espessuras superiores a 10 mm, e reduções significativas na seção por ataques de cupins, na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C25-P1S da Cobertura da Nave Principal. ✓ Também foram observadas manchas de umidade, e presença de Hifas nessa viga, e nas terças das suas proximidades. 																		
 <table border="1" data-bbox="159 1892 805 1982"> <thead> <tr> <th colspan="2">Assessment</th> <th>Comment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>■</td> <td>From 0,0 cm to 0,7 cm : Cavidades Cupim</td> <td rowspan="5">Diagrama Ref: NAVE PRINCIPALP2NC25</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 0,7 cm to 3,9 cm : Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 8,3 cm to 9,0 cm : Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 13,0 cm to 14,2 cm : Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm : Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <p>Diagrama Resistograph ID: NAVE C25-P2N. BRITO (2012)</p>	Assessment		Comment	■	From 0,0 cm to 0,7 cm : Cavidades Cupim	Diagrama Ref: NAVE PRINCIPALP2NC25	■	From 0,7 cm to 3,9 cm : Queda na Res. Perf.	■	From 8,3 cm to 9,0 cm : Queda na Res. Perf.	■	From 13,0 cm to 14,2 cm : Queda na Res. Perf.	■	From 0,0 cm to 0,0 cm : Queda na Res. Perf.	■	From 0,0 cm to 0,0 cm :		<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C25-P2N</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Após realizadas as inspeções visuais de Nível 1 e detalhadas de Nível 2, na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C25-P2N da Cobertura da Nave Principal, foi realizada inspeção com sondagem localizada com o uso do Resistograph IML RESI F500, e foram constatadas cavidades superficiais de ataques de cupins e perdas de resistência à perfuração como pode ser observado no Diagrama Resistograph ID: NAVE C25-P2N. <p style="text-align: right;">Fonte: BRITO (2012)</p>
Assessment		Comment																
■	From 0,0 cm to 0,7 cm : Cavidades Cupim	Diagrama Ref: NAVE PRINCIPALP2NC25																
■	From 0,7 cm to 3,9 cm : Queda na Res. Perf.																	
■	From 8,3 cm to 9,0 cm : Queda na Res. Perf.																	
■	From 13,0 cm to 14,2 cm : Queda na Res. Perf.																	
■	From 0,0 cm to 0,0 cm : Queda na Res. Perf.																	
■	From 0,0 cm to 0,0 cm :																	

Tabela 9.61. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)


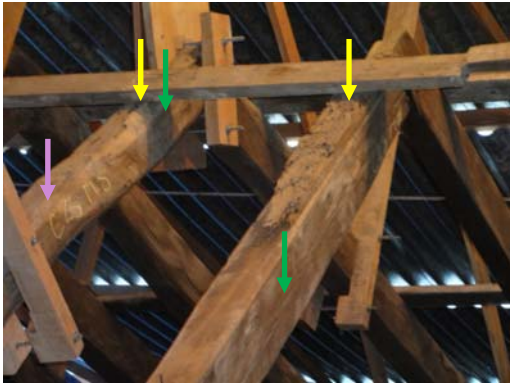
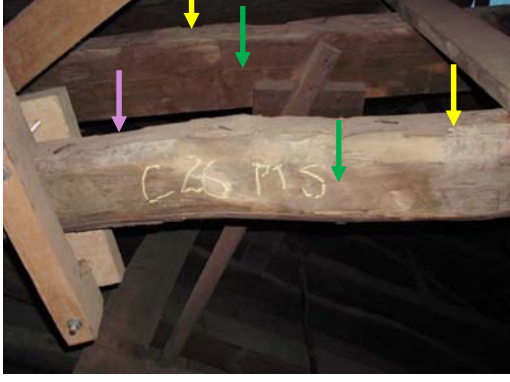

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C26-P1S</p> <p>✓ Foram detectadas pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, ataques de cupins, reduções na seção transversal, e fendas longitudinais significativas na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C26-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p> <p>Foto: BRITO (2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C25-P1S</p> <p>ID: NAVE C26-P1S</p> <p>✓ Características visuais detectadas pela técnica de inspeção visual detalhada, cavidades de ataques de cupins, reduções na seção transversal, e fendas longitudinais, nas vigas inclinadas C25-P1S e C26-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p> <p>Foto: BRITO (2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C26-P1S</p> <p>ID: NAVE C27-P1S</p> <p>✓ Detalhes observados pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, de reduções na seção transversal, fendas longitudinais significativas, decorrentes de ataques de cupins, na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C26-P1S da Cobertura da Nave Principal;</p> <p>✓ Também foram observados que a Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C27-P1S da Cobertura da Nave Principal, foi reforçada provisoriamente com escora com dimensão de seção transversal insuficiente.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C26L</p> <p>✓ Um bom indicativo na evidência de ataque de cupins em atividade é a presença de grânulos ovalados que ficam depositadas em pequenos montes, em regiões de proximidades logo abaixo do ponto atacado.</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, e por testes de picoteamento, cavidades com resíduos de pequenos grânulos ovalados que caracterizam a presença ativa de ataque de cupins, na Linha Alta (Viga Horizontal) NAVE C26L da Cobertura da Nave Principal.</p> <p>✓ Também foram observadas manchas de umidade, que podem evidenciar fungos apodrecedores nessa viga.</p>	

Tabela 9.62. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)



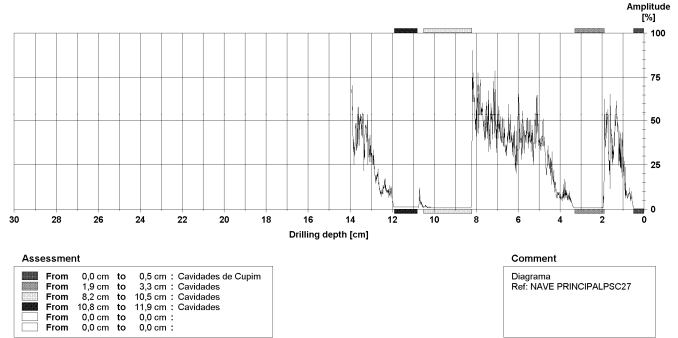

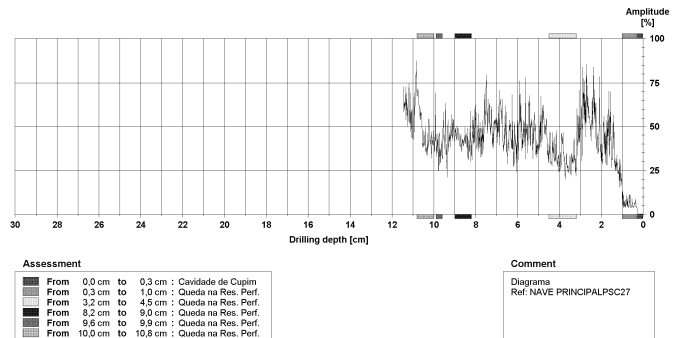

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual												
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C27-P1S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Características visuais de ataque acentuado de cupins, detectados pela técnica de inspeção visual detalhada e testes de picoteamento, na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C27-P1S da Cobertura da Nave Principal; ✓ Após realizadas as inspeções visuais gerais de Nível 1 e detalhadas de Nível 2 na viga inclinada NAVE C27-P1S, foram realizadas duas microperfurações de sondagens com o Resistograph IML RESI F500 identificadas pela ID: NAVE C27-P1S (Topo) com deteriorações significativas e a ID: NAVE C27-P1S (Central) com deteriorações menos significativas nesse ponto. 													
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C27-P1S (Topo)</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na avaliação da viga C27-P1S (TOPO) foram detectadas pela inspeção visual de Nível 1 e detalhada de Nível 2, fendas longitudinais expressivas, e cavidades significativas de ataques de cupins. Na “Inspeção Visual Detalhada de Nível 2”, e pela análise dos resultados do Diagrama Resistograph ID: NAVE C27-P1S (TOPO), nesse ponto pôde-se observar “in loco” as perdas significativas de resistência à perfuração e cavidades significativas internas na madeira, quando comparadas com o perfil impresso no papel com a face externa da seção localizada, pré-inspecionada, verificando essas reduções, perdas significativas e trechos de amplitude “ZERO” próximas às fendas longitudinais, BRITO e CALIL JR. (2013)c. 													
 <p>Assessment</p> <table border="1"> <tr> <td>From 0,0 cm to 0,5 cm</td> <td>Cavidades de Cupim</td> </tr> <tr> <td>From 1,0 cm to 3,3 cm</td> <td>Cavidades</td> </tr> <tr> <td>From 8,2 cm to 10,5 cm</td> <td>Cavidades</td> </tr> <tr> <td>From 10,8 cm to 11,9 cm</td> <td>Cavidades</td> </tr> <tr> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm</td> <td></td> </tr> </table> <p>Comment</p> <p>Diagrama Ref: NAVE PRINCIPALPSC27</p>	From 0,0 cm to 0,5 cm	Cavidades de Cupim	From 1,0 cm to 3,3 cm	Cavidades	From 8,2 cm to 10,5 cm	Cavidades	From 10,8 cm to 11,9 cm	Cavidades	From 0,0 cm to 0,0 cm				
From 0,0 cm to 0,5 cm	Cavidades de Cupim												
From 1,0 cm to 3,3 cm	Cavidades												
From 8,2 cm to 10,5 cm	Cavidades												
From 10,8 cm to 11,9 cm	Cavidades												
From 0,0 cm to 0,0 cm													
 <p>Assessment</p> <table border="1"> <tr> <td>From 0,0 cm to 0,3 cm</td> <td>Cavidade de Cupim</td> </tr> <tr> <td>From 0,3 cm to 1,0 cm</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>From 3,2 cm to 4,5 cm</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>From 8,2 cm to 9,0 cm</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>From 9,6 cm to 9,9 cm</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>From 10,0 cm to 10,8 cm</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> </table> <p>Comment</p> <p>Diagrama Ref: NAVE PRINCIPALPSC27</p>	From 0,0 cm to 0,3 cm	Cavidade de Cupim	From 0,3 cm to 1,0 cm	Queda na Res. Perf.	From 3,2 cm to 4,5 cm	Queda na Res. Perf.	From 8,2 cm to 9,0 cm	Queda na Res. Perf.	From 9,6 cm to 9,9 cm	Queda na Res. Perf.	From 10,0 cm to 10,8 cm	Queda na Res. Perf.	
From 0,0 cm to 0,3 cm	Cavidade de Cupim												
From 0,3 cm to 1,0 cm	Queda na Res. Perf.												
From 3,2 cm to 4,5 cm	Queda na Res. Perf.												
From 8,2 cm to 9,0 cm	Queda na Res. Perf.												
From 9,6 cm to 9,9 cm	Queda na Res. Perf.												
From 10,0 cm to 10,8 cm	Queda na Res. Perf.												

Diagrama Resistograph ID: NAVE C27-P1S (TOPO). BRITO (2012)

Diagrama Resistograph: NAVE C27-P1S (Central). BRITO (2012)

Tabela 9.63. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)

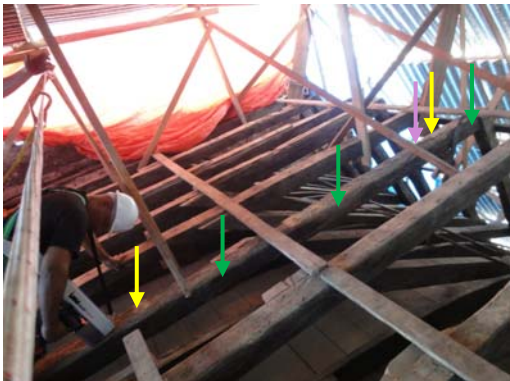
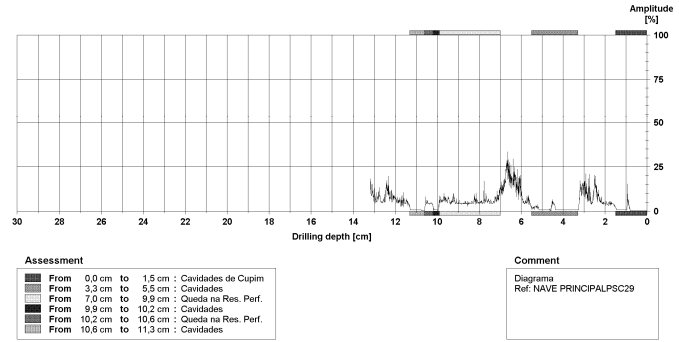
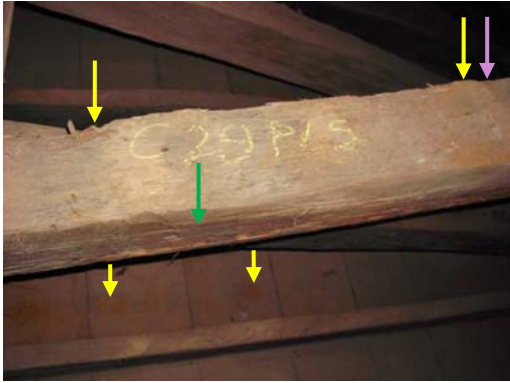


Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual																					
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C29-P1S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foram detectados pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, resíduos de pequenos grânulos ovalados que caracterizam a atividade significativa de ataque de cupins, reduções na seção e fendas longitudinais, na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C29-P1S da Cobertura da Nave Principal; ✓ Após realizadas as inspeções visuais de Nível 1 e Nível 2, a sondagem no Diagrama Resistograph ID: NAVE C29-P1S evidenciam as cavidades de ataques acentuados de cupins e elevadas perdas de resistência à perfuração. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>																						
 <table border="1" data-bbox="240 1048 497 1137"> <thead> <tr> <th colspan="3">Assessment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>■</td> <td>From 0,0 cm to 1,5 cm</td> <td>Cavidades de Cupim</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 3,3 cm to 5,6 cm</td> <td>Cavidades</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 7,0 cm to 9,9 cm</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 9,9 cm to 10,2 cm</td> <td>Cavidades</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 10,2 cm to 10,6 cm</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 10,6 cm to 11,3 cm</td> <td>Cavidades</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="735 1048 882 1137">Comment Diagrama Ref: NAVE PRINCIPALPSC29</p>	Assessment			■	From 0,0 cm to 1,5 cm	Cavidades de Cupim	■	From 3,3 cm to 5,6 cm	Cavidades	■	From 7,0 cm to 9,9 cm	Queda na Res. Perf.	■	From 9,9 cm to 10,2 cm	Cavidades	■	From 10,2 cm to 10,6 cm	Queda na Res. Perf.	■	From 10,6 cm to 11,3 cm	Cavidades	
Assessment																						
■	From 0,0 cm to 1,5 cm	Cavidades de Cupim																				
■	From 3,3 cm to 5,6 cm	Cavidades																				
■	From 7,0 cm to 9,9 cm	Queda na Res. Perf.																				
■	From 9,9 cm to 10,2 cm	Cavidades																				
■	From 10,2 cm to 10,6 cm	Queda na Res. Perf.																				
■	From 10,6 cm to 11,3 cm	Cavidades																				
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C29-P2S</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Figura A40 - Detectado pela técnica de inspeção visual geral, de Nível 1, acentuadas reduções na seção transversal na Perna 2 Sul (Viga Inclinada) NAVE C29-P2S da Cobertura da Nave Principal. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>																						
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C29-P1N</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada e testes de picoteamento, significativos ataques de cupins, reduções na seção e fendas longitudinais excessivas, na Perna 1 Norte (Viga Inclinada) NAVE C29-P1N da Cobertura da Nave Principal. 																						

Tabela 9.64. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)





Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ● ID: NAVE C30-P1S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada e testes de picoteamento, significativos ataques de cupins, reduções na seção e fendas longitudinais, na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C30-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p>	
<p>CPI: ● ID: NAVE C30-P2S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral reforços com cobrejuntas paralelas laterais, executadas com concepção inadequada, na Perna 2 Sul (Viga Inclinada) NAVE C30-P2S da Cobertura da Nave Principal.</p>	
<p>CPI: ● ID: NAVE C31-P1S ID: NAVE C33-P1S</p> <p>✓ Detectado fendas longitudinais acentuadas expressivas pela técnica de inspeção visual, na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C31-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, ataques significativos de cupins, com grandes reduções na seção transversal, Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C33-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p>	
<p>CPI: ● ID: NAVE C31-P1N</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, orifícios de brocas, ataques de cupins e fissuras na Perna 1 Norte (Viga Inclinada) NAVE C31-P1N da Cobertura da Nave Principal.</p>	

Tabela 9.65. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)




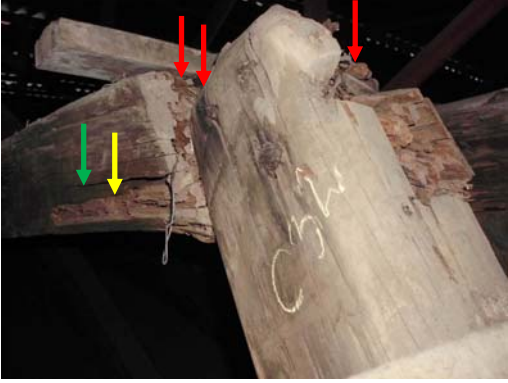
Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ● ID: NAVE C31-P2N</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada cavidades com resíduos de pequenos grânulos ovalados que caracterizam a presença significativa de atividade de ataque de cupins e fendas longitudinais nas faces laterais da Perna 2 Norte (Viga Inclinada) NAVE C31-P2N da Cobertura da Nave Principal.</p>	
<p>CPI: ● ID: NAVE C32-P1N</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, cavidades com resíduos de pequenos grânulos ovalados que caracterizam a presença significativa de atividade de cupins, reduções na seção e fendas longitudinais Na Perna 1 Norte (Viga Inclinada) NAVE C32-P1N da Cobertura da Nave Principal.</p>	
<p>CPI: ● ID: NAVE C32-P1S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, cavidades com resíduos de pequenos grânulos ovalados que caracterizam a presença ativa de cupins, manchas de umidade e manchas com características visuais de fungos apodrecedores, físsuras e fendas longitudinais na Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C32-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p>	
<p>CPI: ● ID: NAVE C32-P1S ID: NAVE C32-P1N</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, significativos ataques de cupins, manchas de umidade expressivas, manchas de umidade com características visuais de fungos apodrecedores, significativas fendilhados, e anomalias na ligação de topo com as vigas inclinadas C32-P1S e C32-P1N da Cobertura da Nave Principal.</p>	

Tabela 9.66. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)




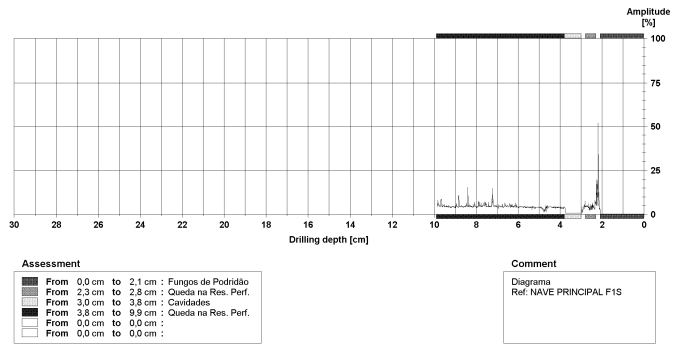
Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual														
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C33-P1N</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, significativos ataques de cupins, na Perna 1 Norte (Viga Inclinada) NAVE C33-P1N da Cobertura da Nave Principal.</p>															
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE C33-P1S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, significativos ataques e cupins e reduções na seção transversal da Perna 1 Sul (Viga Inclinada) NAVE C33-P1S da Cobertura da Nave Principal.</p>															
<p>CPI: ●</p> <p>ID: NAVE F1S ENTRE C11 E C12</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada orifícios e cavidades de ataques acentuados de cupins, manchas de umidade e manchas com características visuais de fungos apodrecedores, fissuras e fendas longitudinais no Frechal 1 Sul NAVE F1S ENTRE C12 E C12 da Cobertura da Nave Principal.</p>															
 <table border="1" data-bbox="165 1912 411 2002"> <thead> <tr> <th colspan="2">Assessment</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>■</td> <td>From 0,0 cm to 2,1 cm : Fungos de Podridão</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 2,2 cm to 2,8 cm : Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 3,0 cm to 3,8 cm : Cavidades</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 3,8 cm to 9,9 cm : Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td> </tr> <tr> <td>■</td> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td> </tr> </tbody> </table> <p data-bbox="655 1912 807 2002">Comment Diagrama Ref. NAVE PRINCIPAL F1S</p>	Assessment		■	From 0,0 cm to 2,1 cm : Fungos de Podridão	■	From 2,2 cm to 2,8 cm : Queda na Res. Perf.	■	From 3,0 cm to 3,8 cm : Cavidades	■	From 3,8 cm to 9,9 cm : Queda na Res. Perf.	■	From 0,0 cm to 0,0 cm :	■	From 0,0 cm to 0,0 cm :	<p>ID: NAVE F1S ENTRE C13 E C14</p> <p>✓ Em sondagem com o Resistograph, em ponto localizado previamente identificado em inspeção visual detalhada e testes de picoteamento, pode-se constar em avaliação ao Diagrama Resistograph ID: NAVE F1S ENTRE C13 E C14 no Frechal 1 Sul, a evidência detectada de significativas cavidades de cupins, e presença de fungos apodrecedores em função das elevadas perdas de resistência à perfuração registradas no diagrama.</p>
Assessment															
■	From 0,0 cm to 2,1 cm : Fungos de Podridão														
■	From 2,2 cm to 2,8 cm : Queda na Res. Perf.														
■	From 3,0 cm to 3,8 cm : Cavidades														
■	From 3,8 cm to 9,9 cm : Queda na Res. Perf.														
■	From 0,0 cm to 0,0 cm :														
■	From 0,0 cm to 0,0 cm :														

Diagrama Resistograph ID: NAVE F1S ENTRE C13 e C14.

BRITO (2012)

Tabela 9.67. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)

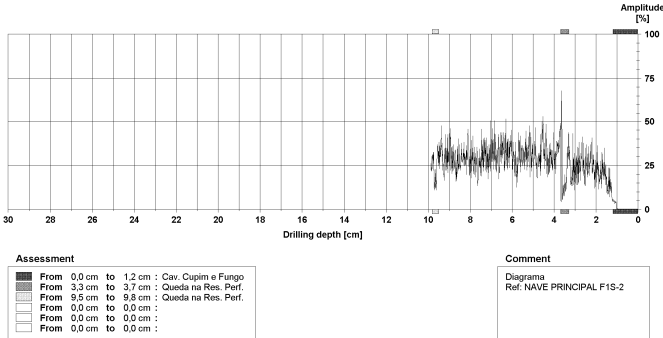
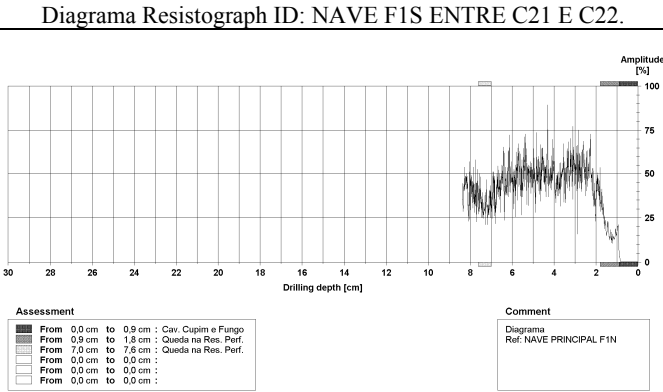
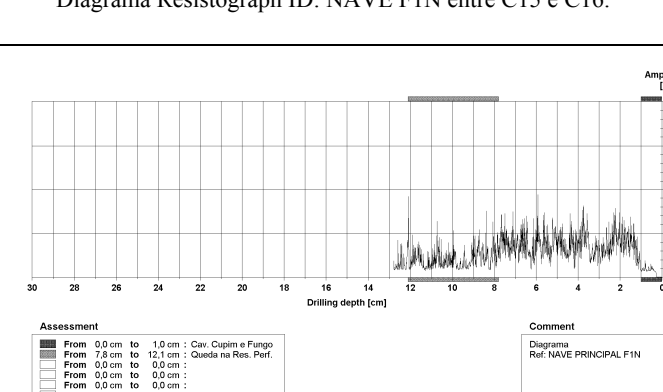
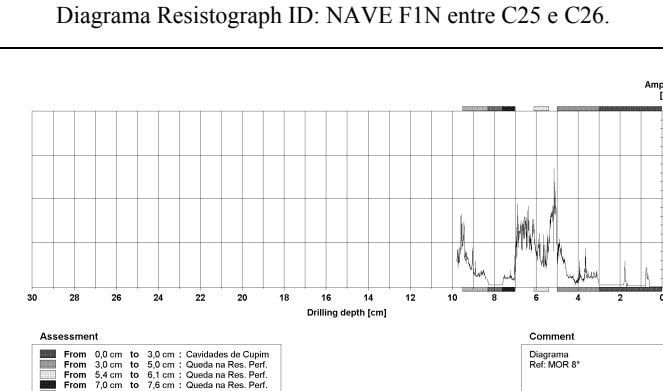
Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
 <p>Assessment</p> <ul style="list-style-type: none"> From 0,0 cm to 1,2 cm : Cav. Cupim e Fungo From 3,3 cm to 3,7 cm : Queda na Res. Perf. From 5,5 cm to 5,8 cm : Queda na Res. Perf. From 0,0 cm to 0,0 cm : Queda na Res. Perf. From 0,0 cm to 0,0 cm : Queda na Res. Perf. <p>Comment</p> <p>Diagrama Ref: NAVE PRINCIPAL F1S-2</p>	<p>ID: NAVE F1S ENTRE C21 E C22</p> <p>✓ Detectado na inspeção visual detalhada e testes de picoteamento cavidades de cupins, e manchas com características visuais de fungos apodrecedores que foram constatados pelas acentuadas perdas na resistência à perfuração na superfície da madeira, registradas no Diagrama Resistograph ID: NAVE F1S ENTRE C21 E C22 no Frechal 1 Sul da Cobertura da Nave Principal.</p> <p>BRITO (2012)</p>
 <p>Assessment</p> <ul style="list-style-type: none"> From 0,0 cm to 0,9 cm : Cav. Cupim e Fungo From 0,9 cm to 1,8 cm : Queda na Res. Perf. From 7,0 cm to 7,6 cm : Queda na Res. Perf. From 0,0 cm to 0,0 cm : Queda na Res. Perf. From 0,0 cm to 0,0 cm : Queda na Res. Perf. <p>Comment</p> <p>Diagrama Ref: NAVE PRINCIPAL F1N</p>	<p>ID: NAVE F1N entre C15 e C16</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada e testes de picoteamento cavidades de ataque de cupins, manchas superficiais com características visuais de fungos apodrecedores, e constatado no Diagrama Resistograph ID: NAVE F1N entre C15 no Frechal 1 Norte da Cobertura da Nave Principal, e às cavidades e perdas na resistência à perfuração na superfície da madeira, que evidenciam a podridão superficial.</p> <p>BRITO (2012)</p>
 <p>Assessment</p> <ul style="list-style-type: none"> From 0,0 cm to 1,0 cm : Cav. Cupim e Fungo From 7,8 cm to 12,1 cm : Queda na Res. Perf. From 0,0 cm to 0,0 cm : Queda na Res. Perf. From 0,0 cm to 0,0 cm : Queda na Res. Perf. From 0,0 cm to 0,0 cm : Queda na Res. Perf. <p>Comment</p> <p>Diagrama Ref: NAVE PRINCIPAL F1N</p>	<p>ID: NAVE F1N entre C25 e C26</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, e testes de picoteamento cavidades de ataque de cupins, manchas superficiais com características visuais de fungos apodrecedores, e constatado no Diagrama Resistograph ID: NAVE F1N entre C25 e C26 no Frechal 1 Norte da Cobertura da Nave Principal, perdas acentuadas na resistência à perfuração, ao longo da seção da madeira, que evidenciam o processo de biodeterioração por fungos de podridão.</p> <p>BRITO (2012)</p>
 <p>Assessment</p> <ul style="list-style-type: none"> From 0,0 cm to 3,0 cm : Cavidades de Cupim From 3,0 cm to 5,0 cm : Queda na Res. Perf. From 5,4 cm to 6,1 cm : Queda na Res. Perf. From 7,0 cm to 7,6 cm : Queda na Res. Perf. From 7,8 cm to 8,3 cm : Cavidades From 8,3 cm to 9,5 cm : Queda na Res. Perf. <p>Comment</p> <p>Diagrama Ref: MOR 8*</p>	<p>ID: MOR C2-P1N</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, e testes de picoteamento cavidades de ataque de cupins, manchas superficiais com características visuais de fungos apodrecedores, e constatado no Diagrama Resistograph ID: MOR C2-P1N da Perna 1 Norte (Viga Inclinada) da Cobertura Mor, perdas acentuadas na resistência à perfuração, e “zero” de resistência nas regiões de cavidades acentuadas oriundas de ataques de cupins.</p>

Tabela 9.68. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)

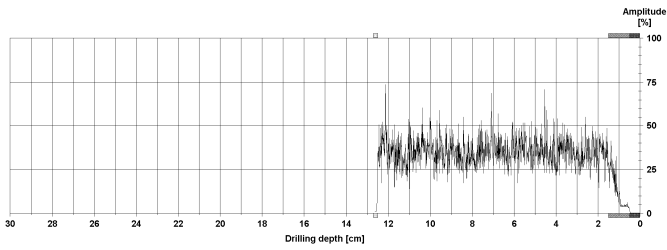
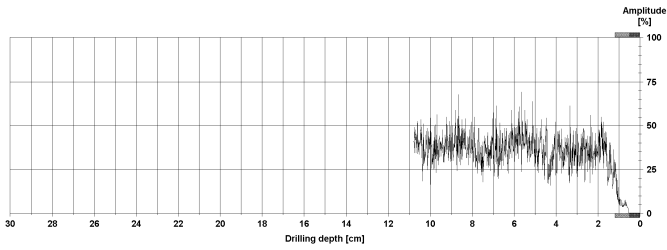
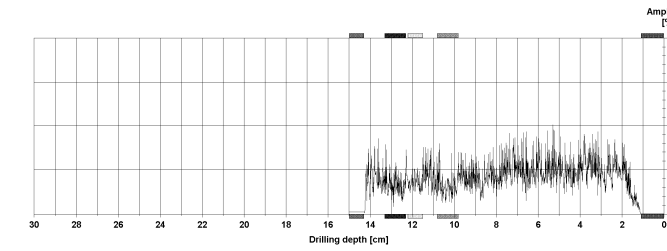
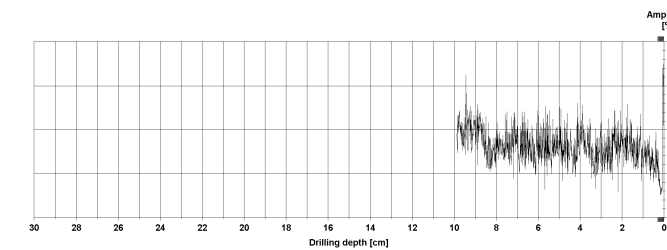
Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual						
 <p>Assessment</p> <table border="1" data-bbox="183 638 438 707"> <tr><td>From 0,0 cm to 0,5 cm : Cavidades de Cupim</td></tr> <tr><td>From 0,5 cm to 1,5 cm : Queda na Res. Perf.</td></tr> <tr><td>From 12,5 cm to 12,7 cm : Cavidade</td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td></tr> </table> <p>Comment</p> <p>Diagrama Ref: MOR 3*</p>	From 0,0 cm to 0,5 cm : Cavidades de Cupim	From 0,5 cm to 1,5 cm : Queda na Res. Perf.	From 12,5 cm to 12,7 cm : Cavidade	From 0,0 cm to 0,0 cm :	From 0,0 cm to 0,0 cm :	From 0,0 cm to 0,0 cm :	<p>ID: MOR C4-P1S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, e testes de picoteamento cavidades superficiais de cupins, e constatado no Diagrama Resistograph ID: MOR C9-P1S, Perna 1 Sul (Viga Inclinada) da Cobertura Mor.</p>
From 0,0 cm to 0,5 cm : Cavidades de Cupim							
From 0,5 cm to 1,5 cm : Queda na Res. Perf.							
From 12,5 cm to 12,7 cm : Cavidade							
From 0,0 cm to 0,0 cm :							
From 0,0 cm to 0,0 cm :							
From 0,0 cm to 0,0 cm :							
 <p>Assessment</p> <table border="1" data-bbox="183 1072 438 1142"> <tr><td>From 0,0 cm to 0,5 cm : Cavidades de Cupim</td></tr> <tr><td>From 0,5 cm to 1,2 cm : Queda na Res. Perf.</td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td></tr> </table> <p>Comment</p> <p>Diagrama Ref: MOR 4*</p>	From 0,0 cm to 0,5 cm : Cavidades de Cupim	From 0,5 cm to 1,2 cm : Queda na Res. Perf.	From 0,0 cm to 0,0 cm :	From 0,0 cm to 0,0 cm :	From 0,0 cm to 0,0 cm :	From 0,0 cm to 0,0 cm :	<p>ID: MOR C9-P1S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, e testes de picoteamento cavidades superficiais de cupins, e constatado no Diagrama Resistograph ID: MOR C9-P1S, Perna 1 Sul (Viga Inclinada) da Cobertura Mor.</p>
From 0,0 cm to 0,5 cm : Cavidades de Cupim							
From 0,5 cm to 1,2 cm : Queda na Res. Perf.							
From 0,0 cm to 0,0 cm :							
From 0,0 cm to 0,0 cm :							
From 0,0 cm to 0,0 cm :							
From 0,0 cm to 0,0 cm :							
 <p>Assessment</p> <table border="1" data-bbox="183 1489 438 1559"> <tr><td>From 0,0 cm to 1,1 cm : Cavidades de Cupim</td></tr> <tr><td>From 9,8 cm to 10,8 cm : Queda na Res. Perf.</td></tr> <tr><td>From 11,5 cm to 12,2 cm : Queda na Res. Perf.</td></tr> <tr><td>From 12,3 cm to 13,3 cm : Queda na Res. Perf.</td></tr> <tr><td>From 14,2 cm to 15,0 cm : Cavidades</td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td></tr> </table> <p>Comment</p> <p>Diagrama Ref: MOR 5*</p>	From 0,0 cm to 1,1 cm : Cavidades de Cupim	From 9,8 cm to 10,8 cm : Queda na Res. Perf.	From 11,5 cm to 12,2 cm : Queda na Res. Perf.	From 12,3 cm to 13,3 cm : Queda na Res. Perf.	From 14,2 cm to 15,0 cm : Cavidades	From 0,0 cm to 0,0 cm :	<p>ID: MOR C10-P1S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, e testes de picoteamento cavidades de ataque de cupins, manchas superficiais com características visuais de fungos apodrecedores, e constatado no Diagrama Resistograph MOR C10-P1S, Perna 1 Sul (Viga Inclinada) da Cobertura Mor perdas na resistência à perfuração, ao longo da seção da madeira, que evidenciam o processo de biodeterioração por fungos de podridão.</p>
From 0,0 cm to 1,1 cm : Cavidades de Cupim							
From 9,8 cm to 10,8 cm : Queda na Res. Perf.							
From 11,5 cm to 12,2 cm : Queda na Res. Perf.							
From 12,3 cm to 13,3 cm : Queda na Res. Perf.							
From 14,2 cm to 15,0 cm : Cavidades							
From 0,0 cm to 0,0 cm :							
 <p>Assessment</p> <table border="1" data-bbox="183 1906 438 1975"> <tr><td>From 0,0 cm to 0,3 cm : Queda na Res. Perf.</td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td></tr> </table> <p>Comment</p> <p>Diagrama Ref: MOR 10*</p>	From 0,0 cm to 0,3 cm : Queda na Res. Perf.	From 0,0 cm to 0,0 cm :	From 0,0 cm to 0,0 cm :	From 0,0 cm to 0,0 cm :	From 0,0 cm to 0,0 cm :	From 0,0 cm to 0,0 cm :	<p>ID: MOR C19-P1N</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, orifícios superficiais de cupins, sem registo no Diagrama Resistograph ID: MOR C19-P1N, Perna 1 Norte (Viga Inclinada) da Cobertura Mor, pois não foram encontradas cavidades superficiais nesse ponto pelos testes de picoteamento.</p>
From 0,0 cm to 0,3 cm : Queda na Res. Perf.							
From 0,0 cm to 0,0 cm :							
From 0,0 cm to 0,0 cm :							
From 0,0 cm to 0,0 cm :							
From 0,0 cm to 0,0 cm :							
From 0,0 cm to 0,0 cm :							

Tabela 9.69. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)

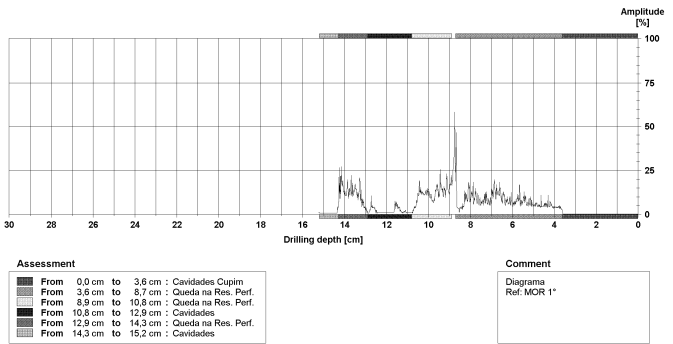

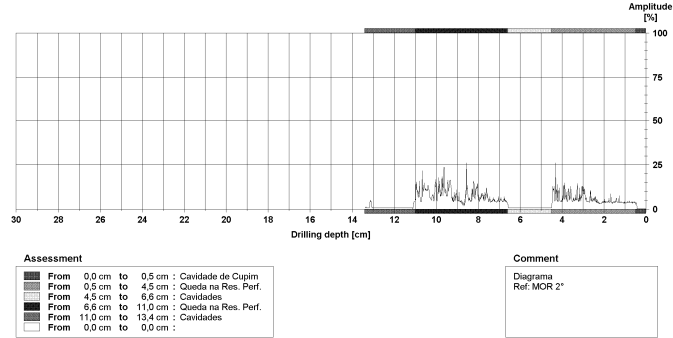

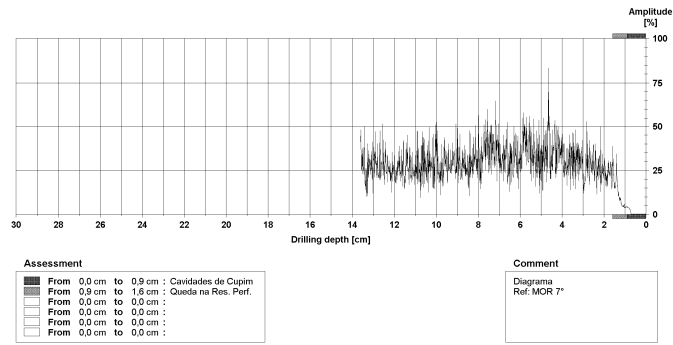
Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual												
 <p>Assessment</p> <table border="1"> <tr><td>From 0,0 cm to 3,6 cm</td><td>Cavidades Cupim</td></tr> <tr><td>From 3,6 cm to 8,7 cm</td><td>Queda na Res. Perf.</td></tr> <tr><td>From 8,9 cm to 10,8 cm</td><td>Queda na Res. Perf.</td></tr> <tr><td>From 10,8 cm to 12,9 cm</td><td>Cavidades</td></tr> <tr><td>From 12,9 cm to 14,3 cm</td><td>Queda na Res. Perf.</td></tr> <tr><td>From 14,3 cm to 15,2 cm</td><td>Cavidades</td></tr> </table> <p>Comment Diagrama Ref: MOR 1*</p>	From 0,0 cm to 3,6 cm	Cavidades Cupim	From 3,6 cm to 8,7 cm	Queda na Res. Perf.	From 8,9 cm to 10,8 cm	Queda na Res. Perf.	From 10,8 cm to 12,9 cm	Cavidades	From 12,9 cm to 14,3 cm	Queda na Res. Perf.	From 14,3 cm to 15,2 cm	Cavidades	
From 0,0 cm to 3,6 cm	Cavidades Cupim												
From 3,6 cm to 8,7 cm	Queda na Res. Perf.												
From 8,9 cm to 10,8 cm	Queda na Res. Perf.												
From 10,8 cm to 12,9 cm	Cavidades												
From 12,9 cm to 14,3 cm	Queda na Res. Perf.												
From 14,3 cm to 15,2 cm	Cavidades												
<p>Diagrama Resistograph ID: MOR C15-P1S 1ª. BRITO (2012)</p>  <p>Assessment</p> <table border="1"> <tr><td>From 0,0 cm to 0,5 cm</td><td>Cavidade de Cupim</td></tr> <tr><td>From 0,5 cm to 4,5 cm</td><td>Queda na Res. Perf.</td></tr> <tr><td>From 4,5 cm to 6,6 cm</td><td>Cavidades</td></tr> <tr><td>From 6,6 cm to 11,0 cm</td><td>Queda na Res. Perf.</td></tr> <tr><td>From 11,0 cm to 13,4 cm</td><td>Cavidades</td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm</td><td></td></tr> </table> <p>Comment Diagrama Ref: MOR 2*</p>	From 0,0 cm to 0,5 cm	Cavidade de Cupim	From 0,5 cm to 4,5 cm	Queda na Res. Perf.	From 4,5 cm to 6,6 cm	Cavidades	From 6,6 cm to 11,0 cm	Queda na Res. Perf.	From 11,0 cm to 13,4 cm	Cavidades	From 0,0 cm to 0,0 cm		<p>CPI: ●</p> <p>ID: MOR C15-P1S 1ª ID: MOR C15-P1S 2ª</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada e testes de picoteamento cavidades de ataque de cupins, manchas superficiais de umidade, características visuais de fungos apodrecedores e fendas longitudinais, constatados pelas perdas acentuadas na resistência à perfuração nos Diagrama Resistograph ID: MOR C15-P1S 1ª e ID: MOR C15-P1S 2ª na Perna 1 Sul (Viga inclinada) da Cobertura Mor.</p>
From 0,0 cm to 0,5 cm	Cavidade de Cupim												
From 0,5 cm to 4,5 cm	Queda na Res. Perf.												
From 4,5 cm to 6,6 cm	Cavidades												
From 6,6 cm to 11,0 cm	Queda na Res. Perf.												
From 11,0 cm to 13,4 cm	Cavidades												
From 0,0 cm to 0,0 cm													
<p>CPI: ●</p> <p>ID: MOR C16-P1S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, testes de picoteamento, cavidades de ataque de cupins, manchas superficiais com características visuais de fungos apodrecedores, e constatados superficialmente pelas perdas acentuadas na resistência à perfuração no Diagrama Resistograph ID: MOR C16-P1S, Perna 1 Sul (Viga inclinada) da Cobertura Mor.</p>													
 <p>Assessment</p> <table border="1"> <tr><td>From 0,0 cm to 0,9 cm</td><td>Cavidades de Cupim</td></tr> <tr><td>From 0,9 cm to 1,9 cm</td><td>Queda na Res. Perf.</td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm</td><td></td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm</td><td></td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm</td><td></td></tr> <tr><td>From 0,0 cm to 0,0 cm</td><td></td></tr> </table> <p>Comment Diagrama Ref: MOR 7*</p>	From 0,0 cm to 0,9 cm	Cavidades de Cupim	From 0,9 cm to 1,9 cm	Queda na Res. Perf.	From 0,0 cm to 0,0 cm		From 0,0 cm to 0,0 cm		From 0,0 cm to 0,0 cm		From 0,0 cm to 0,0 cm		<p>ID: MOR C16-P1S</p> <p>✓ Na sondagem com o Resistograph IML RESI F500, pôde-se observar no Diagrama Resistograph ID: MOR C16-P1S as cavidades superficiais e perdas acentuadas na resistência à perfuração na superfície da madeira, que evidenciam a podridão superficial, detectada pelos testes de picoteamento, na região com manchas superficiais de umidade.</p>
From 0,0 cm to 0,9 cm	Cavidades de Cupim												
From 0,9 cm to 1,9 cm	Queda na Res. Perf.												
From 0,0 cm to 0,0 cm													
From 0,0 cm to 0,0 cm													
From 0,0 cm to 0,0 cm													
From 0,0 cm to 0,0 cm													
<p>Diagrama Resistograph ID: MOR C16-P1S. BRITO (2012)</p>													

Tabela 9.70. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)

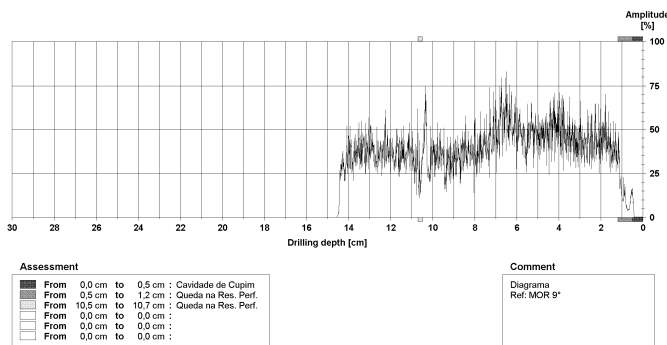
Manifestação Patológica: Descrição**Característica Visual**

Diagrama Resistograph ID: MOR C16-P1N. BRITO (2012)

ID: MOR C16-P1N

- ✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada e testes de picoteamento, cavidades de ataque de cupins, manchas superficiais com características visuais de fungos apodrecedores, constatados no Diagrama Resistograph ID: MOR C16-P1N, Perna 1 Norte (Viga inclinada) da Cobertura Mor, pelas perdas acentuadas na resistência à perfuração na superfície da madeira, que evidenciam a podridão superficial.

CPI: ●

ID: MOR C17-P1S

- ✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada e testes de picoteamento, cavidades de ataque de cupins, manchas superficiais de umidade e manchas com características visuais de fungos apodrecedores.

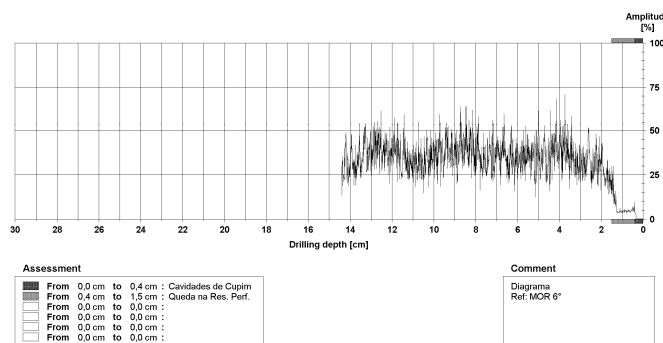


Diagrama Resistograph ID: MOR C17-P1S. BRITO (2012)

ID: MOR C17-P1S

- ✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada e testes de picoteamento, cavidades de ataque de cupins, manchas superficiais com características visuais de fungos apodrecedores, constatados no Diagrama Resistograph ID: MOR C17-P1S, Perna 1 Sul (Viga inclinada) da Cobertura Mor, pelas perdas acentuadas na resistência à perfuração na superfície da madeira, que evidenciam a podridão superficial.

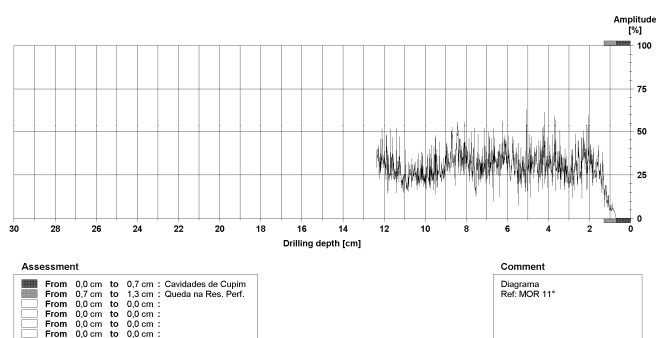


Diagrama Resistograph ID: MOR C23-P1N. BRITO (2012)

ID: MOR C23-P1N

- ✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada e testes de picoteamento, cavidades superficiais de ataque de cupins, que foram constatadas no Diagrama Resistograph ID: MOR C23-P1N, Perna 1 Norte (Viga inclinada) da Cobertura Mor, pelas perdas acentuadas na resistência à perfuração na superfície da madeira, que evidenciam a podridão superficial.

Tabela 9.71. Inspeções não destrutivas (NDT) nas coberturas da Igreja São Francisco, em Florianópolis (cont.)



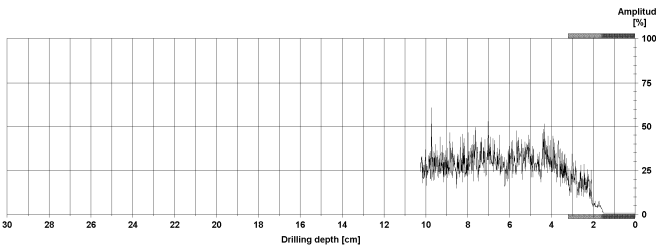
Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual										
<p>CPI: ●</p> <p>ID: MOR F1S</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, pontos com manchas de umidade oriundas de infiltrações de águas pluviais, em proximidade de existência de calhas, e fissuras longitudinais na lateral no Frechal 1 Sul ID: MOR F1S, da Cobertura Mor.</p>											
<p>CPI: ●</p> <p>ID: MOR F1N</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada, pontos com manchas de umidade e fissuras inclinadas localizadas que podem evidenciar manifestação patológica de esmagamento da madeira do Frechal 1 Norte MOR F1N da Cobertura Mor; manchas de umidade e fendilhamentos na extremidade da viga inclinada, indicados na foto ao lado.</p>											
 <p>Assessment</p> <table border="1"> <tr> <td>From 0,0 cm to 1,6 cm :</td> <td>Cav. Cupim e Fungo</td> </tr> <tr> <td>From 1,6 cm to 3,2 cm :</td> <td>Queda na Res. Perf.</td> </tr> <tr> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td> <td></td> </tr> <tr> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td> <td></td> </tr> <tr> <td>From 0,0 cm to 0,0 cm :</td> <td></td> </tr> </table> <p>Comment</p> <p>Diagrama Ref: MOR 12° F1N MOR F1N entre C24 e C25</p>	From 0,0 cm to 1,6 cm :	Cav. Cupim e Fungo	From 1,6 cm to 3,2 cm :	Queda na Res. Perf.	From 0,0 cm to 0,0 cm :		From 0,0 cm to 0,0 cm :		From 0,0 cm to 0,0 cm :		<p>ID: MOR F1N entre C24 e C25</p> <p>✓ Detectado pela técnica de inspeção visual detalhada e testes de picoteamento, cavidades de ataque de cupins, manchas superficiais com características visuais de fungos apodrecedores, constatados no Diagrama Resistograph ID: MOR F1N entre C24 e C25 no Frechal Norte da Cobertura Mor, pelas perdas acentuadas na resistência à perfuração na superfície da madeira, que evidenciam a podridão superficial.</p>
From 0,0 cm to 1,6 cm :	Cav. Cupim e Fungo										
From 1,6 cm to 3,2 cm :	Queda na Res. Perf.										
From 0,0 cm to 0,0 cm :											
From 0,0 cm to 0,0 cm :											
From 0,0 cm to 0,0 cm :											

Diagrama Resistograph ID: MOR F1N entre C24 e C25.

9.10 Ponte Fazenda Yolanda

Tabela 9.72. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte Fazenda Yolanda, São Carlos - SP

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>Localização: Ponte “Fazenda Yolanda”, São Carlos - SP Coordenadas GPS: 22°08'55,24”S; 47°51'28,53”O 703m de Alt. Projeto: HELLMEISTER (1983)b Tipo de uso: Ponte Rural Classe TB 12 Sistema Estrutural: vigas seção bicircular com madeira roliça, e tabuleiros de madeira roliça, revestido com concreto simples. Espécie: Eucalyptus citriodora Tratamento Preservativo: CCA Fundações: Muros de contenção de Concreto Armado Finalidade das inspeções: Avaliações dos elementos estruturais de madeira. Tipos de Inspeções: Pré-inspeção; Nível 1 (Geral) e Nível 2 (Det.) Classe de Prioridade de Intervenção Geral: ● Classe Vermelha Visitas Técnicas: início em 29 de Agosto de 2012 Qtde. de fotos arquivadas (CD's/DVD's/SD's): 239 fotos</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Os guarda-rodas de ambos os lados da ponte, estão totalmente deterioradas, por ataques de fungos de podridão; ✓ Guarda-rodas à montante, com características visuais de biodeterioração que evidenciam da madeira infectada por fungos de podridão branca, que em decomposição apresentam aspectos visuais fibrosos e esbranquiçados. Isso se deve ao fato de que esse fungo de podridão branca degrada à celulose, hemi-celulose e à lignina, BRITO e CALIL JR. (2013)e. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foram detectadas pela técnica de inspeção detalhada, em algumas peças roliças que compõem o tabuleiro da ponte, principalmente às situadas à montante, no lado Noroeste, biodeterioração do cerne desses elementos estruturais, por infestações de agentes bióticos, que são típicos de ineficiências de processo de tratamento por impregnação em autoclave, principalmente em madeiras folhosas, como é o caso do eucalipto. As peças na Foto ao lado, evidenciam essa ineficiência de tratamento efetivo de cerne. A ocorrência, nesse caso, fica mais propensa, quando as extremidades de peças de madeira tratadas previamente, são cortadas para acabamento “in loco”. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pode ser observado no guarda-rodas à Jusante, biodeterioração com características visuais de ataque por fungo de podridão parda; No entanto, caso haja necessidade de identificar precisamente o tipo de fungo, recomenda-se a análise biológica em laboratório idôneo, para identificação. Pois características visuais de infestação por fungo de podridão mole na madeira, muitas vezes parece parda e pode ser confundida com a deterioração causada por fungos da podridão parda. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2012)</p>	

Tabela 9.73. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte Fazenda Yolanda, São Carlos – SP (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ O sistema estrutural dessa ponte consiste na composição de duas vigas seção bicircular com madeira roliça, e tabuleiros de madeira roliça de pequeno diâmetro revestido com concreto simples, com 10,2 m de vão por 4,2 m de Largura. ✓ Pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, nos elementos estruturais de madeira nessa ponte, pode-se observar que ocorreu incêndio no local, que atingiu a região central da longarina à montante (Lado Norte) e parte dos elementos estruturais, de peças roliças de madeira que compõem o tabuleiro, e que foram superficialmente carbonizadas, conforme podem ser observadas nas fotos do tabuleiro seguintes, registradas pela parte inferior da ponte, BRITO e CALIL JR. (2013)e. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foram observados pela técnica de inspeção visual geral e detalhada, na viga longarina de seção bicircular e nas peças roliças de madeira de Eucalyptus citriodora, que compõem o tabuleiro da ponte, que as regiões afetadas pelo incêndio encontravam-se parcialmente carbonizadas em uma camada superficial externa de madeira, de aproximadamente 2 cm de espessura, avaliadas também por testes de picoteamentos. ✓ No entanto, devido à inacessibilidade, a essa longarina superficialmente carbonizada, situada à montante (Lado Norte), não foi possível visualizar se a mesma chegou ao estado de ruptura no vão central. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Como não se precisa se o incêndio ocorreu antes ou depois das rupturas no vão central das longarinas dessa ponte, é provável que o incêndio não tenha sido a causa principal dessas rupturas, pois visualmente, a carbonização não teve perdas significativas de redução na seção transversal das peças roliças que compõem a viga bicircular da longarina a montante. Para tanto, caso necessário seria recomendável o uso de equipamentos não destrutivos, como o Resistograph, para avaliar se ocorreram perdas significativas nas seções transversais nas peças das longarinas, afetadas pelo incêndio. ✓ Observa-se o uso de escoras inadequadas no vão central. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ As longarinas de seção bicircular foram escoradas improvisadamente. Conforme pode ser observado na Foto ao lado, tem ocorrido acúmulo de vegetações, troncos e galhos à montante, podendo ocorrer o arrancamento desse escoramento, e em caso de elevação do nível de água do rio, a mesma poderá vir à ruína. 	

Foto: BRITO (2012)

Foto: BRITO (2012)

Tabela 9.74. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte Fazenda Yolanda, São Carlos – SP (cont.)








Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ No muro de contenção de concreto do lado oeste, também foram detectados túneis de cupins de solo, tanto na região de concreto, em regiões de juntas de concretagem e tricas no concreto, quanto próximo aos apoios das longarinas. Esses túneis atravessam todo o muro de contenção, interligando aos apoios do lado sudoeste com o lado Noroeste, e na região central do muro, e seguem para o patamar do tabuleiro. ✓ A foto ao lado indica os túneis de cupins de solo no muro de contenção nas proximidades do Apoio Sudoeste. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ A foto ao lado indica os túneis de cupins de solo no muro de contenção nas proximidades do Apoio Noroeste. ✓ Nessa região de apoio, também foi constatado elevado teor de umidade, com umidade saturada, com início de biodeterioração nas vigas bicirculares, nas proximidades do muro de contenção. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Com o deslocamento excessivo no vão central da longarina à montante (Lado Norte), esse efeito mobilizou tensões elevadas na extremidade da mesma, ao lado Nordeste, ocorrendo rachadura e destacamento do concreto do muro de contenção, nessa região de apoio, (foto ao lado), e esse, é outro fator que evidenciam que as rupturas possam ter ocorrido por sobrecarga; ✓ Também foram observados túneis de cupim de solo, nas proximidades do apoio dessa longarina. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Com o deslocamento excessivo no vão central da longarina a jusante (Lado Sul), esse efeito também mobilizou tensões na extremidade da mesma, ao lado sudeste, porém com menos intensidade, ocorrendo pequeno destacamento do concreto do muro de contenção, nessa região de apoio; ✓ Nessa região de apoio, também foram observados túneis de cupins de solo, e foi constatado elevado teor de umidade, com umidade saturada, com características visuais de madeira com início de biodeterioração nas vigas bicirculares, nas proximidades do muro de contenção. 	

Tabela 9.75. Inspeções não destrutivas (NDT) na Ponte Fazenda Yolanda, São Carlos – SP (cont.)






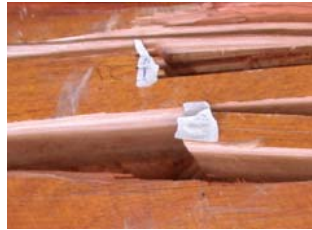



Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pela abertura nesse destacamento do concreto foi possível observar que a peça roliça do tabuleiro nesse ponto, apresentava elevado teor de umidade, com características visuais de madeira com umidade saturada, e encontrava-se deteriorada por ataque de fungo apodrecedor. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na longarina que foi superficialmente carbonizada, situada à montante (Lado Norte), conforme já comentado, não foi possível visualizar se a mesma chegou ao estado de ruptura. No entanto, a peça roliça inferior apresenta fendas longitudinais, paralela às fibras, e em ambas as peças roliças, dessa longarina, foram constatadas manchas com elevado teor de umidade, com características visuais de madeira com umidade saturada, com indício de fungos manchadores e emboloradores, além de ter sido detectado pela técnica de inspeção visual, túnel de cupins de solo, na peça roliça superior. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Já na longarina à jusante (Lado Sul), foi possível observar o modo de ruptura no vão central: Nas inspeções, foram observados que as duas longarinas sofreram deformações excessivas, superando as flechas limites permissíveis pela ABNT NBR 7190:1997, atingindo ao Estado Limite de Serviço (ELS), e atingindo o Estado Limite Último (ELU) caracterizado pelas rupturas. Como essa ponte tecnológica para época, foi construída em estrada rural, cuja classe de projeto de pontes, normalmente não ultrapassava TB12 da atual ABNT NBR 7188:1984, eventualmente, pode ter ocorrido uma sobrecarga superior ao limite de projeto. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Durante a inspeção, foi possível observar o solo depositado no tabuleiro, caindo pelas frestas entre as peças roliças do tabuleiro, quando a ponte está em uso, (Figura ao lado), visto que coincidentemente, em uma das inspeções, presenciou-se a passagem de um caminhão betoneira de concreto, sobre a mesma. ✓ Foi possível observar também vegetações crescendo na área inferior da ponte. ✓ Toda estrutura dessa ponte, encontra-se condenada, e recomendou-se a substituição da mesma por uma nova, pois inviabilizaria o custo para à reabilitação da mesma. 	

9.11 Pergolado “Falsa Grelha” com vigas MLC

Tabela 9.76. Pergolado “Falsa Grelha” com Vigas MLC Falhas de Concepção Estrutural/ Execução

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>A finalidade da inspeção e das avaliações foi o estudo de caso de ruína de pergolado com vigas de madeira laminada colada (MLC de eucalipto) com sistema tipo “Falsa Grelha”. Alguns dos principais elementos estruturais do sistema estrutural de Madeira Laminada Colada (MLC) foram enviados ao LaMEM, para avaliações das causas da ruína, tais como: a Viga Principal MLC que com a Ruptura; duas Vigas Secundárias (VS MLC1 e VS MLC2); Elementos Intermediários; conexões c/ chapas metálicas; e parafusos de ligações.</p> <p>Tipos de Inspeções: Pré-inspeção; Nível 1 (Geral) e Nível 2 (Det.)</p> <p>Classe de Prioridade de Intervenção Geral: ● Classe Vermelha</p> <p>Inspeções e avaliações: início em 12 de Dez. de 2012</p> <p>Qtde. de fotos arquivadas (CD's/DVD's/SD's): 1509 fotos (1ª Fase 114 “in loco”+ 66 Lab. + 2ª Fase 1013 Lab. + 3ª Fase 316 Lab.)</p>	
<p>✓ Modo de Ruína Global da Estrutura Falsa Grelha: A estrutura se separou em duas partes, dividindo-as aproximadamente na região central do vão da Viga Principal. Diversos elementos intermediários se soltaram do sistema, pois os mesmos eram simplesmente encaixados, através de entelhes macho e fêmea (como apresentado mais adiante), não havendo sistemas de fixação, tais como conectores metálicos, parafusos, etc., concebendo-se vinculações nulas, com rótulas totalmente articuladas nas ligações desses elementos com as Vigas Secundárias. Dessa maneira, à Concepção Estrutural desse pergolado não consiste em um sistema de grelha, daí à denominação “Falsa Grelha”. Observa-se vidros inteiros soltos.</p>	
<p>Para as avaliações do “Modo de Ruptura” na região da “Viga Principal” e das causas de “Ruína da Estrutura”, foram realizados os seguintes estudos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Técnica de Inspeção Visual Detalhada; ✓ Verificações “Double Check”, com cálculos de dimensionamento no ELU e verificações do ELS, admitindo sistema Viga-Viga. ✓ Análise numérica, simulando analogia de Grelha, com todas as vinculações articuladas entre os elementos (simulando o mais próximo possível de sistema Hipostático), tendo vinculações fixas apenas sobre as 2 colunas (conforme apresentado mais adiante). ✓ Ensaio de Flexão Estática. 	
<p>✓ Detalhe do modo de ruptura na ruína da viga principal, sendo seccionada em “finger joints” e furos de ligações com espaçamentos muito próximos e delaminações por falhas em linhas de colagem entre às lâminas.</p>	

Tabela 9.77. Pergolado “Falsa Grelha” com Vigas MLC Falhas de Concepção Estrutural/ Execução (cont.)

Resultados das avaliações pela Técnica de Inspeção Visual Detalhada		(Características Visuais)
1. Ruptura inicial em finger joint;	2. Enfraquecimentos devido a erros de furações em ligação;	3. Ruptura em finger joint;
		
4. Ruptura em finger joint;	5_6. Ruptura em finger joint, junto com enfraquecimentos com furos de ligações;	7. Ruptura em finger joint;
		
8_9. Ruptura em finger joint, junto com enfraquecimentos com furos de ligações;	10. 7. Ruptura em finger joint;	11_12. Ruptura em finger joint, junto com enfraquecimentos com furos de ligações;
		

✓ Resultados finais das avaliações pela Técnica de Inspeção Visual Detalhada: detalhes no mapeamento do caminho da ruptura na viga principal, sendo seccionada em “finger joints”, em erros com furos de ligações com espaçamentos muito próximos e delaminações por falhas em linhas de colagem entre às lâminas, além de lâminas com 1,5cm de espessura, que são muito inferiores às espessuras recomendadas por normas.

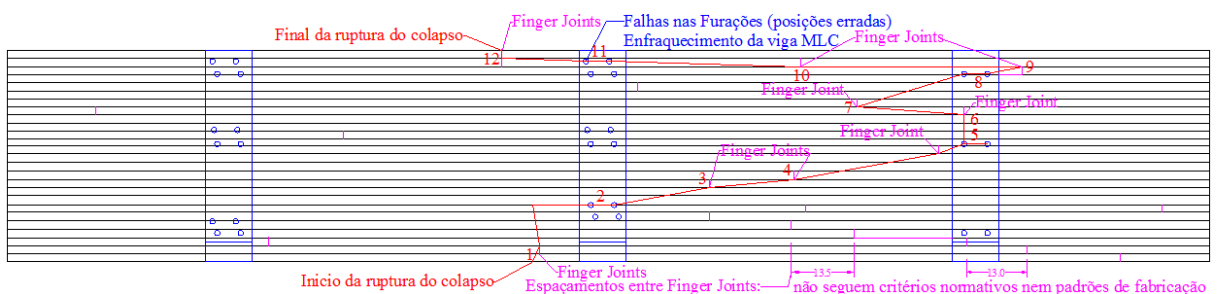



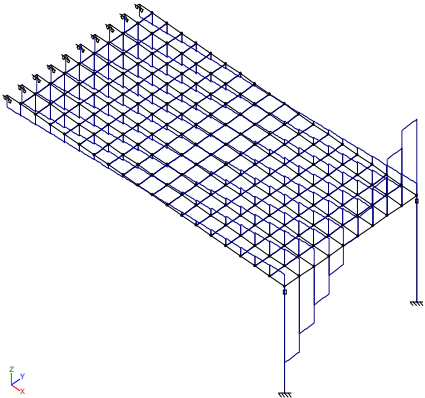
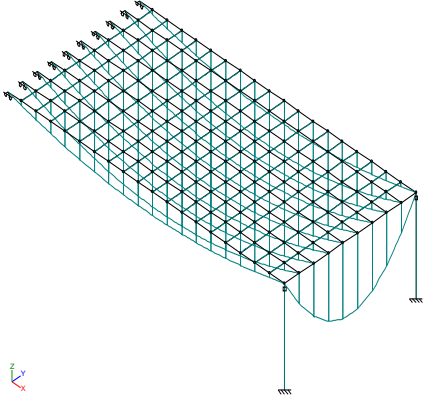
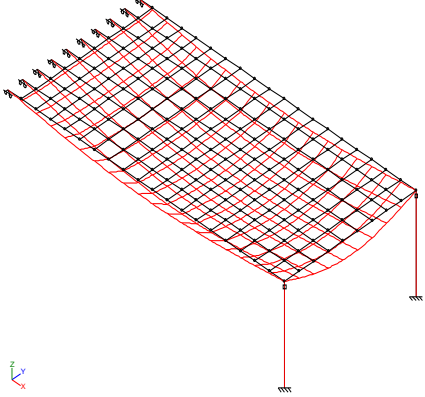
Tabela 9.78. Pergolado “Falsa Grelha” com Vigas MLC Falhas de Concepção Estrutural/ Execução (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Observa-se que todos os elementos intermediários (foto ao lado) eram simplesmente encaixados, através de entelhes macho e fêmea, com aproximadamente 2 cm de espessura, não havendo nenhum sistema de fixação com as Vigas Secundárias, tais como conectores metálicos, parafusos, etc., concebendo-se vinculações nulas, como rótulas totalmente articuladas nas ligações desses elementos com essas Vigas. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Por essa razão, a Concepção Estrutural desse pergolado não consiste em um sistema de grelha, daí a denominação “Falsa Grelha”. Ou seja, as Vigas Secundárias, de 15,2 metros de Vão livre, simplesmente apoiavam-se suas extremidades diretamente sobre a Viga Principal de MLC apoiada sobre as colunas esbeltas e às extremidades adjacentes simplesmente apoiavam-se à base da viga metálica da estrutura da edificação (também sem nenhum tipo de ligação adicional), ou seja, as Vigas Secundárias não tinham sistema de ligação adicional de travamento no vão central entre às mesmas, nem sistemas de contraventamento, tornando-se o sistema global Hipostático. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ A foto ao lado demonstra a situação da conexão metálica galvanizada do sistema de ligação de apoio da viga Secundária de extremidade, fixada na Viga Principal, na região de apoio sobre a coluna, no lado em que ocorreu a ruína. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Detalhe da conexão metálica galvanizada do sistema de ligação de apoio da Viga Secundária de extremidade, para fixação na Viga Principal. ✓ Observa-se que as dimensões dos parafusos eram insuficientes para garantir a ancoragem das Vigas Secundárias de 15,2 metros de vão, na sustentação das mesmas, lateralmente à Viga Principal. ✓ Observa-se nos modos de ruptura dos parafusos de conexões das Vigas Secundárias, que a fixavam Lateralmente à Viga Principal: situações de flexão, rupturas e situações de arrancamento de parafusos. 	

Tabela 9.79. Pergolado “Falsa Grelha” com Vigas MLC Falhas de Concepção Estrutural/ Execução (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Observa-se flexão em parafusos de fixação de Viga Secundária que na ruína, soltou-se for fendilhamento nessa região, e ocorrência de arrancamentos de parafusos fixados lateralmente à extremidade da Viga Principal. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Foram detectadas situações de fendilhamentos nas regiões de parafusos fixados às extremidades das Vigas Secundárias através do perfil metálico inserido internamente à mesma e fixados lateralmente à Viga Principal. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Ensaio de flexão da viga MLC1, realizados no LaMEM, para avaliação do Modo de Ruptura, e determinação do MOE e do MOR. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ O MOE resultante da viga MLC1 foi de aproximadamente 10945 Mpa. ✓ E o MOR resultante da viga MLC1 foi de aproximadamente 20,77 Mpa. 	

Tabela 9.80. Pergolado “Falsa Grelha” com Vigas MLC Falhas de Concepção Estrutural/ Execução (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<ul style="list-style-type: none"> ✓ O Modo de Ruptura principal na viga MLC1 ensaiada no LaMEM ocorreu principalmente em “finger joints” e por delaminações nas linhas de colagem, conforme as linhas riscadas com giz amarelo na foto ao lado, mais precisamente na região mais tracionada no vão central e aproximadamente na região da linha neutra nas proximidades das regiões dos apoios. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na análise numérica dos esforços de cisalhamento nos elementos estruturais do sistema, devido às ações permanentes, com o valor encontrado numericamente para o Esforço Cortante máximo nas extremidades Viga principal (Biapoiada) foi de 2946 kgf (maiores esforços cortantes nas extremidades da viga Principal, diagrama de cortantes representado na figura ao lado). 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na análise numérica da distribuição dos Momentos Fletores nos elementos da estrutura devido às ações permanentes, o valor encontrado numericamente para o Momento Fletor máximo na Viga principal foi de 58,97 kN.m (no meio do vão na maior parábola, conforme diagramas de Momento Fletor representados na figura ao lado), que superou em aproximadamente 17,91% o momento de cálculo considerado em projeto, evidenciando erro no dimensionamento da seção transversal da viga principal. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na análise numérica dos deslocamentos verticais nos elementos da estrutura devido às ações permanentes, o valor encontrado numericamente para o deslocamento vertical máximo no meio do vão da Viga principal foi de 58,83mm (conforme diagramas da Deformada do sistema global representado na figura ao lado) que superou em 38,81% à flecha limite $L/200$ ($720/200 = 3,6$ cm) da NBR 7190:1997. ✓ Observa-se que as 2 barras unifilares verticais que representam às duas colunas esbeltas de tubos metálicos, estão em vermelho, pois às verificações de ambas estão muito próximas ao limite de esbeltez $\lambda \leq 200$ conforme limite na NBR 8800:2008, com possibilidade de instabilidade por flambagem. 	

9.12 Cobertura lamelar de galpão industrial

Tabela 9.81. Inspeções não destrutivas (NDT) na cobertura lamelar de galpão industrial, Boituva – SP (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>Localização: Boituva - SP Coordenadas GPS: 21°17'00.19"S; 47°40'25.97"O; 783 m Alt. Sistema Estrutural: Cobertura de estrutura lamelar tipo "Hauff" Período de construção: Ausência de documentações e projetos, mas a estimativa do Proprietário é entre os anos de 1940 e 1950. Tipo de uso: Galpão industrial de tecelagem Espécie: Características visuais de Piuns do Paraná, Araucária Finalidade das inspeções: Avaliações das manifestações patológicas de grandes deformações e rupturas localizadas, na cobertura. Tipos de Inspeções: Inspeção Preliminar de Nível 1 (Geral) Classe de Prioridade de Intervenção Geral: ● Classe Vermelha Visitas Técnicas: inspeção preliminar início em 4 de Fev. de 2014 Qtde. de fotos arquivadas (CD's/DVD's/SD's): 295 fotos</p>	
<p>Metodologias das avaliações "in loco":</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Inspeção Preliminar de Nível 1 com visitas técnicas em campo; ✓ Inspeção Visual Geral com registro de 285 fotos digitais; ✓ Sondagens superficiais com testes ao Puncionamento; ✓ Sondagens superficiais com testes de Picoteamento; ✓ Sondagens com testes de percussão, com martelo; ✓ Avaliações de grandes deslocamentos e grandes deformações na cobertura, com o uso de trena digital a laser, "in loco", para levantamentos de flechas na estrutura de cobertura. ✓ Inicialmente em uma avaliação geral externa, à estrutura de cobertura apresenta deformações excessivas na região norte do sistema da cobertura, com grandes deslocamentos perceptíveis em inspeção visual (foto ao lado). Foto: BRITO (2014) 	
<p>CPI: ●</p> <p>Metodologias das avaliações em Laboratório:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Levantamento histórico; ✓ Análises de dados das inspeções; ✓ Análises visuais das fotos; ✓ Elaborações de desenhos via CAD; ✓ Registros de documentos, fotos e elaborações de relatórios. <p>✓ Ainda em avaliação geral externa, foram observados escorregamentos de telhas de fibrocimento, que são indícios que evidenciam as movimentações em função dos deslocamentos e das deformações estrutura da cobertura lamelar de madeira (foto ao lado).</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Já em uma avaliação geral interna ao galpão, pôde-se constatar as deformações excessivas mais acentuadas nessa região norte do sistema da cobertura, com grandes deslocamentos perceptíveis em inspeção visual (foto ao lado). ✓ Foram identificados diversos pontos no telhado, com penetração de luz solar (claridades esbranquiçadas e reluzentes entre às telhas), que evidenciam às diversas telhas de fibrocimento muito danificadas, além de pontos com claraboias e exaustores sobre a cobertura, apontam os indícios de manchas de ações atmosféricas e de umidade na madeira, que comprovam às infiltrações de águas pluviais, nesses pontos localizados (exemplo na foto ao lado, registrada na região norte do sistema da cobertura). Foto: BRITO (2014) 	

Tabela 9.82. Inspeções não destrutivas (NDT) na cobertura lamelar de galpão industrial, Boituva – SP (cont.)


Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ A principal finalidade das inspeções, desse trabalho, foi avaliar em inspeção preliminar, as principais manifestações patológicas decorrentes de grandes deslocamentos, grandes deformações, além de e rupturas localizadas, nos elementos estruturais de madeira da cobertura. ✓ Nessa avaliação geral, a foto ao lado apresenta à visualização em maiores detalhes referente às deformações excessivas mais acentuadas nessa região norte do sistema da cobertura, com grandes deslocamentos perceptíveis em inspeção visual. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ E em uma avaliação internamente no galpão, ainda mais detalhada, foram constatadas fendas longitudinais de grandes dimensões em elementos estruturais de madeira da cumeeira, ao lado norte do galpão, oriundas de mobilizações em redistribuição de esforços decorrentes das grandes deformações, nessa região da cobertura. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na foto ao lado observa-se essas grandes deformações ao lado norte, até à visão geral de grandes deslocamentos dando aspecto de planicidade na região central, na deformada dessa cobertura. ✓ Foram constatados a ausência de 7 tirantes de barras metálicas, ou seja, faltavam 2 tirantes em 2 trechos e 3 no último trecho de extremidade, todos localizados na região norte da cobertura (nos três últimos trechos do galpão), mais precisamente nas proximidades da área das peças com grandes rupturas longitudinais da cumeeira onde ocorreram as maiores deformações no sistema global. É importante frisar que esses tirantes tem grande contribuição na estabilidade global de sistema lamelar em arco. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na foto ao lado, registrada de outro ângulo, tem-se à visão geral desse aspecto de planicidade na região central, na deformada dessa cobertura. 	

Tabela 9.83. Inspeções não destrutivas (NDT) na cobertura lamelar de galpão industrial, Boituva – SP (cont.)




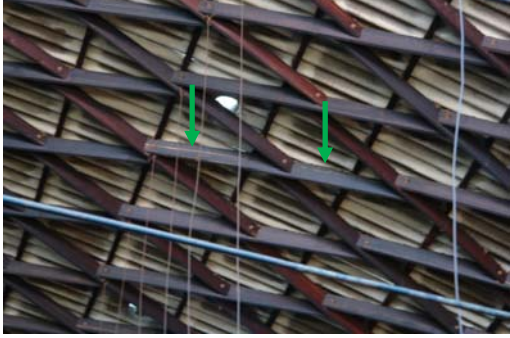
Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Em uma avaliação detalhada, à foto ao lado exemplifica alguns dos diversos pontos no telhado, com penetração de luz solar (claridades esbranquiçadas e reluzentes entre às telhas), que evidenciam telhas de fibrocimento muito danificadas, além de pontos com claraboias sobre a cobertura, e que apontam aos indícios de manchas com características visuais de degradação superficial de ações de raios ultravioleta decorrentes das ações atmosféricas, além de manchas de umidade com características visuais de infiltrações de águas pluviais, nesses pontos localizados. Esses pontos ficam favoráveis à biodeterioração, principalmente por fungos apodrecedores.</p> <p>Foto: BRITO (2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Na foto ao lado, observa-se o Modo de Ruptura em um nó de ligação, com características visuais de biodeterioração por fungo apodrecedor, em região localizada nas proximidades abaixo da abertura de um exaustor sobre o telhado.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Em uma avaliação detalhada, à foto ao lado também exemplifica alguns pontos no telhado, no canto sudoeste, com penetração de luz solar (claridades esbranquiçadas e reluzentes entre às telhas), que evidenciam telhas de fibrocimento muito danificadas, e que apontam aos indícios de manchas com características visuais de degradação superficial de ações de agentes atmosféricos, além de manchas de umidade na madeira com características visuais de infiltrações de águas pluviais.</p> <p>✓ Observa-se também às manchas de infiltrações nas paredes nessa região, que comprovam a evidência de teor de umidade elevado na madeira, principalmente em períodos chuvosos.</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Fendilhamento longitudinal, paralelo às fibras, aproximadamente na linha de parafuso, no eixo da peça de madeira, com características visuais de biodeterioração por fungos de podridão branca, em peça disposta nas proximidades abaixo de abertura de exaustor disposto sobre o telhado.</p>	

Tabela 9.84. Inspeções não destrutivas (NDT) na cobertura lamelar de galpão industrial, Boituva – SP (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ No piso do galpão, nas proximidades laterais das paredes, e nos pilares de concreto armado, no lado leste do galpão, foram detectados grânulos ovalados com características visuais de excrementos de cupins-de-madeira-seca. ✓ Observa-se que a armadura longitudinal de canto e a armadura de estribo inferior do pilar da foto ao lado, expostas, apresentam sinais de corrosão acentuada, em região com destacamento do cobrimento de concreto, que também pode evidenciar a presença de umidade nessa região. 	
<p>Foto: BRITO (2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Em uma avaliação mais detalhada, em terças próximas ao Frechal, do lado leste, que estava acessível à inspeção foram detectados, em grande extensão, a presença de colônias de térmitas-de-madeira-seca em atividade. 	
<p>Foto: BRITO (2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na foto ao lado, registrada em uma inspeção visual mais detalhada em região pontual nas proximidades ao Frechal, do lado leste, que estava acessível à inspeção, demonstra-se uma quantidade relativa de grânulos ovalados com características visuais de excrementos de cupins-de-madeira-seca. ✓ Observa-se também a última fiada de terça, nessa região, com interligação ao frechal do lado leste, regiões dessas terças totalmente biodeterioradas por ataques de térmitas-de-madeira-seca (foto ao lado). 	
<p>Foto: BRITO (2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ À foto ao lado, comprova a presença de térmitas-de-madeira-seca em atividade, nas proximidades ao Frechal, do lado leste da cobertura do galpão, detectadas em uma inspeção visual mais detalhada nessa região. 	
<p>Foto: BRITO (2014)</p>	

Tabela 9.85. Inspeções não destrutivas (NDT) na cobertura lamelar de galpão industrial, Boituva – SP (cont.)



Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Em avaliação visual detalhada, no frechal do lado oeste, em região onde à inspeção estava acessível, foram detectados características visuais de sinais pontuais de presença fungos manchadores, emboloradores e fungos apodrecedores, principalmente nos frechais, que são posicionados nas proximidades dos coletores pluviais, e que estavam acessíveis à inspeção. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foram constatados pelo menos 6 elementos estruturais das lamelas de madeira com ruptura com características visuais de flexotração, que estavam com reforços provisórios. ✓ Na foto ao lado, pode-se observar o Modo de Ruptura de uma dessas lamelas. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Segundo informações locais, esse galpão foi utilizado por muitos anos como uso de tecelagem industrial, mas não soube precisar o tempo exato. E informou que na região leste do galpão, onde foram constatados os 6 elementos estruturais das lamelas de madeira com ruptura, que estavam com reforços provisórios, havia um equipamento industrial com sistema de aquecimento e vaporização, que funcionava continuamente e diariamente, condensando vapor para a cobertura, e na foto ao lado pode-se observar esses elementos provisórios de reforço e manchas com variação na coloração da madeira, mais expressiva nessa região. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na foto ao lado, tem-se a exemplificação de elemento estrutural de lamela com ruptura com características visuais de flexocompressão, na região do eixo central, e que estava sem reforço na data da visita. 	

Tabela 9.86. Inspeções não destrutivas (NDT) na cobertura lamelar de galpão industrial, Boituva – SP (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na inspeção visual geral, foram constatados elementos de reforços metálicos (pintados de vermelho terra), fixados no topo dos pilares de concreto armado, como concepção incorreta de técnica de reabilitação, que favorecem ao efeito de inversões de esforços nas peças estruturais de madeira nessa região. ✓ Observam-se diversos elementos estruturais de lamelas de madeira com deformações excessivas por flambagem lateral, decorrentes dessas inversões de esforços. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ A foto ao lado apresenta uma vista lateral desses reforços metálicos, fixados no topo dos pilares de concreto armado, com concepção incorreta de técnica de reabilitação, que favorecem ao efeito de inversões de esforços nas peças estruturais de madeira nessa região. <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Em uma avaliação visual detalhada, alguns elementos estruturais de madeira passaram por manutenções irregulares, com relocação do posicionamento dos apoios fora de regiões de nós de ligações, provocando excentricidades no sistema, conforme exemplificação na foto ao lado. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Em uma visão geral, a foto ao lado, apresenta às deformações excessivas da estrutura da cobertura lamelar, com grandes deslocamentos perceptíveis em inspeção visual geral (a parte central com aspecto de planicidade na deformação pode ser observada na vista interna da edificação). <p style="text-align: right;">Foto: BRITO (2014)</p>	

Tabela 9.87. Inspeções não destrutivas (NDT) na cobertura lamelar de galpão industrial, Boituva – SP (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Planta Baixa do galpão com indicação dos posicionamentos da trena a laser no Trecho A-A, para às medições das curvas de deformadas, na posição da segunda fileira longitudinal de pilares de concreto armado (elevação corte A-A), do sistema de cobertura de madeira lamelar do galpão. ✓ Às cotas estão em unidade de metro. BRITO (2014)
Planta Baixa: indicação dos posicionamentos da trena a laser no Trecho A-A	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diagrama da deformada do sistema de cobertura de madeira lamelar, levantados “in loco” com trena a laser, na posição da segunda fileira longitudinal de pilares de concreto armado (Corte A-A), nas proximidades da região com as rupturas localizadas. Observa-se o efeito das rótulas, que induzem às inversões de esforços ocasionados por alívio (contra flecha) em certos pontos. BRITO (2014)
Corte A-A: Diagrama da deformada no Trecho A-A.	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Planta Baixa do galpão com indicação dos posicionamentos da Trena a laser no Trecho B-B, para às medições das curvas de deformadas, no eixo central (Corte B-B), do sistema de cobertura de madeira lamelar do galpão. BRITO (2014)
Planta Baixa: indicação dos posicionamentos da trena a laser no Trecho B-B	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diagrama da deformada do sistema de cobertura de madeira lamelar, levantados “in loco” com trena a laser, no eixo central (elevação corte B-B) do galpão. ✓ Na época da inspeção, à Classificação da estrutura de acordo com o tipo de “Classe de prioridade de intervenção”, foi enquadrada como à ● Classe vermelha, com “Alta Prioridade de Intervenção”. BRITO (2014)
Corte B-B: Diagrama da deformada no Trecho B-B.	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Nas Avaliações dos grandes deslocamentos e deformações na cobertura, com o uso de trena digital a laser, “in loco”, para levantamentos de flechas na estrutura de cobertura foi comprovado que o trecho com 1,59 metros de deformação, está situado na região norte, mas apresentando também à deformação máxima no vão central de 1,29 metros que é muito significativa para uma deformação global nesse sistema de cobertura. 	

9.13 Cobertura de Arcos de Madeira Laminada Pregada MLP- Sul

Tabela 9.88. Inspeções (NDT) na Cobertura de Arcos MLP, do galpão Sul, Votuporanga – SP









Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>Localização: Votuporanga - SP Coordenadas GPS: 20°25'23.47"S; 49°58'36,46"O; 511 m Alt. Sistema Estrutural: Arcos de Madeira Laminada Pregada (MLP) Tipo "Hauff" Período de construção: Ausência de documentações e projetos Tipo de uso: Antigo Mercado Municipal Espécie: Características visuais de <i>Peroba Rosa</i> Finalidade das inspeções: Avaliação geral da estrutura de madeira Tipo de Inspeção: Pré-inspeção e Nível 1 (Geral) Classe de Prioridade de Intervenção Geral: ● Classe vermelha Visitas Técnicas: Inspeção preliminar início em 9 de Abril de 2014 Qtde. de fotos arquivadas (CD's/DVD's/SD's): 59 fotos</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ À Classe de Prioridade de Intervenção da cobertura dos Arcos de Madeira Laminada Pregada (MLP) tipo "Hauff", enquadra-se à ● Classe vermelha, pois as características visuais dos elementos estruturais de madeira, de maneira geral, evidenciam ausências de manutenções preventivas nessa estrutura, além das principais manifestações patológicas observadas nessa inspeção. ✓ Foram identificados diversos pontos no telhado, com penetração de luz solar (claridades esbranquiçadas e reluzentes entre às telhas), que evidenciam às diversas telhas de fibrocimento muito danificadas, além de vidros quebrados do lanternim, que apontam os indícios de manchas de ações atmosféricas e de umidade na madeira, que comprovam às infiltrações de águas pluviais, nesses pontos localizados. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na avaliação geral da estrutura de madeira, essa classificação enquadra-se também à ● Classe cinza, pois a estrutura estava inacessível para realizar as Inspeções Detalhadas de Nível 2, durante as inspeções. ✓ Observa-se que todos os tirantes dos 5 Arcos encontravam-se esticados, no entanto, pela inacessibilidade não foi possível avaliar as regiões de ancoragens dos tirantes. ✓ Na visão geral do lado sudoeste do galpão (foto ao lado), foram observadas algumas falhas nos sistemas de contraventamentos, no trecho 6 entre o arco A5 e a parede de fundo, no trecho 5 entre os arcos A4 e A5, e no trecho 4 entre os arcos A3 e A4. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na visão geral no lado norte do galpão (foto ao lado), foram observadas falhas nos sistemas de contraventamentos, no trecho 3 entre os arcos A2 e A3, e no trecho 2 entre os arcos A1 e A2. ✓ Foram observadas deterioração acentuadas em mais de 90% das peças de madeira de fechamento do Lanternim, em função da ausência de manutenções preventivas. ✓ Também foram observadas acentuadas manchas de descoloração na madeira, com características visuais de manchas de umidade, na extremidade norte do arco A1. ✓ Observa-se que em mais de 90% dos pontos de fixações das telhas com as terças, foram observadas manchas de descoloração na madeira, nessas regiões, e tem-se observado que isso geralmente se deve ao fato de pequenas infiltrações de águas pluviais ao longo do tempo, na deficiência dessas ligações. 	

Tabela 9.89. Inspeções (NDT) na Cobertura de Arcos MLP, do galpão Sul, Votuporanga – SP (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na visão geral no lado nordeste do galpão (foto ao lado), não se notou ausências de peças nos sistemas de contraventamentos, no trecho 1 entre o arco A1 e a parede frontal do galpão. ✓ Foram observadas acentuadas manchas de descoloração na madeira, com características visuais de manchas de umidade, na maioria das peças de contraventamento do Trecho 1 entre o arco A1 e a parede frontal, e no trecho 2 entre os arcos A1 e A2, da região nordeste do galpão. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na visão geral no lado leste do galpão (foto ao lado), foram observadas a existência de peças nos sistemas de contraventamentos, no trecho 1 entre o arco A1 e a parede frontal do galpão. No entanto, foram observadas manchas de umidade em regiões pontuais, principalmente nas terças dessa região. ✓ Foram observadas deformações em todos os arcos (A1, A2, A3, A4 e A5), nas regiões de apoio das peças verticais de madeira, oriundas principalmente de cargas concentradas dos pilaretes (montantes) do lanternim. Foram recomendados estudos de reforços nessas regiões, para todos os arcos. Nessas regiões também foram observados indícios de manchas decorrentes de ações atmosféricas, em função da concentração de luminosidade direta externa, penetrante pelos vidros do lanternim. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na visão geral no lado sudeste do galpão (foto ao lado), também não se notou ausências de peças nos sistemas de contraventamentos, no trecho 1 entre o arco A1 e a parede frontal do galpão. Mas foram observadas falhas nos sistemas de contraventamentos no lado sul, no trecho 2 entre os arcos A1 e A2, e no trecho 3 entre os arcos A2 e A3. ✓ Observou-se que a estrutura de lanternim é composta por 5 treliças transversais 5, apoiadas diretamente sobre a região central dos 5 arcos, que compõem o sistema de contraventamento lateral. Já as estruturas laterais do lanternim compostas de ambos os lados, por duas vigas de madeira são interligadas com 5 montantes verticais em cada trecho, contraventadas com sistema tipo diafragma com peças horizontais. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na visão geral do lado sudoeste do galpão (foto ao lado), foram observadas falhas nos sistemas de contraventamentos, no trecho 4 entre os arcos A3 e A4, no trecho 5 entre os arcos A4 e A5 e no trecho 6 entre o arco A5 e a parede de fundo. ✓ Nesse galpão foi observado a grande quantidade de pombos e urubus que habitam internamente no local. Os excrementos fecais desses animais podem favorecer a biodeterioração da madeira, principalmente com fungos apodrecedores. ✓ Recomendou-se que antes das intervenções nesse galpão, fossem realizadas as inspeções detalhadas de Nível 2 em todos os elementos estruturais de madeira do sistema de coberturas, assim como o projeto de técnicas de reabilitação e reforço, a serem realizados por empresas especializadas na área. 	

9.14 Cobertura de Arcos de Madeira Laminada Pregada MLP- Norte

Tabela 9.90. Inspeções (NDT) na Cobertura de Arcos MLP, do galpão Norte, Votuporanga – SP (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>Localização: Votuporanga - SP Coordenadas GPS: 20°25'22.12"S; 49°58'36,64"O; 511 m Alt. Sistema Estrutural: Arcos de Madeira Laminada Pregada (MLP) Tipo "Hauff" Período de construção: 1957 à 1958, P. Municipal de Votuporanga Tipo de uso: Antigo Mercado Municipal Espécie: Características visuais de <i>Peroba Rosa</i> Finalidade das inspeções: Avaliação geral da estrutura de madeira Tipos de Inspeções: Pré-inspeção; Nível 1 (Geral) Classe de Prioridade de Intervenção Geral: ● Classe vermelha Visitas Técnicas: Inspeção preliminar início em 9 de Abril de 2014 Qtde. de fotos arquivadas (CD's/DVD's/SD's): 392 fotos</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ À Classe de Prioridade de Intervenção Geral do sistema de cobertura de Arcos de Madeira Laminada Pregada (MLP) tipo "Hauff", também se enquadra à ● Classe vermelha, pois as características visuais dos elementos estruturais de madeira, de maneira geral, evidenciam ausências de manutenções preventivas nessa estrutura, além das principais manifestações patológicas observadas nessa inspeção. ✓ A foto ao lado apresenta uma vista parcial externa, do sistema de cobertura de Arcos de Madeira Laminada Pregada, com Lanternim. Observa-se o estado de deterioração acentuado das peças de madeira de fechamento do Lanternim, em função da ausência de manutenções periódicas preventivas. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na avaliação geral da estrutura de madeira, essa classificação enquadra-se também à ● Classe cinza, pois foram poucos os pontos críticos da estrutura de madeira, que estavam acessíveis a realizar Inspeções Detalhadas de Nível 2, durante as inspeções, em função da pequena quantidade de andaimes e principalmente pela inacessibilidade nas regiões de apoio embutidas nas paredes. ✓ A foto ao lado apresenta um exemplo de região de apoio do arco A2, lado sul do galpão, com inacessibilidade para uma inspeção mais detalhada de Nível 2, nas condições das peças de madeira e sistema de ancoragem do tirante, que são pontos críticos desse sistema estrutural, pois encontravam-se embutidos na parede. ✓ Foram observadas manchas na parede, que evidenciam percolações de águas pluviais de vazamentos de calhas. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Para uma avaliação superficial, mais detalhada do estado de preservação da madeira, na região de apoio do arco A2 foram realizados testes de picoteamentos, não identificando biodeteriorações superficiais nessa região, diante das evidências pelas lascas rígidas observadas durante as inspeções, como à exemplificação na foto ao lado. ✓ Para uma avaliação interna à madeira, nessa região, foi cogitada à hipótese de uso do Resistograph. No entanto, a mesma foi descartada em função do sistema de Madeira Laminada Pregada, ser composto por uma grande quantidade de pregos, e isso danificaria o equipamento. 	

Tabela 9.91. Inspeções (NDT) na Cobertura de Arcos MLP, do galpão Norte, Votuporanga – SP (cont.)









Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Observa-se que foram identificadas deformações em todos os arcos (A1, A2, A3, A4 e A5), nas regiões de apoio das peças verticais de madeira, oriundas principalmente de cargas concentradas dos pilaretes (montantes) do lanternim. Para isso, foram recomendados estudos de reforços nessas regiões, de todos os arcos. Nessas regiões também foram observadas manchas decorrentes de ações atmosféricas, em função da concentração de luminosidade direta externa, penetrante pelos vidros do lanternim. ✓ Na foto ao lado, observam-se nos arcos A1, A2 e A3, exemplificações nas variações dessas deformações, oriundas das cargas concentradas do treliçamento norte do lanternim. ✓ Observa-se também fálhas nos sistemas de contraventamentos nos trechos 2 e 3 entre os arcos A2 e A3 e entre os arcos A3 e A4. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na foto ao lado, em outro ângulo de visão, observam-se as essas deformações, oriunda das cargas concentradas do treliçamento norte do lanternim, nas exemplificações dos arcos A1, A2 e A3. ✓ Observou-se que a estrutura de lanternim é composta por cinco treliças transversais principais, apoiadas diretamente sobre a região central dos cinco arcos, que compõem o sistema de contraventamento lateral desse lanternim, além de mãos-francesas contraventando as terças desse sistema. Já as estruturas laterais do lanternim compostas de ambos os lados, por duas vigas de madeira, sendo uma inferior e outra superior, são interligadas com 5 montantes verticais em cada trecho, contraventadas com sistema tipo diafragma com peças horizontais. No entanto, mais de 80% dessas peças horizontais estavam deterioradas e/ou soltas. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na foto ao lado, observam-se nos arcos A1, A2, A3 e A4, exemplificações nas variações de flechas nessas deformações, oriundas das cargas concentradas do treliçamento sul do lanternim. ✓ Observa-se também uma fenda longitudinal expressiva na terça T3, no trecho 5, entre os arcos A4 e A5, no lado sul do galpão. ✓ Observa-se que não foi possível utilizar a técnica de inspeção com medições de trena a laser, para levantamentos e avaliações das deformações nos arcos, dessa estrutura, em função das irregularidades no solo, pois o galpão encontrava-se sem contra piso durante as inspeções. Outro fator foi que com o galpão descoberto, à intensidade da claridade do sol, impedia observar o posicionamento do ponto de laser da trena nos arcos. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na foto ao lado, em uma visualização mais aproximada, observam-se nos arcos A1, A2, A3 e A4, as exemplificações mais detalhadas nas variações de flechas nessas deformações, oriundas das cargas concentradas do treliçamento sul do lanternim, já comentadas. No entanto, não foram observadas características de esmagamentos nessas regiões mais críticas desse sistema de arco. ✓ Nessas regiões podem ser observadas mais detalhadamente às manchas decorrentes de ações atmosféricas, em função da concentração de luminosidade direta externa, penetrante pelos vidros do lanternim. ✓ Também foram observados excrementos fecais de pombos nessas regiões, que podem favorecer a biodeterioração, principalmente por fungos apodrecedores. 	

Tabela 9.92. Inspeções (NDT) na Cobertura de Arcos MLP, do galpão Norte, Votuporanga – SP (cont.)

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Observa-se também as disposições das 12 peças de madeira que compõem o perfil “I” do sistema de madeira laminada pregada desse galpão, com seção transversal de aproximadamente 30 cm de altura. Sendo que 3 peças compõem à base, 6 peças compõem à alma, e mais 3 peças compõem à mesa da seção transversal “I” de cada arco. ✓ Como à maioria dos elementos estruturais de madeira não apresentavam aspectos estéticos agradáveis superficialmente, com manchas claras e predominando a cor castanha escura (conforme à foto ao lado, detalhada do arco A4 lado norte), foi sugerido que fossem realizados testes de picoteamentos, com ferramentas pontiagudas, para uma avaliação superficial mais detalhada do estado de preservação da madeira. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Para uma avaliação superficial mais detalhada do estado de conservação da madeira, nessa região mais crítica, com deformações no arco A4 (no lado norte), no ponto de apoio do lanternim foram realizados testes de picoteamentos, em regiões com características visuais de manchas de umidade. No entanto, não foram identificadas biodeteriorações superficiais nessa região, diante das evidências pelas lascas rígidas observadas durante as inspeções, como à exemplificação na foto ao lado. ✓ Observa-se que pela coloração nos pontos picoteados nas peças de madeira, às mesmas apresentam características visuais da espécie de peroba rosa. No entanto, caso haja a necessidade de identificação da espécie com precisão, recomenda-se que sejam avaliadas por laboratório idôneo especialista nessa área. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Na foto ao lado, em uma visualização mais aproximada, observa-se no arco A5, na região mais crítica das deformações, oriundas das cargas concentradas do treliçamento sul do lanternim, não foram observadas características de esmagamentos nessa região. ✓ Nessa região, no entanto, foram observadas manchas com clareamento na madeira com características visuais, que evidenciam sinais de infiltrações de águas pluviais nessa região, principalmente por se tratar de áreas críticas em favorecimento a esse efeito. Por isso, foram sugeridos testes de picoteamentos nessas regiões. ✓ Observa-se também na foto ao lado, manchas escuras na lateral do perfil, que evidenciam características visuais de fungos manchadores, e que se não tratados favorecem à biodeterioração. 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Para uma avaliação superficial, mais detalhada do estado de conservação da madeira, nessa região mais crítica, com deformações no arco A5 (no lado sul), no ponto de apoio do lanternim foram realizados testes de picoteamentos, em regiões com características visuais de manchas de umidade. No entanto, também não foram identificadas biodeteriorações superficiais nessa região, diante das evidências pelas lascas rígidas observadas durante as inspeções, como à exemplificação na foto ao lado. ✓ Recomendou-se que antes das intervenções nesse galpão, fossem realizadas às inspeções detalhadas de Nível 2 em todos os elementos estruturais de madeira do sistema de coberturas, assim como o projeto de técnicas de reabilitação e reforço, a serem realizados por empresas especializadas na área. 	

9.15 Passarela estaiada com tabuleiro curvo protendido - LaMEM

Tabela 9.93. Inspeções (NDT) na passarela estaiada do LaMEM/EESC/USP, São Carlos – SP

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>Localização: LaMEM/EESC/USP, São Carlos - SP Coordenadas GPS: 22° 00' 13,1"S; 47° 53' 59,2"W; 811 m Alt. Sistema Estrutural: passarela estaiada com tabuleiro de madeira laminada curva protendida Período de construção: 2001 a 2003, PLETZ (2003); Tipo de uso: Passarela de Pedestres Espécie: Coluna de Eucalyptus citriodora, tabuleiro de <i>Pinus Taeda</i>. Finalidade das inspeções: Inspeções periódicas preventivas, para avaliações dos elementos estruturais de madeira. Tipos de Inspeções: Pré-inspeção; Nível 1 (Geral); Nível 2 (Det.) Classe de Prioridade de Intervenção Geral: ● Classe amarela Visitas Técnicas: Inspeção preliminar início em 11 de Junho de 2014 Qtde. de fotos arquivadas (CD's/DVD's/SD's): 363 fotos</p>	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ À Classe de Prioridade de Intervenção Geral nessa passarela estaiada com tabuleiro de madeira laminada curva protendida, enquadra-se à ● Classe amarela, pois as características visuais dos elementos estruturais de madeira, de maneira geral, evidenciam ausências de manutenções preventivas nessa estrutura. ✓ Durante as inspeções foram observados que a disposição da passarela, apresenta 3 áreas críticas, evidenciadas pela presença de fungos manchadores e emboloradores, susceptíveis à biodeterioração por fungos apodrecedores, em função do seu posicionamento à exposição às agentes bióticos que a circundam, além de maior concentração de umidade nessas regiões que são: à área abaixo do beiral da cobertura do LaMEM (foto ao lado); à área logo abaixo das árvores e à área da encosta. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Em uma avaliação visual geral, na foto ao lado, registrada com vista inferior ao tabuleiro, situada na região do Módulo 4, que está situada diretamente abaixo das árvores, pôde-se observar manchas escuras com características visuais de fungos manchadores nas laterais das peças de madeira, principalmente nas regiões de ancoragens das barras, onde são favoráveis à fixação de umidade de decorrentes de águas pluviais. ✓ Nessa região foram detectados diversos pontos com hifas, tanto na região inferior das peças de madeira do tabuleiro, quanto nas laterais. Observa-se que hifas similares a essa foram observadas também na coluna da passarela e nas arvores que a circundam. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ E o terceiro ponto mais crítico, situado na região de encosta, com parte do tabuleiro em contato direto com o solo e com gramíneas, é à área onde apresentam sinais ainda mais evidentes de manifestações patológicas em fase inicial, tais como: manchas de umidade na madeira, grande quantidade de hifas, fungos manchadores e fungos emboloradores. ✓ Embora os elementos estruturais de madeira dessa passarela tenham sido tratados com CCA em autoclave, foram recomendadas que todas às peças de madeira, passem por tratamento superficial, com lixamento, e aplicação de pinturas com Stains fungicidas hidrorrepelentes, a fim de garantir a durabilidade e prolongar à Vida útil dessa estrutura. 	

Tabela 9.94. Inspeções (NDT) na passarela estaiada do LaMEM/EESC/USP, São Carlos – SP

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Destaca-se que todas as regiões de extremidades das peças de madeira, em que às fibras de extremidades são expostas, que é o caso das regiões de todos os conectores metálicos de emendas dos módulos, foram observados, que esses são os pontos mais críticos na parte inferior do tabuleiro, conforme pode-se observar com maior frequência sinais com características visuais de manchas de umidade, grande quantidade de hifas e manchas de fungos manchadores e emboloradores (foto ao lado). Essas manifestações patológicas são mais acentuadas nas regiões de emendas das 3 áreas mais críticas já comentadas.</p> <p>Foto: BRITO (2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Em uma avaliação mais detalhada pela técnica de inspeção visual, pode-se observar às exemplificações da peça externa, na foto ao lado, de fenda longitudinal na linha protensão, manchas escuras que evidenciam presença de fungos manchadores, e colônias de hifas esbranquiçadas, com características visuais semelhantes às hifas das árvores que a circundam.</p> <p>Foto: BRITO (2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Durante a inspeção visual detalhada, à foto ao lado, registrada de parte da área inferior do tabuleiro na região das proximidades das árvores, pôde-se observar às exemplificações de sinais superficiais de manchas de umidade, oriundas de percolações das águas pluviais entre às peças de madeira do tabuleiro, além de presença de fungos manchadores e hifas entre fendas, que podem favorecer a biodeterioração por fungos apodrecedores, ao longo do tempo.</p> <p>Foto: BRITO (2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Como pode-se constatar na foto ao lado, registrada durante a inspeção visual detalhada, à área da parte da área inferior do tabuleiro na região das proximidades do solo com a encosta, pode-se observar às exemplificações de sinais acentuados de manchas de umidade, oriundas de percolações das águas pluviais entre às peças de madeira do tabuleiro, além de presença de lodos esverdeados, fungos manchadores, emboloradores e grande quantidade de hifas esbranquiçadas.</p> <p>Foto: BRITO (2014)</p>	

Tabela 9.95. Inspeções (NDT) na passarela estaiada do LaMEM/EESC/USP, São Carlos – SP


Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Na foto ao lado, registrada durante a inspeção geral, tem-se a exemplificação de características visuais de perda do produto de proteção preservativo da madeira, por lixiviação ao longo do tempo, na região da base da coluna de sustentação da passarela.</p> <p>Foto: BRITO (2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Em uma inspeção mais detalhada, pode-se observar que esse efeito de lixiviação com perda do produto preservativo da madeira, apresenta características visuais de manchas esverdeadas, na superfície da madeira.</p> <p>Foto: BRITO (2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ Na foto ao lado, registrada na inspeção geral, são apresentados diversos sinais com manchas esbranquiçadas entre às fissuras naturais da madeira, ao longo do comprimento da coluna de sustentação da passarela, que evidenciam a presença de hifas nessas regiões.</p> <p>Foto: BRITO (2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <p>✓ À foto ao lado, demonstra um exemplo em detalhe das características visuais de hifas de fungos, fixadas entre às fendas da coluna de sustentação da passarela, de Eucalyptus citriodora tratado com CCA.</p> <p>Foto: BRITO (2014)</p>	

Tabela 9.96. Inspeções (NDT) na passarela estaiada do LaMEM/EESC/USP, São Carlos – SP

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Em uma inspeção visual geral, na região superior do tabuleiro da passarela, fica mais evidente observar que às manchas mais escuras, com características visuais de fungos manchadores e emboloradores, na área mais próxima do beiral do galpão, é uma das regiões mais críticas para proliferação desses tipos de fungos, por se situar logo abaixo do beiral da cobertura, que não possui calha. ✓ Observa-se também que a faixa central, representada pela coloração mais clara, sofreu desgaste superficial na madeira, por atrito, e perda da pintura de proteção superficial. <p>Foto: BRITO (2014)</p>	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Pela técnica de inspeção visual geral, detalhada e testes de picoteamento, foi possível detectar 46 peças, nos sete módulos com biodeterioração por fungos apodrecedores, com características visuais de podridão parda, conforme pode ser observado um exemplo na foto ao lado. ✓ E a região com maior quantidade de lamelas (L) biodeterioradas foram às dispostas nos módulos M6 e M7 com a proximidade do solo da encosta, como pode ser observada na relação em ordem decrescente dos módulos (M): ✓ M7 (L1, L6, L12, L14, L18, L19, L27, L29, L30, L31, L34, L35, L36, L37) ✓ M6 (L1, L4, L11, L12, L13, L18, L20, L23, L24, L32) 	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ M5 (L9, L12, L15, L21, L22, L26) ✓ M4 (L18, L21, L31) ✓ M3 (L13, L14, L18, L19, L24, L25) ✓ M2 (L3, L9, L6, L11, L16, L22) ✓ M1 (L11, L21) <p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ O sistema de guarda-corpo dessa passarela é tão somente estético, e não foi dimensionado para tal função, conforme observa-se na foto ao lado. Os pilaretes dos guarda-corpos foram confeccionados com peças maciças, e em função da sua forma no corte, é favorável ao fendilhamento nas regiões de fixação dos parafusos. Uma solução ideal para essa forma seria a substituição por peças de Madeira Laminada Colada. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Nas inspeções visuais, foram observadas também pontos de oxidações superficiais, nos tirantes e nos insertos metálicos galvanizados do sistema de estais. <p>Foto: BRITO (2014)</p>	

Tabela 9.97. Inspeções (NDT) na passarela estaiada do LaMEM/EESC/USP, São Carlos – SP

Manifestação Patológica: Descrição	Característica Visual
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na foto ao lado, registrada durante a inspeção detalhada, da região inferior da base da coluna de sustentação da passarela, em que foram observados às seguintes manifestações: <ul style="list-style-type: none"> ✓ À base de madeira está em contato direto com o concreto do bloco de fundação; ✓ Foram observados acúmulos de folhas em biodecomposição e com hifas, depositadas nessa região. ✓ Na madeira nessa região foram observados pequenos pontos de hifas; ✓ E indícios de sinais de oxidação nos elementos metálicos galvanizados que compõem a rotula do sistema. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Foram observadas partes soltas das telas anti-rachas, e pontos de oxidações nas mesmas, mais evidentes nos dentes estampados; BRITO e CALIL JR. (2011)c. ✓ Na foto ao lado, pode-se observar em detalhe, a base da coluna de madeira apoiada diretamente sobre o concreto do bloco de fundação; BRITO e CALIL JR. (2012)e. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Na foto ao lado, pode-se observar em detalhes exemplos de telas anti-rachas, e pontos de oxidações nas mesmas, mais evidentes nos dentes estampados; BRITO e CALIL JR. (2012)e. ✓ Nessa região também foram observadas características visuais de biodeterioração superficial na madeira. 	
<p>CPI: ●</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Observa-se que na extremidade da base da coluna existe uma fenda longitudinal de 102 cm de comprimento por aproximadamente 1 cm de espessura (foto ao lado), que já existia na época da construção, como foi observado em PLETZ (2003). Foto: BRITO (2014) 	

10 APÊNDICE B - FICHAS TÉCNICAS: PRINCIPAIS TÉCNICAS DE REABILITAÇÕES E REFORÇOS PARA INTERVENÇÕES EM ESTRUTURAS DE MADEIRA

Em diversos países, tem-se utilizado diferentes técnicas de reabilitação e reforço de estruturas de madeira, em função do tipo de deterioração no elemento estrutural. Como contribuição na pesquisa, em estudos de uma extensa revisão bibliográfica, o Autor apresenta nesse Apêndice de maneira sistematizada e concisa, em função do diagnóstico das principais manifestações patológicas, os principais tipos de metodologias em soluções de técnicas de reabilitações e/ou reforços, abordados por renomados pesquisadores internacionais, cientistas em estruturas de madeira, com o intuito de fornecer subsídios em futuras pesquisas, além de auxílios em projetos de intervenções em reabilitações de elementos estruturais de madeira, para inspetores, engenheiros e arquitetos, especialistas em estruturas de madeira. Vale frisar que todos os elementos metálicos devem ser galvanizados, a fim de garantir maior durabilidade e conseqüentemente, aumento da Vida útil das estruturas de madeira.

As principais técnicas de reabilitações e reforços para intervenções em elementos estruturais de madeira foram subdivididas em:

- Reabilitações de elementos estruturais de treliças;
- Reabilitação de extremidade de viga de madeira em região de apoio;
- Reabilitação de vigas em regiões submetidas á flexão;
- Reabilitações em bases de pilares e colunas;
- Reabilitações em estacas de madeira;
- Reabilitações de pavimentos e coberturas em regiões de apoios;
- Reabilitações de pavimentos em regiões submetidas á flexão.

Tabela 10.1. Reabilitações de elementos estruturais de treliças: diagnóstico de fendas longitudinais.

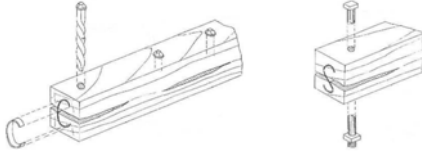
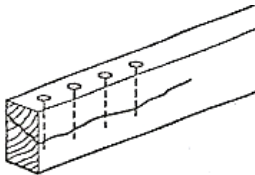
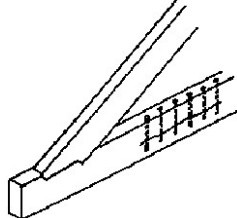
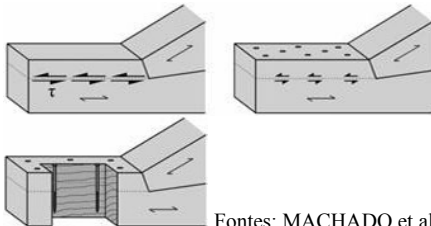
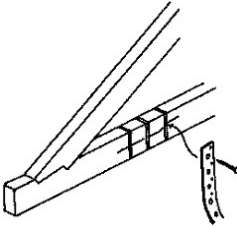
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
Reparo de fenda longitudinal em extremidade com ligações de conectores e com pregos ou parafusos dispostos em linha.	 <p data-bbox="699 533 1083 555">Fonte: JOHNSON (1980) apud DIAS (2008)</p>	JOHNSON (1980); UZIELLI (1995); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)
Reparo ou reforço de fendilhamentos com ligações por cisalhamento com costura com linha de pregos ou parafusos.	 <p data-bbox="788 801 995 824">Fonte: UZIELLI (1995)</p>	RITTER (1990); JOHNSON (1980); UZIELLI (1995); PFEIL (2003); CÓIAS (2007); LOPES (2007); DIAS (2008); REIS et al (2008); MACHADO et al (2009); PALMA e CUSTÓDIO (2009)
Reparo ou reforço de fendas longitudinais localizadas, com ligações por cisalhamento com costura de linha de pregos ou parafusos, em regiões de banzo.	 <p data-bbox="687 1205 1098 1227">Fonte: CÓIAS et al (2007) apud LOPES (2007)</p>	RITTER (1990); CÓIAS (2007); LOPES (2007);
Reforço de fendilhamento em extremidades de banzos, com ligações por cisalhamento com pregos ou parafusos.	 <p data-bbox="775 1496 1102 1541">Fontes: MACHADO et al (2009); PALMA e CUSTÓDIO (2009)</p>	MACHADO et al (2009); PALMA e CUSTÓDIO (2009)
Técnicas tradicionais de reforço de fenda em elementos de banzo de treliça com cintas metálicas pregadas ou parafusadas.	 <p data-bbox="687 1821 1098 1843">Fonte: CÓIAS et al (2007) apud LOPES (2007)</p>	CÓIAS (2007); LOPES (2007); REIS et al (2008)

Tabela 10.2. Reabilitações de elementos estruturais de treliças: diagnóstico de anomalias em nós.

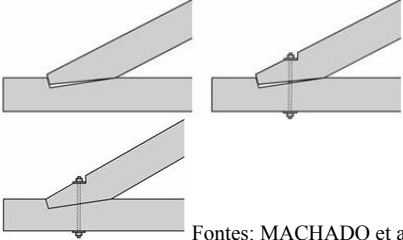
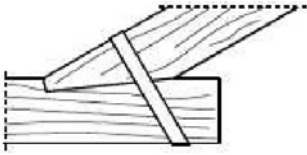
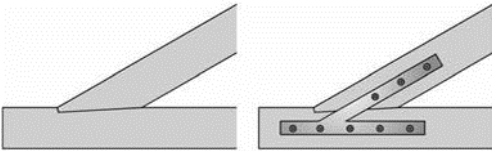
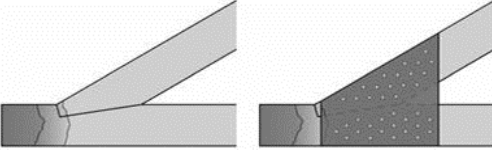
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
Técnicas tradicionais de reforço de ligações de nós de treliças com barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas.	 <p data-bbox="683 607 970 651">Fontes: MACHADO et al (2009); PALMA e CUSTÓDIO (2009)</p>	BRANCO et al (2006) LOPES (2007); MACHADO et al (2009); PALMA e CUSTÓDIO (2009); SANTOS (2009b); FERREIRA (2012)
Técnicas tradicionais de reforço de ligações de nós de treliças com abraçadeiras metálicas.	 <p data-bbox="876 842 1066 864">Fonte: LOPES (2007)</p>	BRANCO et al (2006) LOPES (2007); OLIVEIRA (2009); SANTOS (2009b); FERREIRA (2012);
Técnicas tradicionais de reforço de ligações de nós de treliça com chapas metálicas externas parafusadas tipo esquadro.	 <p data-bbox="671 1070 959 1115">Fontes: MACHADO et al (2009); PALMA e CUSTÓDIO (2009)</p>	BRANCO et al (2006) LOPES (2007); MACHADO et al (2009); PALMA e CUSTÓDIO (2009); OLIVEIRA (2009); SANTOS (2009b); FERREIRA (2012)
Reforço de ligações de nós de treliças com chapas metálicas externas pregadas na madeira sã, próxima à extremidade de banzo biodeteriorado.	 <p data-bbox="671 1328 959 1373">Fontes: MACHADO et al (2009); PALMA e CUSTÓDIO (2009)</p>	MACHADO et al (2009); PALMA e CUSTÓDIO (2009)

Tabela 10.3. Reabilitações de elementos estruturais de treliças: diagnóstico de pequenas fendas, rupturas ou deteriorações, ou em emendas com substituições parciais de elementos.

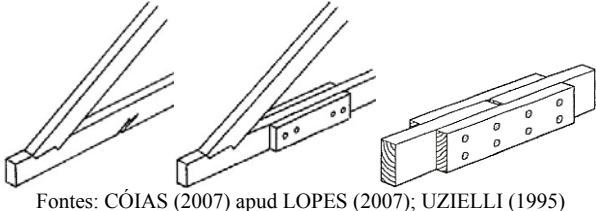
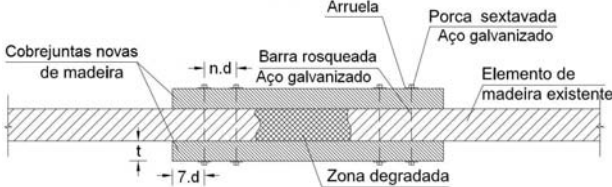
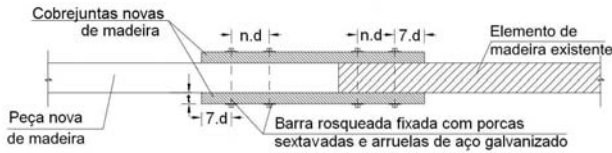
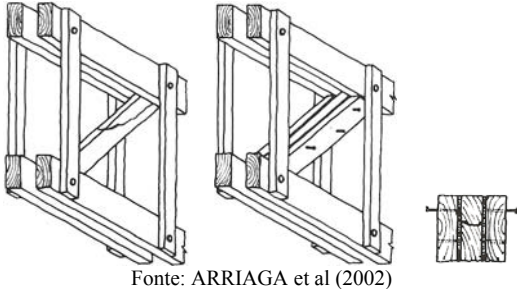
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
Técnicas tradicionais de reforço com 2 cobrejuntas laterais de madeira em região com fenda ou pequena ruptura no banzo inferior de treliça próximo ao apoio.	 <p>Fontes: CÓIAS (2007) apud LOPES (2007); UZIELLI (1995)</p>	RITTER (1990); UZIELLI (1995); ARRIAGA et al (2002); CÓIAS (2007); LOPES (2007); COSTA et al (2007); DIAS (2008); REIS et al (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)
Técnicas tradicionais de reforço com 2 cobrejuntas laterais aplicadas em região com pequenas deteriorações, em banzos de treliças.	 <p>Fontes: COSTA et al (2007) apud DIAS (2008)</p>	RITTER (1990); UZIELLI (1995); CÓIAS (2007); LOPES (2007); COSTA et al (2007)a; DIAS (2008); REIS et al (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)
Emenda em substituição parcial de peça de madeira, fixadas com 2 cobrejuntas laterais de madeira.	 <p>Fontes: COSTA et al (2007) apud DIAS (2008)</p>	RITTER (1990); UZIELLI (1995); CÓIAS (2007); LOPES (2007); COSTA et al (2007)a; DIAS (2008); REIS et al (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)
Reparo ou reforço de fendas ou fendilhamentos longitudinais em diagonais de treliças, com 2 cobrejuntas laterais de madeira, coladas e pregadas ou parafusadas.	 <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	RITTER (1990); UZIELLI (1995); ARRIAGA et al (2002)

Tabela 10.4. Reabilitações de elementos estruturais de treliças: diagnóstico de significativas fendas, rupturas ou deteriorações, ou em emendas em substituições parciais em regiões de elementos.

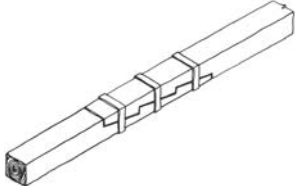
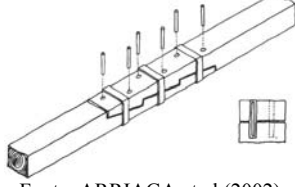
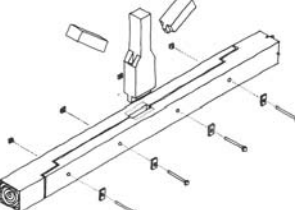
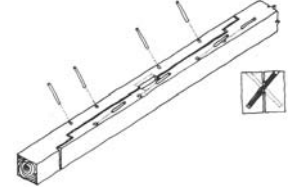
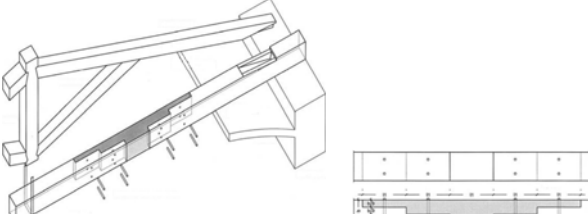
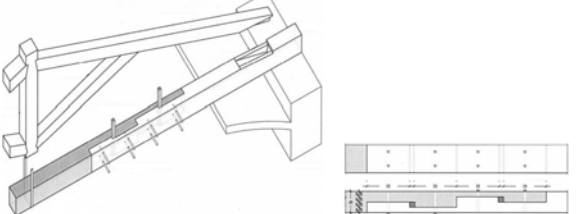
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
Técnicas tradicionais de reforço com abraçadeiras metálicas em emendas com entalhe tipo Júpiter em banzo de treliça.	 <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	BARBISAN e LANNER (2000); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); SAMPAIO da COSTA (2009)
Reforço com pinos metálicos ou cavilhas coladas com adesivo epóxi em emendas com entalhe tipo Júpiter em tirantes e/ou banzo de treliça.	 <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	BARBISAN e LANNER (2000); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); SAMPAIO da COSTA (2009)
Técnicas tradicionais de reforço com parafusos passantes arruelas e porcas em entalhes de emenda de banzo de treliças.	 <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	ANON (1982); BARBISAN e LANNER (2000); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); SAMPAIO da COSTA (2009)
Reforço com pinos metálicos ou cavilhas coladas com adesivo epóxi em entalhes de emenda de banzo de treliças.	 <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	ANON (1982); BARBISAN e LANNER (2000); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); SAMPAIO da COSTA (2009)
Reforço com cavilhas coladas com adesivo epóxi em entalhes de emenda de substituição parcial próxima ao de banzo de treliças.	 <p>Fonte: ESPARZA (2007)</p>	ESPARZA (2007)
Reforço com cavilhas coladas com adesivo epóxi em entalhes de emenda de substituição parcial em região central de banzo de treliças.	 <p>Fonte: ESPARZA (2007)</p>	ESPARZA (2007) AIRA et al (2011)

Tabela 10.5. Reabilitações de elementos estruturais de treliças: diagnóstico de pequenas fendas longitudinais localizadas, técnicas de reparo com injeção de resina epóxi.

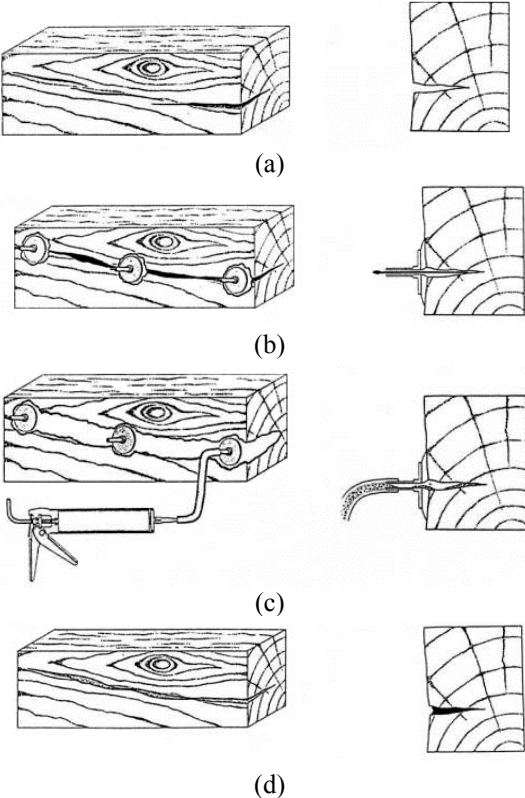
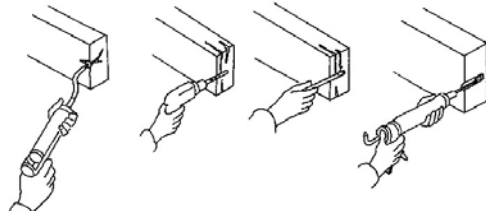
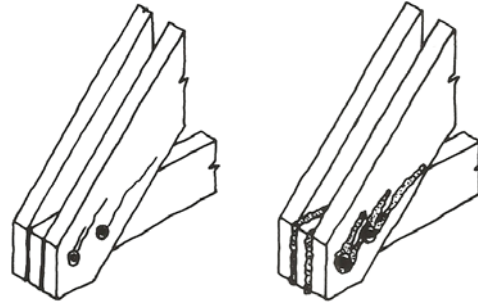
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Reparo de fendas com injeção de resina epóxi: (a) fenda detectada; (b) inserção de agulhas; (c) aplicação de resina epóxi na fenda; (d) fenda reconstituída com resina epóxi;</p>	 <p>(a)</p> <p>(b)</p> <p>(c)</p> <p>(d)</p>	<p>ROTAFIX (2007) citado em: LOPES (2007); REIS et al (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Obs.: Como precaução, essa técnica deve ser avaliada caso a caso,.</p>	<p>Fontes: ROTAFIX (2007) apud LOPES (2007)</p>	
<p>Reparo de fendas de extremidade com injeção de resina epóxi.</p>		<p>ROTAFIX (2007); LOPES (2007); REIS et al (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Obs.: Como precaução, essa técnica deve ser avaliada caso a caso, UZIELLI (1995).</p>	<p>Fontes: ROTAFIX (2007) apud LOPES (2007)</p>	
<p>Reparo de fendilhamentos em nós de treliças com injeção de resina epóxi.</p>		<p>ROTAFIX (2007); LOPES (2007); REIS et al (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Obs.: Como precaução, essa técnica deve ser avaliada caso a caso, UZIELLI (1995).</p>	<p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	

Tabela 10.6. Reabilitações de elementos estruturais de treliças: diagnóstico de biodeterioração, técnicas de reconstituição de ligações de nós de treliças com adesivo e argamassa epóxi.

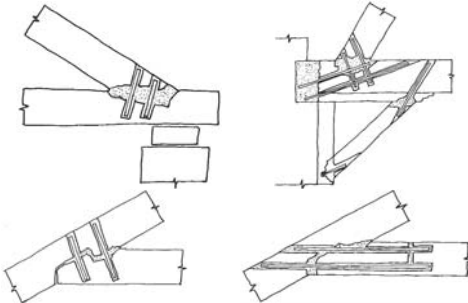
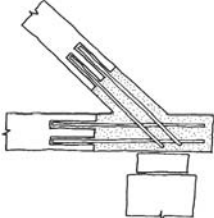
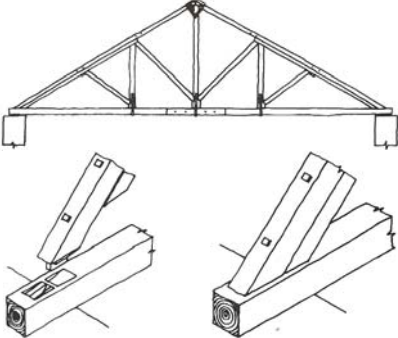
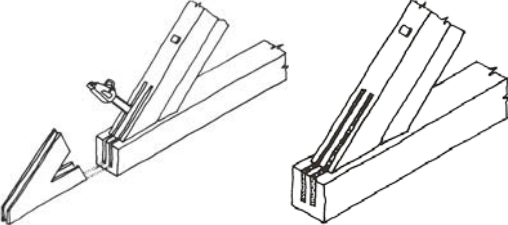
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Próteses de argamassa epóxi armada com barras de aço ou de fibra de vidro para reconstituição parcial de nós de ligações de treliças, em regiões de madeira biodeteriorada.</p>		<p>UZIELLI (1995); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); DIAS (2008) ARRIAGA (2010)</p>
<p>Prótese de argamassa epóxi armada com barras de aço ou de fibra de vidro para reconstituição total de nó de treliça em união de banzo inferior com banzo superior, próxima à região de apoio de extremidades de treliça de madeira biodeteriorada.</p>		<p>UZIELLI (1995); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); DIAS (2008); ARRIAGA (2010)</p>
<p>Próteses com peças de madeira adicionais coladas com adesivo epóxi para reconstituição parcial de nó de treliça em região de apoio de treliça de madeira biodeteriorada.</p>		<p>RODRIGUES (2004); LOPES (2007)</p>
<p>Próteses com placas coladas com adesivo epóxi para reconstituição parcial de nó de treliça em região de apoio de treliça de madeira biodeteriorada.</p>		<p>RODRIGUES (2004); LOPES (2007) ARRIAGA (2010)</p>

Tabela 10.7. Reabilitações de elementos estruturais de treliças: diagnóstico de instabilidade, técnicas de reforço com barras ou cabos de aço atirantados.

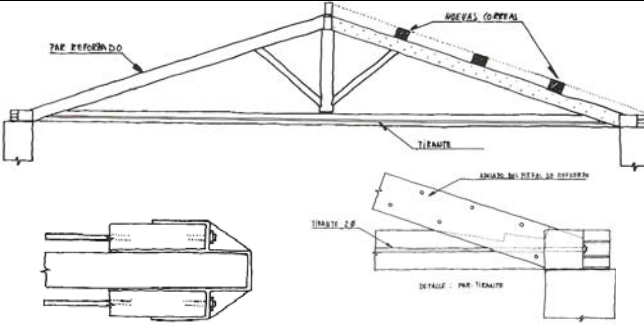
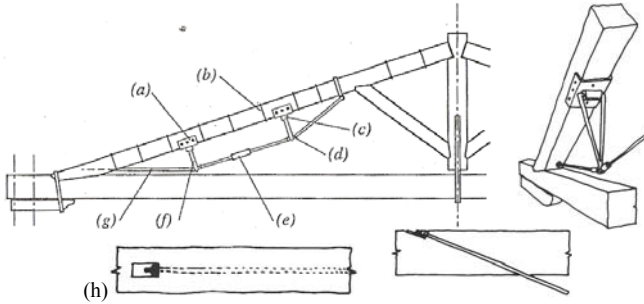
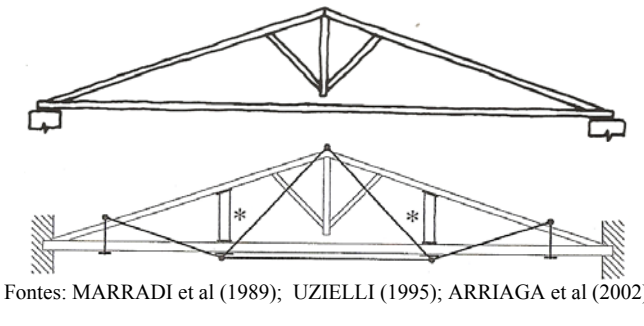
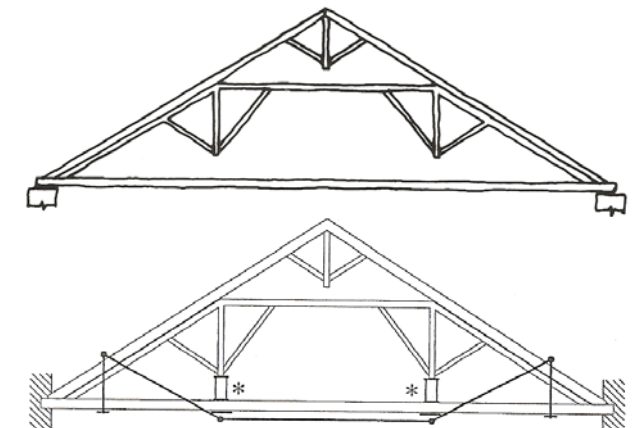
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Reforço em banzo inferior de treliça com barras de aço atirantadas.</p>	 <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>UZIELLI (1995); PAIVA et al (2006); LOPES (2008)</p>
<p>Reforço de trecho individual de banzo superior de treliça com cabos de aço atirantados:</p> <p>(a) placa de base suporte para a escora do sistema; (b) colarinhos de reforço; (c) dobradiça cilíndrica; (d) abraçadeira; (e) esticador (tensor de regulagem); (f) escora; (g) cabo de aço; (h) sistema de ancoragem dos tirantes.</p>	 <p>Fontes: TAMPONE et al (1989); UZIELLI (1995); ARRIAGA et al (2002) respectivamente.</p>	<p>TAMPONE et al (1989); UZIELLI (1995); ALFONZO et al (1995); RODRIGUES (2004); PAIVA et al (2006); GÓMEZ (2007); LOPES (2008); MORAES (2009)</p>
<p>Reforço de treliça simples de madeira com barras de aço atirantadas: os elementos internos marcados com * foram adicionados em conjunto com os tirantes e modificam significativamente a concepção estrutural do sistema original.</p>	 <p>Fontes: MARRADI et al (1989); UZIELLI (1995); ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>MARRADI et al (1989); UZIELLI (1995); GÓMEZ (2007); LOPES (2008)</p>
<p>Reforço de treliça de treliça complexa com barras de aço atirantadas: os elementos internos marcados com * foram adicionados em conjunto com os tirantes e modificam significativamente a concepção estrutural do sistema original.</p>	 <p>Fontes: MARRADI et al (1989); UZIELLI (1995); ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>MARRADI et al (1989); UZIELLI (1995); GÓMEZ (2007); LOPES (2008)</p>

Tabela 10.8. Reabilitação de extremidade de viga de madeira em região de apoio: diagnóstico de biodeterioração, técnica de reforços com 2 cobrejuntas em extremidade de viga de madeira em região de apoio.

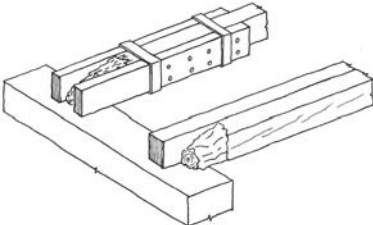
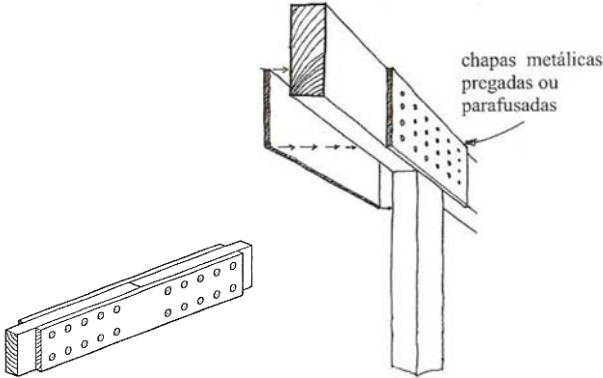
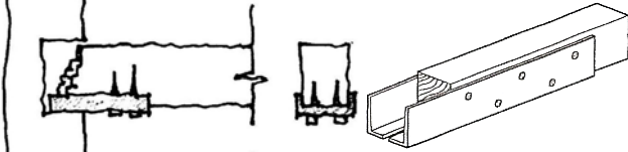
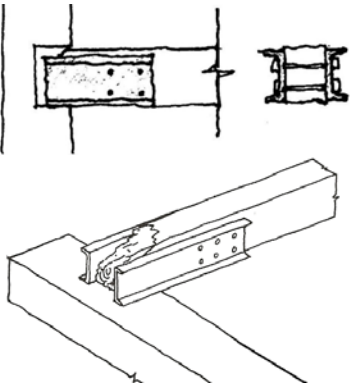
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
Técnicas tradicionais de reforço com 2 cobrejuntas laterais de madeira parafusadas e/ ou com cintas metálicas galvanizadas, aplicadas em região de viga biodeteriorada próxima à região de apoio.		UZIELLI (1995); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); SAMPAIO da COSTA (2009)
Fonte: ARRIAGA et al (2002)		
Reforço com 2 cobrejuntas de chapas metálicas externas fixadas em emendas em extremidades de viga de madeira, ou em emendas regiões de apoios biodeterioradas.		RITTER (1990); UZIELLI (1995); REBELLO (2003); MORAES (2009)
Fontes: UZIELLI (1995); REBELLO (2003) Apud MORAES (2009)		
Reforço com dupla cantoneira de perfis metálicos laminados fixados em emendas em extremidades de viga de madeira, nas regiões de apoios biodeterioradas.		UZIELLI (1995); MACHADO et al (2009); SAMPAIO da COSTA (2009)
Fontes: ESPARZA (1998); UZIELLI (1995)		
Reforço com 2 cobrejuntas laterais com perfis metálicos laminados tipo “C” aplicadas regiões de apoio de viga biodeteriorada.		UZIELLI (1995); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); FRANÇA (2007); MACHADO et al (2009); SAMPAIO da COSTA (2009); MORAES (2009)
Fontes: ESPARZA (1998); ARRIAGA ET AL (2002)		

Tabela 10.9. Reabilitação de extremidade de viga de madeira em região de apoio: diagnóstico de biodeterioração, técnica de reforço com perfis metálicos inseridos em extremidade de viga de madeira em região de apoio.

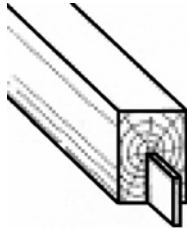
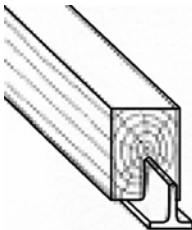
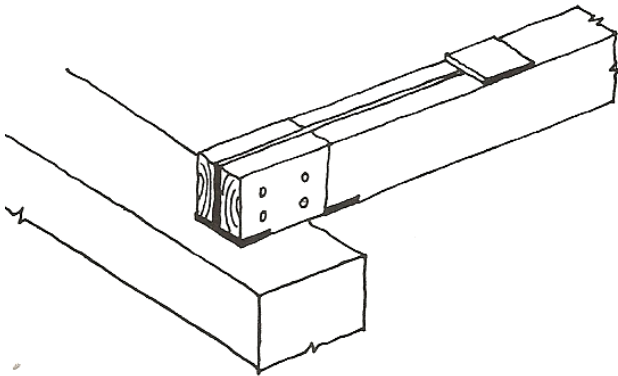
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Reforço com chapa inserida internamente em extremidades de viga de madeira nas regiões de apoios biodeterioradas.</p>	 <p>Fonte: RODRIGUES (2004)</p>	<p>RODRIGUES (2004); MORAES (2009)</p>
<p>Reforço com perfil metálico laminado tipo “T” invertido inserido na região de apoio em viga de madeira biodeteriorada.</p>	 <p>Fonte: RODRIGUES (2004)</p>	<p>RODRIGUES (2004); FRANÇA (2007); MORAES (2009)</p>
<p>Reforço com perfil metálico laminado tipo “I” remodelado inserido em extremidade de viga de madeira na região de apoio biodeteriorada.</p>	 <p>Fontes: UZIELLI (1995); ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>UZIELLI (1995); LOPES (2007)</p>

Tabela 10.10. Reabilitação de extremidade de viga de madeira em região de apoio: diagnóstico de biodeterioração, técnica de reconstituição com substituição parcial de peça de madeira na extremidade da viga.

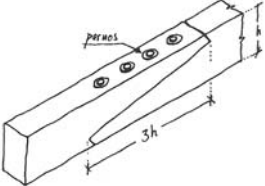
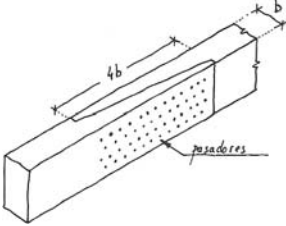
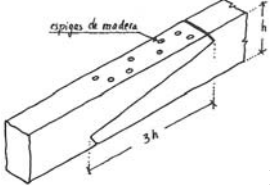
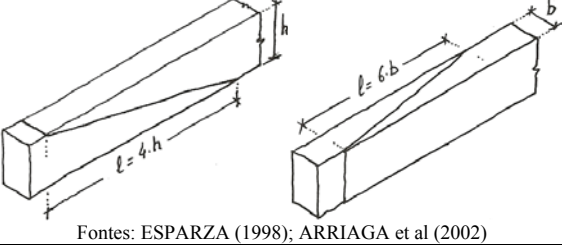
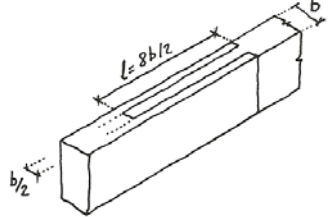
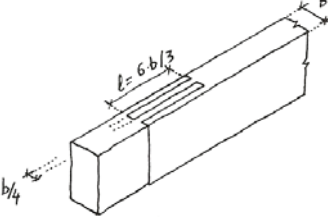
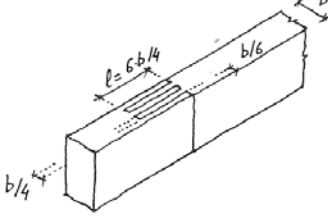
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
Reforço com substituição parcial de peças de madeira fixadas com entalhes em bisel parafusados na região de apoio em viga de madeira biodeteriorada	 <p data-bbox="820 551 1082 573">Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	CECCOTTI et al (1998); RODRIGUES (2004); LOPES (2007)
Reforço com substituição parcial de peças de madeira fixadas com entalhes em bisel pregados na região de apoio em viga de madeira biodeteriorada.	 <p data-bbox="820 801 1094 824">Fontes: ARRIAGA et al (2002).</p>	UZIELLI (1995); RODRIGUES (2004); SAMPAIO da COSTA (2009)
Reforço com substituição parcial de peças de madeira fixadas com entalhes em bisel cavilhados ou pregados na região de apoio em viga de madeira biodeteriorada.	 <p data-bbox="820 1010 1082 1032">Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	CECCOTTI et al (1998); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); SAMPAIO da COSTA (2009)
Reforço com substituição parcial de peças de madeira fixadas com entalhes em bisel colado na região de apoio em viga de madeira biodeteriorada.	 <p data-bbox="608 1285 1023 1308">Fontes: ESPARZA (1998); ARRIAGA et al (2002)</p>	ESPARZA (1997) Apud ESPARZA (1999); CECCOTTI et al (1998); RODRIGUES (2004); LOPES (2007) SAMPAIO da COSTA (2009)
Reforço com substituição parcial de peças de madeira fixadas com entalhes colados na região de apoio em viga de madeira biodeteriorada.	 <p data-bbox="608 1532 1023 1554">Fontes: ESPARZA (1998); ARRIAGA et al (2002)</p>	ESPARZA (1997) Apud ESPARZA (1999); CECCOTTI et al (1998); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); SAMPAIO da COSTA (2009)
Reforço com substituição parcial de peças de madeira fixadas com entalhes colados na região de apoio em viga de madeira biodeteriorada.	 <p data-bbox="608 1785 1023 1807">Fontes: ESPARZA (1998); ARRIAGA et al (2002)</p>	RODRIGUES (2004)
Reforço com substituição parcial de peças de madeira fixadas com entalhes colados na região de apoio em viga de madeira biodeteriorada.	 <p data-bbox="608 2038 1023 2060">Fontes: ESPARZA (1998); ARRIAGA et al (2002)</p>	RODRIGUES (2004)

Tabela 10.11. Reabilitação de extremidade de viga de madeira em região de apoio: diagnóstico de biodeterioração, técnica de reconstituição com prótese de argamassa epóxi armada (continuação).

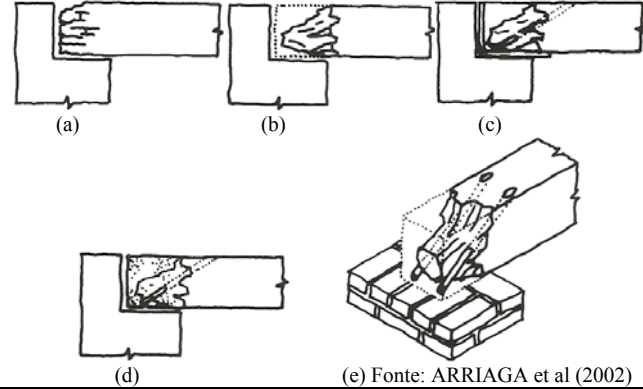
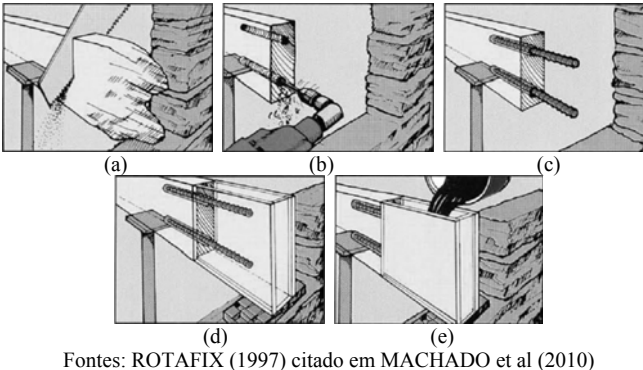
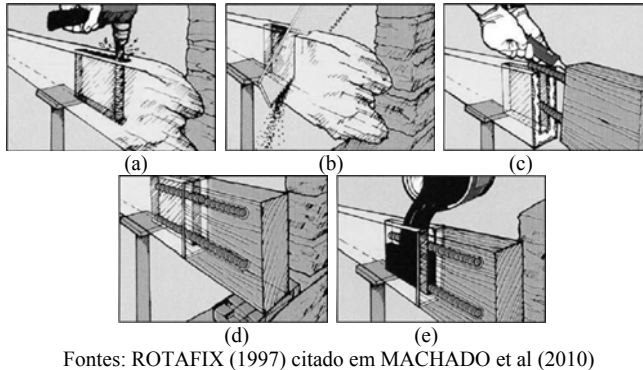
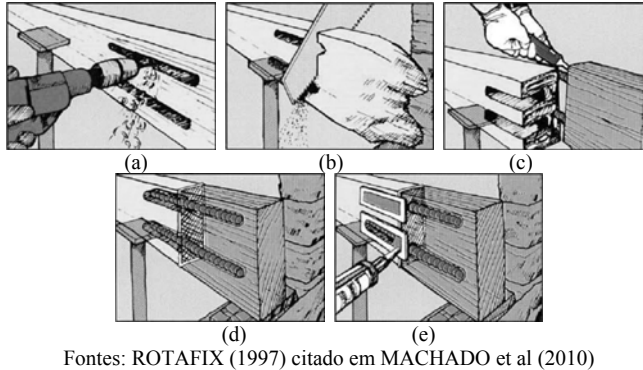
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Prótese de argamassa epóxi armada com barras inclinadas para reconstituição parcial de apoio em extremidade de vigas de madeira biodeteriorada:</p> <p>(a) Apoio biodeteriorado; (b) remoção da camada; biodeteriorada até a madeira sã; (c) confecção dos furos e formas; (d) inserção das barras com adesivo epóxi nos furos; (e) Preenchimento da forma com a argamassa epóxi e dos furos com adesivo epóxi.</p>	 <p>(a) (b) (c)</p> <p>(d) (e) Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>UZIELLI (1995); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); DIAS (2008) ARRIAGA (2010)</p>
<p>Prótese de argamassa epóxi armada com barras horizontais para reconstituição total de extremidade de viga de madeira em região de apoio, parcialmente inserida na parede estrutural ou sobre viga de concreto armado:</p> <p>(a) escoramento, corte e remoção da região da peça de madeira biodeteriorada; (b) confecções de furos; (c) colagem de vergalhões com adesivo epóxi estrutural; (d) montagem das fôrmas; (e) adição de argamassa epoxídica (graute à base de resina epóxi).</p>	 <p>(a) (b) (c)</p> <p>(d) (e)</p> <p>Fontes: ROTAFIX (1997) citado em MACHADO et al (2010)</p>	<p>UZIELLI (1995); ROTAFIX (1997); ARRIAGA et al (2002); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); MACHADO et al (2009); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Prótese de madeira colada com argamassa epóxi armada com barras horizontais para reconstituição total de extremidade de viga de madeira em região de apoio, acessível apenas pela face superior:</p> <p>(a) escoramento, confecção do entalhe; (b) corte e remoção da região da peça de madeira biodeteriorada; (c) aplicação de selante; (d) colocação da prótese de madeira; (e) adição argamassa epoxídica (graute à base de resina epóxi).</p>	 <p>(a) (b) (c)</p> <p>(d) (e)</p> <p>Fontes: ROTAFIX (1997) citado em MACHADO et al (2010)</p>	<p>UZIELLI (1995); ROTAFIX (1997); ARRIAGA et al (2002); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); MACHADO et al (2009); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Prótese de madeira armada com barras horizontais coladas com adesivo epóxi para reconstituição total de extremidade de viga de madeira em região de apoio, acessível apenas pela face lateral:</p> <p>(a) escoramento, confecções dos entalhes; (b) corte e remoção da região da peça de madeira biodeteriorada; (c) aplicação de selante à base de adesivo epóxi estrutural; (d) colocação da prótese de madeira; (e) injeção de adesivo epóxi estrutural.</p>	 <p>(a) (b) (c)</p> <p>(d) (e)</p> <p>Fontes: ROTAFIX (1997) citado em MACHADO et al (2010)</p>	<p>UZIELLI (1995); ROTAFIX (1997); ARRIAGA et al (2002); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); MACHADO et al (2009); SAMPAIO da COSTA (2009); NEGRÃO (2014a)</p>

Tabela 10.12. Reabilitação de extremidade de viga de madeira em região de apoio: diagnóstico de biodeterioração, técnica de reconstituição com prótese de argamassa epóxi armada (continuação).

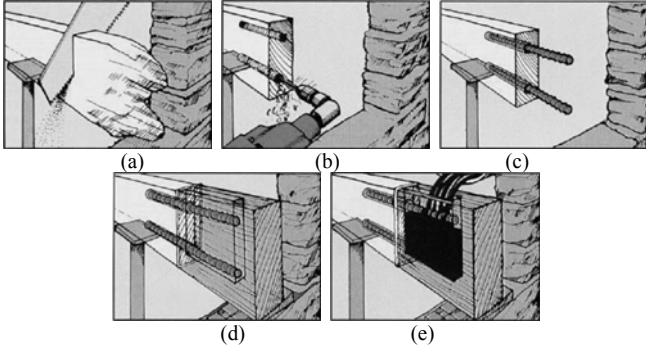
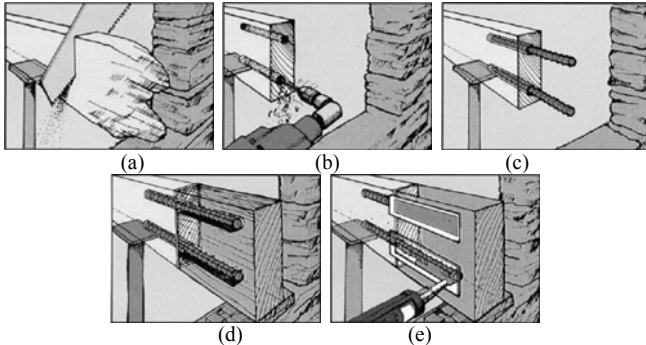
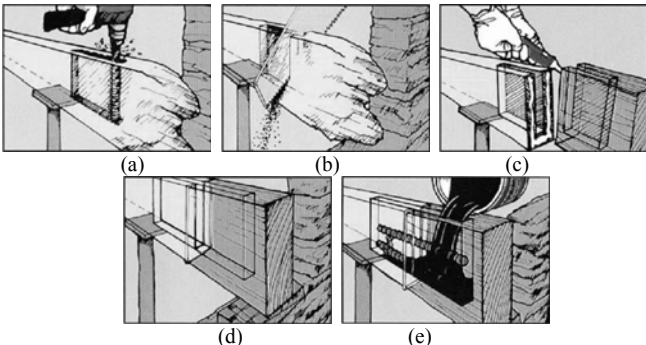
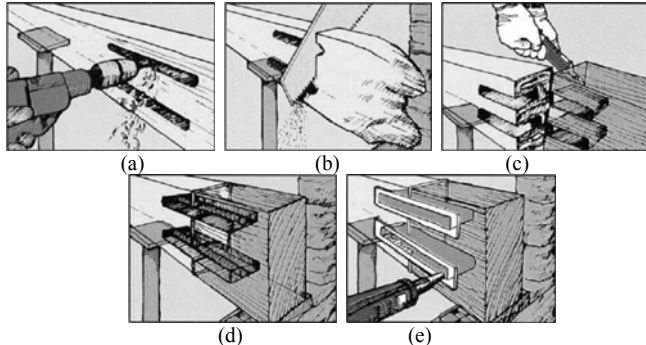
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Prótese de madeira colada com argamassa epóxi armada com barras horizontais para reconstituição total de extremidade de viga de madeira em região de apoio, acessível apenas pelo topo: (a) escoramento, corte e remoção da região da peça de madeira biodeteriorada; (b) confecções de furos; (c) colagem dos vergalhões com adesivo epóxi estrutural; (d) aplicação do selante e colocação da prótese de madeira; (e) adição de argamassa epoxidica (graute à base de resina epóxi).</p>	 <p>(a) (b) (c) (d) (e)</p>	<p>UZIELLI (1995); ROTAFIX (1997); ARRIAGA et al (2002); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); MACHADO et al (2009); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Prótese de madeira armada com barras horizontais coladas com adesivo epóxi para reconstituição total de extremidade de viga de madeira em região de apoio, acessível apenas pela face lateral: (a) escoramento, corte e remoção da região da peça de madeira biodeteriorada; (b) confecções de furos; (c) colagem dos vergalhões com adesivo estrutural; (d) colocação da prótese de madeira e aplicação de selante; (e) injeção de adesivo epóxi estrutural.</p>	 <p>(a) (b) (c) (d) (e)</p>	<p>UZIELLI (1995); ROTAFIX (1997); ARRIAGA et al (2002); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); MACHADO et al (2009); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Prótese de madeira colada com argamassa epóxi armada com barras horizontais para reconstituição total de extremidade de viga de madeira em região de apoio, acessível apenas pela face superior para situações em que se utilizam vergalhões longos ou com quantidade de barras > 4: (a) escoramento, confecção do entalhe; (b) corte e remoção da região da peça de madeira biodeteriorada; (c) aplicação de selante à base de adesivo epóxi estrutural; (d) Colocação da prótese de madeira; (e) colocação dos vergalhões com espaçadores e adição de argamassa epoxidica (graute à base de resina epóxi).</p>	 <p>(a) (b) (c) (d) (e)</p>	<p>UZIELLI (1995); ROTAFIX (1997); ARRIAGA et al (2002); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); MACHADO et al (2009); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Prótese de madeira epóxi armada com barras horizontais coladas com adesivo para reconstituição total de extremidade de viga de madeira em região de apoio, acessível apenas pela face lateral para situações em que se utilizam vergalhões longos ou com quantidade de barras > 4: (a) escoramento, confecções dos entalhes; (b) corte e remoção da região da peça de madeira biodeteriorada; (c) aplicação de selante à base de adesivo epóxi estrutural; (d) colocação da prótese de madeira; (e) colocação dos vergalhões e injeção de adesivo epóxi estrutural.</p>	 <p>(a) (b) (c) (d) (e)</p>	<p>UZIELLI (1995); ROTAFIX (1997); ARRIAGA et al (2002); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); MACHADO et al (2009); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>

Tabela 10.13. Reabilitação de extremidade de viga de madeira em região de apoio: diagnóstico de biodeterioração, técnica de reconstituição com prótese de argamassa epóxi armada (continuação).

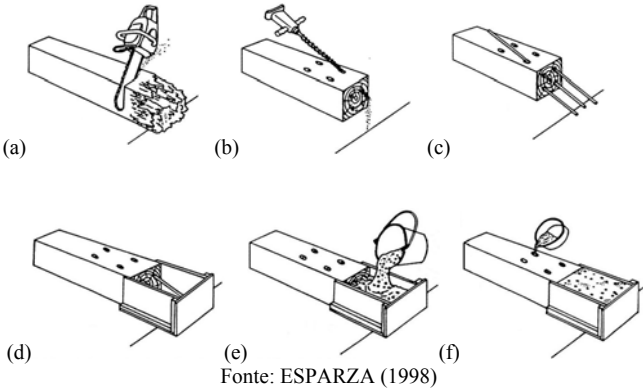
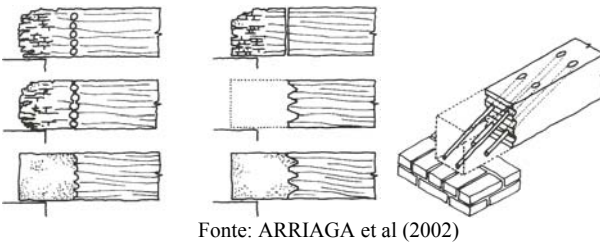
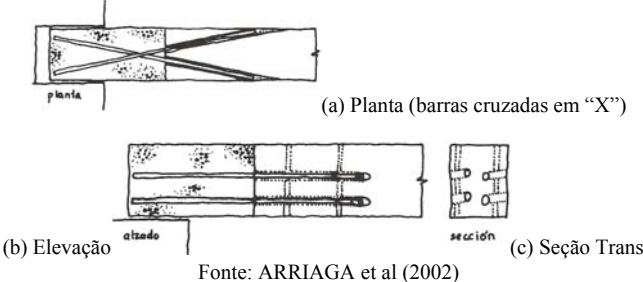
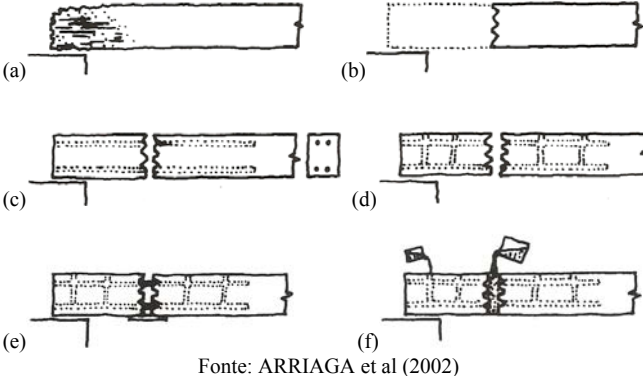
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Prótese de reconstituição total de extremidade de vigas de madeira biodeteriorada na região de apoio, confeccionada com argamassa epóxi armada com barras inclinadas inseridas em furos superiores:</p> <p>(a) Escoramento e retirada do apoio deteriorado com motosserra; (b) Confeção de furos; (c) Inserção das barras com adesivo epóxi nos furos; (d) confecção de formas; (e) Preenchimento da forma com argamassa epóxi; (f) Preenchimento dos furos com adesivo epóxi.</p>	 <p>(a) (b) (c)</p> <p>(d) (e) (f)</p> <p>Fonte: ESPARZA (1998)</p>	<p>UZIELLI (1995); ARRIAGA et al (2002); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); DIAS (2008) ARRIAGA (2010)</p>
<p>Sistema de corte dentado ou com furos com furadeiras para melhoria da conexão em confecção de prótese de argamassa epóxi armada, com barras inclinadas inseridas em furos superiores, para reconstituição de extremidade de vigas de madeira biodeteriorada em região de apoio.</p>	 <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>RODRIGUES (2004) ARRIAGA (2010)</p>
<p>Prótese de argamassa epóxi armada com barras cruzadas em "X", inseridas lateralmente, para reconstituição total de extremidade de vigas de madeira biodeteriorada em região de apoio.</p>	 <p>(a) Planta (barras cruzadas em "X")</p> <p>(b) Elevação (c) Seção Trans.</p> <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>RODRIGUES (2004); DIAS (2008) ARRIAGA (2010)</p>
<p>Reabilitação de viga de madeira com substituição parcial de extremidade de viga por prótese de madeira colada com argamassa epóxi armada, para reconstituição de apoio em extremidade de viga de madeira biodeteriorada:</p> <p>(a) escoramento; (b) remoção da parte da viga biodeteriorada; (c) colocação da prótese de madeira e furos horizontais; (d) confecção de furos verticais; (e) inserção de barras e confecção de formas; (f) preenchimento c/ a argamassa e adesivo epóxi nos furos.</p>	 <p>(a) (b) (c) (d) (e) (f)</p> <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>UZIELLI (1995); ROTAFIX (2009); LOPES (2007) ARRIAGA (2010) NEGRÃO (2014a)</p>

Tabela 10.14. Reabilitação de extremidade de viga de madeira em região de apoio: diagnóstico de biodeterioração, técnica de reconstituição com prótese de argamassa epóxi armada (continuação).

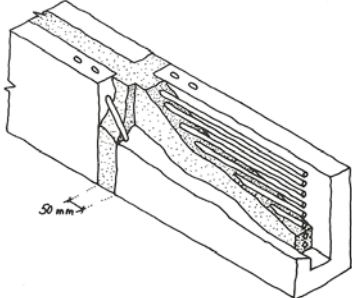
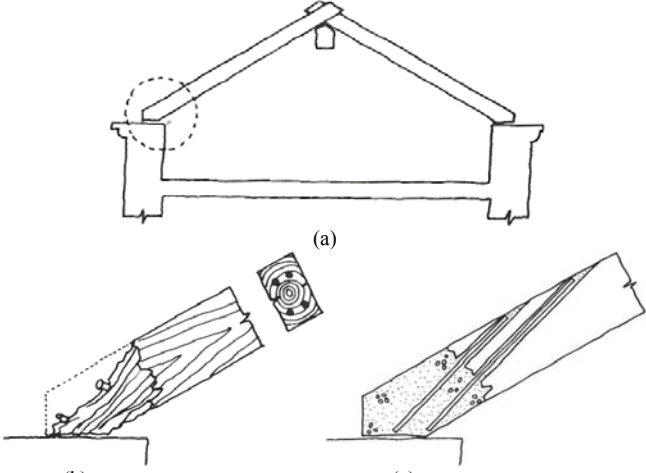
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Reabilitação de viga de madeira com substituição parcial de extremidade de viga por prótese de madeira colada com argamassa epóxi armada com mais de 4 barras, para reconstituição de apoio em extremidade de viga de madeira biodeteriorada.</p>		<p>METTEM (1993); DUARTE et al (2004); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); DIAS (2008); ROTAFIX (2009); MACHADO et al (2009) ARRIAGA (2010) NEGRÃO (2014a)</p>
<p>Prótese de argamassa epóxi armada com barras inclinadas para reconstituição parcial de extremidade de viga inclinada de madeira biodeteriorada na região de apoio de pórticos de sistemas de cobertura: (a) indicação da região a ser reabilitada em sistema de pórtico de cobertura; (b) Raspagem até a madeira sã e confecção de fôrmas e furos; (c) inserção de barras nos furos com adesivo epóxi e preenchimento com argamassa epóxi.</p>		<p>LOPES (2007) ARRIAGA (2010)</p>

Tabela 10.15. Reabilitação de extremidade de viga de madeira em região de apoio: diagnóstico de biodeterioração, técnica de reconstituição com prótese colada com chapas.

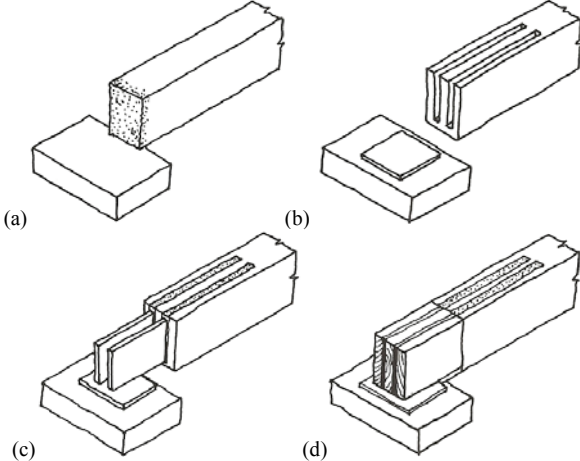
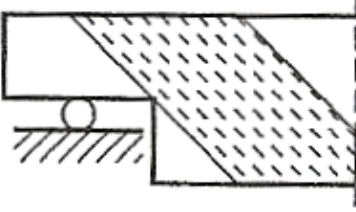
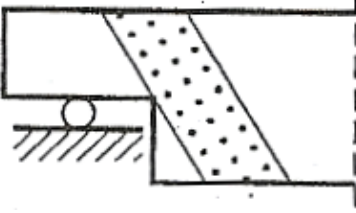
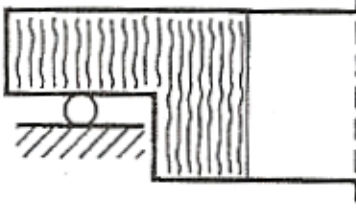
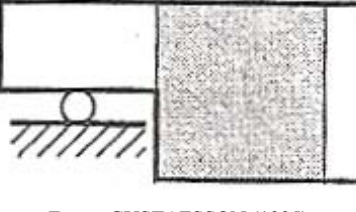
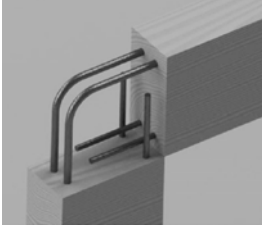
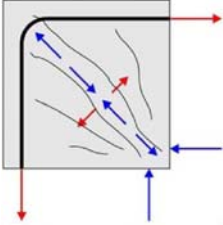
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Prótese colada com placas com adesivo epóxi para reconstituição total de extremidade de viga de madeira biodeteriorada em região de apoio: (a) escoramento da viga e remoção da parte deteriorada; (b) confecção dos frisos na viga existente; (c) colagem das chapas com adesivo epóxi nos frisos; (d) confecção da prótese e preenchimento com adesivo epóxi.</p>		<p>RODRIGUES (2004), CRUZ (2004); CRUZ et al (2004); LOPES (2007); SAMPAIO da COSTA (2009); CARDOSO (2010) ARRIAGA (2010) ARRIAGA et al (2011) NEGRÃO (2014a)</p>

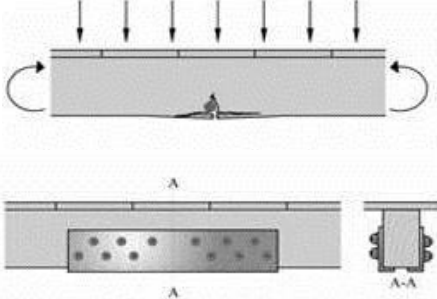
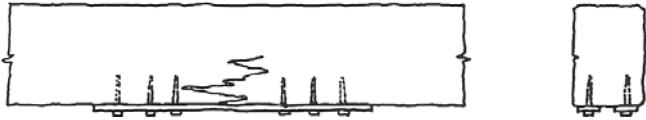
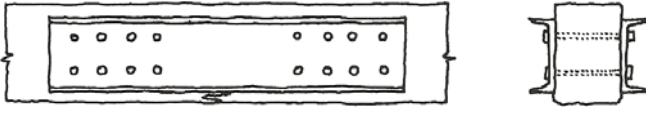
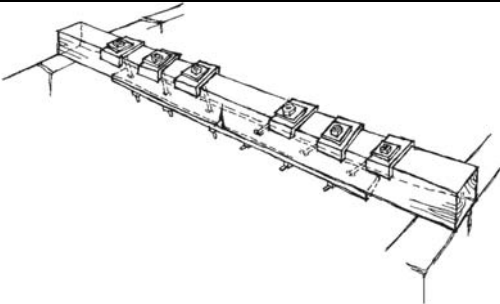
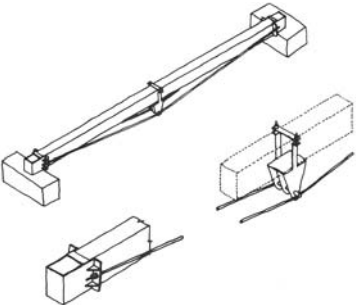
Tabela 10.16. Reabilitação de extremidade de viga de madeira em região de apoio: diagnóstico de fendilhamentos em entalhe de extremidade de viga.

Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
Reforços com chapas metálicas galvanizadas com dentes estampados em extremidade de viga favoráveis à fendilhamentos.	 <p data-bbox="762 609 1024 629">Fonte: GUSTAFSSON (1995)</p>	GUSTAFSSON (1995)
Reforços com chapas metálicas perfuradas pregadas em extremidade de viga favoráveis à fendilhamentos.	 <p data-bbox="762 862 1024 882">Fonte: GUSTAFSSON (1995)</p>	GUSTAFSSON (1995)
Reforços com fibra de vidro em extremidade de viga favoráveis à fendilhamentos.	 <p data-bbox="762 1115 1024 1135">Fonte: GUSTAFSSON (1995)</p>	GUSTAFSSON (1995)
Reforços com fibra de carbono em extremidade de viga favoráveis à fendilhamentos.	 <p data-bbox="762 1368 1024 1388">Fonte: GUSTAFSSON (1995)</p>	GUSTAFSSON (1995)
Reforço de nós de pórticos de madeira laminada colada, resistentes a momentos, com prótese de concreto armado de alta resistência, com barras de aço coladas com adesivo epóxi.	  <p data-bbox="1248 1641 1444 1697"> → Trações → Compressões </p>	GONÇALVES (2014) HENRIQUES (2014) NEGRÃO, GONÇALVES, BRITO, LOPES, DIAS, LAHR, CALIL JUNIOR (2014)

Fontes: GONÇALVES (2014); NEGRÃO, GONÇALVES, BRITO, LOPES, DIAS, LAHR, CALIL JUNIOR (2014)

Obs.: Contribuições de Leandro Dussarrat Brito em pesquisas e análises numéricas com o software “Autodesk Robot Analysis Professional 2014 – Educational Product”, além de participações em ensaios, no Laboratório do Departamento de Engenharia Civil, na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, no Intercâmbio de Doutorado, do PRPG 2013, sob orientações dos Prof. Dr. João Negrão e Prof. Dr. Alfredo Dias.

Tabela 10.17. Reabilitação de vigas em regiões submetidas á flexão: diagnóstico de fendas ou rupturas.

Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
Reforço com 2 cantoneiras metálicas dispostas lateralmente, fixadas com barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas, em reabilitação de vigas em regiões submetidas á flexão.		MACHADO et al (2009); CUSTÓDIO e CRUZ (2009); MORAES (2009)
Reforço com chapa metálica fixada com parafusos auto-atarraxantes em reabilitação de viga com indício de ruptura na região tracionada por flexão.		BARBISAN (2000); REBELLO (2003); GOMEZ (2007); LOPES (2007); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009); MORAES (2009)
Reforço com 2 cobrejuntas laterais com perfis metálicos laminados "C" em reabilitação de região tracionada por flexão, em viga de madeira com indício de ruptura.		BARBISAN (2000); GOMEZ (2007); LOPES (2007); FRANÇA (2007); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009); MORAES (2009)
Reforço com chapa metálica fixada com barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas em reabilitação de viga com indício de ruptura na região tracionada por flexão.		BARBISAN (2000); RODRIGUES (2004); FRANÇA (2007); GOMEZ (2007); LOPES (2007); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009); MORAES (2009)
Reforço de viga com cabos de aço atirantados.		LOMBARDO et al (1997); RODRIGUES (2004); GOMEZ (2007); LOPES (2007); FRANÇA (2007); DIAS (2008); REIS et al (2008); SAMPAIO da COSTA (2009); MORAES (2009)

Fontes: MACHADO et al (2009); CUSTÓDIO e CRUZ (2009)

Fontes: ESPARZA (1998); ARRIAGA et al (2002)

Fontes: ESPARZA (1998); ARRIAGA et al (2002)

Fonte: GOMEZ (2007)

Fonte: ARRIAGA et al (2002)

Tabela 10.18. Reabilitação de vigas em regiões submetidas á flexão: diagnóstico de flechas, peças deterioradas por insetos, fendas ou rupturas.

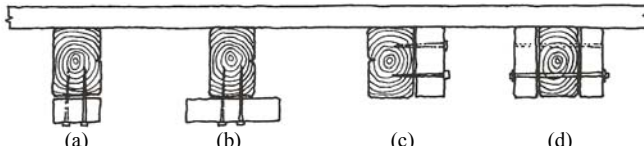
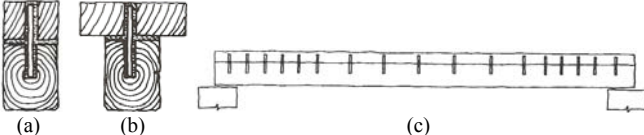
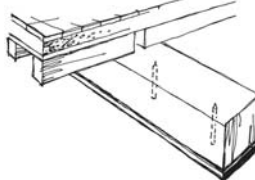
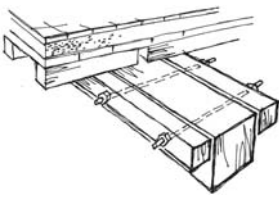
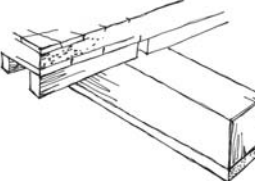
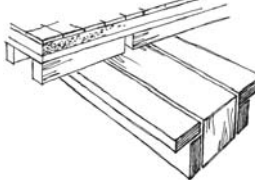
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Reforço com aumento da inércia com adição de peças de madeira fixadas paralelamente com pregos ou parafusos.</p>	 <p>(a) enrijecimento de seção I com adição de peça inferior pregada; (b) enrijecimento de seção T invertida com adição de peça pregada; (c) enrijecimento de seção com adição de peça pregada lateralmente; (d) enrijecimento de seção com adição de peças lateralmente parafusadas com barras passantes, arruelas e porcas galvanizadas.</p> <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>RITTER (1990); RODRIGUES (2004); GOMEZ (2007); LOPES (2007); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Reforço com aumento da inércia com adição de peças de madeira fixadas paralelamente com pinos metálicos e coladas com adesivo epóxi.</p>	 <p>(a) enrijecimento de seção I com adição de peça superior de madeira colada e fixada com pinos metálicos ou de fibra de vidro colados com adesivo epóxi; (b) enrijecimento de seção T com adição de peça superior de madeira colada e fixada com pinos metálicos ou de fibra de vidro colados com adesivo epóxi (c) vista lateral de vigas com os sistemas de reforços (a) e (b).</p> <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>RODRIGUES (2004); GOMEZ (2007); LOPES (2007); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Reforço com aumento de inercia da seção transversal com enrijecimento de seção "I" com adição de peça inferior pregada ou parafusada.</p>	 <p>Fonte: GOMEZ (2007)</p>	<p>ARRIAGA et al (2002); RODRIGUES (2004); GOMEZ (2007); LOPES (2007); DIAS (2008)</p>
<p>Reforço com aumento de inercia da seção transversal com enrijecimento de seção "T" com adição de peça parafusada lateralmente com barras rosqueadas passantes, arruelas e porcas.</p>	 <p>Fonte: GOMEZ (2007)</p>	<p>RITTER (1990); RODRIGUES (2004); GOMEZ (2007); LOPES (2007); DIAS (2008)</p>
<p>Reforço com aumento de inercia da seção transversal com enrijecimento de seção "I" com adição de peça inferior colada.</p>	 <p>Fonte: GOMEZ (2007)</p>	<p>RODRIGUES (2004); GOMEZ (2007); LOPES (2007); DIAS (2008)</p>
<p>Reforço com aumento de inercia da seção transversal com enrijecimento de seção "T" com adição de peças lateralmente coladas.</p>	 <p>Fonte: GOMEZ (2007)</p>	<p>RITTER (1990); RODRIGUES (2004); GOMEZ (2007); LOPES (2007); DIAS (2008)</p>

Tabela 10.19. Reabilitação de vigas em regiões submetidas á flexão: diagnóstico de peças deterioradas por insetos ou fungos.

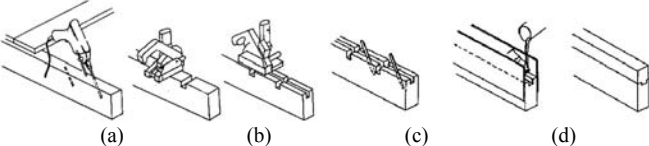
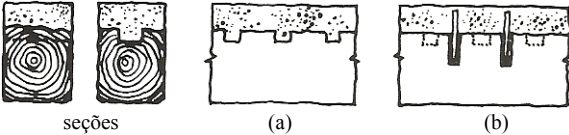
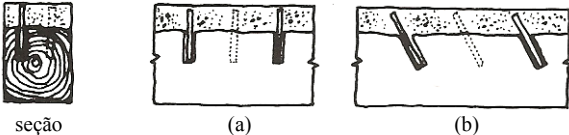
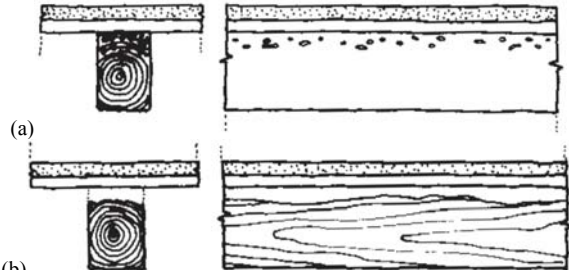
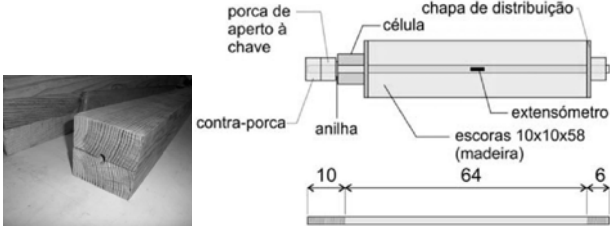
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
Reconstituição de parte superior de seção de vigas com adição de argamassa epóxi: (a) furações; (b) frizos c/ tupia manual; (c) colagem de pinos; (d) adição da argamassa epóxi	 <p>(a) (b) (c) (d)</p> <p>Fonte: LOPES (2007)</p>	ROS (1997); ARRIAGA et al (2002); JORGE (2005); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); DIAS (2008); REIS et al (2008); SAMPAIO da COSTA (2009) NEGRÃO (2014a)
Reconstituição de parte superior de seção de vigas para adição compósito de argamassa epóxi : (a) com entalhes (b) com entalhes e pinos colados normal às fibras.	 <p>seções (a) (b)</p> <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	ROS (1997); JORGE (2005); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); DIAS (2008); REIS et al (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)
Reconstituição de parte superior de seção de vigas com pinos colados para adição compósito de argamassa epóxi: (a) pinos normal às fibras; (b) pinos à 45° em relação às fibras.	 <p>seção (a) (b)</p> <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	ROS (1997); JORGE (2005); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); DIAS (2008); REIS et al (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)
Reconstituição de parte superior de seção de vigas com adição de argamassa epóxi: (a) seção superior da viga deteriorada por ataque de térmitas; (b) aspecto final da viga reconstituída com argamassa epóxi.	 <p>(a) (b)</p> <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	ROS (1997); JORGE (2005); RODRIGUES (2004); LOPES (2007); DIAS (2008); REIS et al (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)
Reforço de vigas de madeira com barras de aço protendidas coladas com adesivo epóxi.	 <p>porca de aperto à chave, célula, chapa de distribuição, extensômetro, escoras 10x10x58 (madeira), anilha, contra-porca</p> <p>10 64 6</p>	NEGRÃO (2014b)
Fonte: NEGRÃO (2014b)		

Tabela 10.20. Reabilitação de vigas em regiões submetidas á flexão: diagnóstico de peças com fendas longitudinais significativas, com seção transversal insuficiente, ou com flechas excessivas decorrentes de fluência.

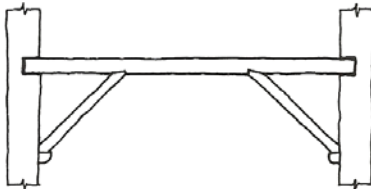
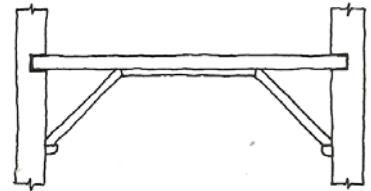
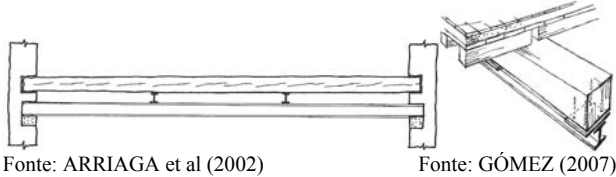
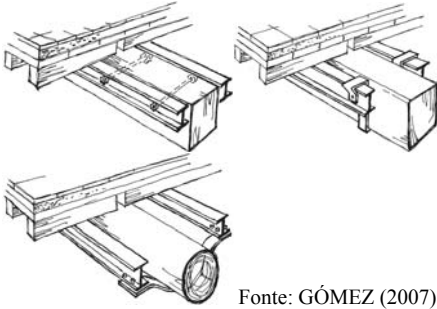
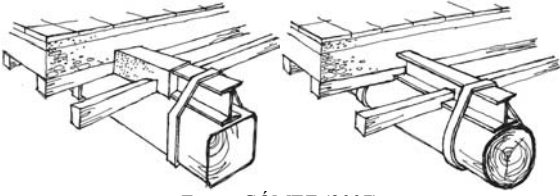
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
Reforços de sistemas tipo pórtico com adição de mãos-francesas sob a viga de madeira existente, a fim de reduzir o vão central.	 <p data-bbox="759 624 1023 651">Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	RODRIGUES (2004); LOPES (2007); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)
Reforços de sistemas tipo pórtico com adição de mãos-francesas e viga inferior no vão central parafusada sob a viga de madeira existente, a fim de reduzir o vão central.	 <p data-bbox="759 889 1023 916">Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	RODRIGUES (2004); LOPES (2007); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)
Reforços com adição de perfis "I" metálicos sob a viga de madeira.	 <p data-bbox="564 1126 828 1153">Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p> <p data-bbox="979 1126 1182 1153">Fonte: GÓMEZ (2007)</p>	RODRIGUES (2004); CAMPOS (2006); GÓMEZ (2007); LOPES (2007); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)
Reforços com adição de perfis "I" metálicos paralelos a viga de madeira.	 <p data-bbox="799 1478 1002 1505">Fonte: GÓMEZ (2007)</p>	ARRIAGA et al (2002); RODRIGUES (2004); CAMPOS (2006); GÓMEZ (2007); LOPES (2007); DIAS (2008)
Reforços com adição de perfil "I" metálicos sobre a viga de madeira.	 <p data-bbox="791 1742 994 1769">Fonte: GÓMEZ (2007)</p>	RODRIGUES (2004); CAMPOS (2006); GÓMEZ (2007); LOPES (2007); DIAS (2008)

Tabela 10.21. Reabilitação de vigas em regiões submetidas á flexão: diagnóstico de peças com fendas longitudinais significativas, ou com flechas excessivas decorrentes de fluência.

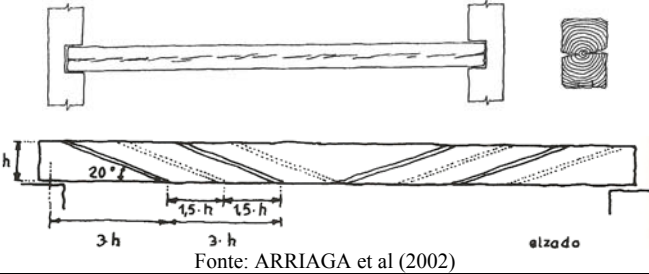
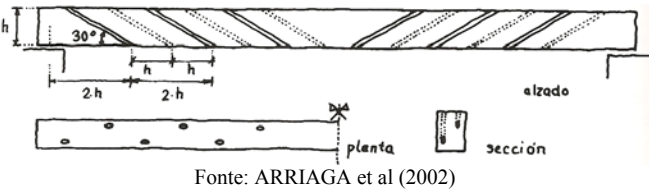
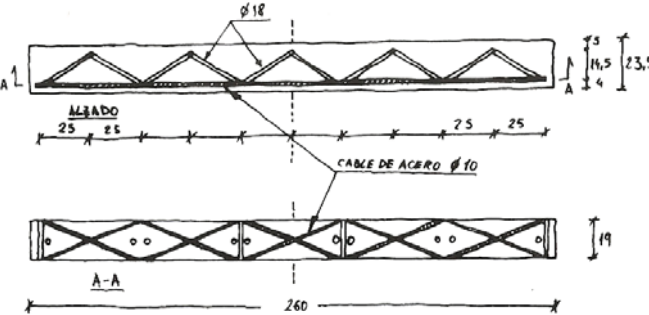
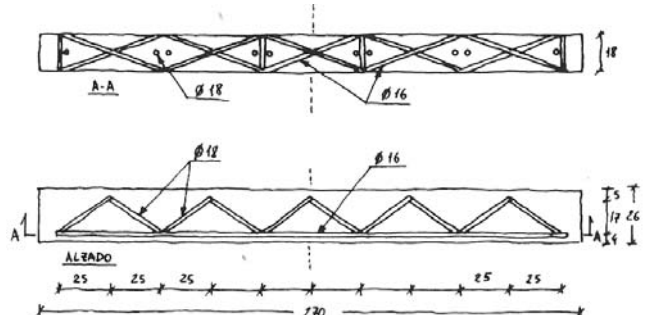
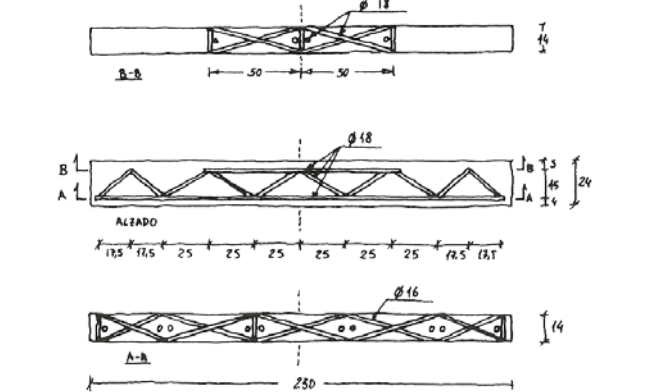
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Reforço com costura com barras inclinadas à 20° em relação às fibras coladas com resina epóxi em reabilitações de vigas com fendas longitudinais em toda extensão do eixo.</p>	 <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>RODRIGUES (2004); LOPEZ (2007); ROTAFIX (2009); MACHADO et al (2009); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Reforço com costura com barras inclinadas à 20° em relação às fibras coladas com resina epóxi em reabilitações de vigas com fendas longitudinais em toda extensão do eixo.</p>	 <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>RODRIGUES (2004); LOPEZ (2007); ROTAFIX (2009); MACHADO et al (2009); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Modelo I de reforço com costura com barras inclinadas coladas com resina epóxi inseridas em vigas em reabilitações de fendas longitudinais.</p> <p>Fonte: CIGNI (1981) apud ARRIAGA et al (2002)</p>		<p>CIGNI et al (1981); RODRIGUES (2004); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Modelo II de reforço com costura com barras inclinadas coladas com resina epóxi inseridas em vigas em reabilitações de fendas longitudinais.</p> <p>Fonte: CIGNI (1981) apud ARRIAGA et al (2002)</p>		<p>CIGNI et al (1981); RODRIGUES (2004); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Modelo III de reforço com costura com barras inclinadas coladas com resina epóxi inseridas em vigas em reabilitações de fendas longitudinais.</p> <p>Fonte: CIGNI (1981) apud ARRIAGA et al (2002)</p>		<p>CIGNI et al (1981); RODRIGUES (2004); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>

Tabela 10.22. Reabilitação de vigas em regiões submetidas à flexão: diagnóstico de peças deterioradas por insetos ou fungos.

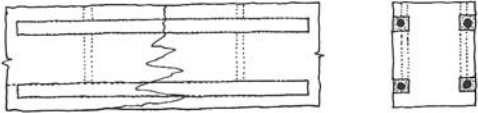
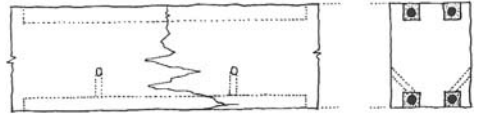
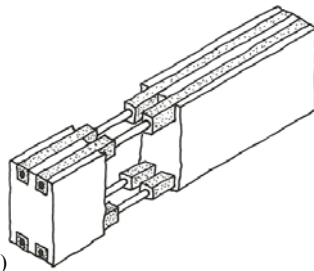

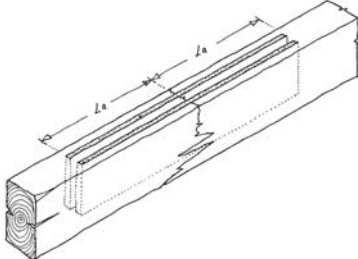
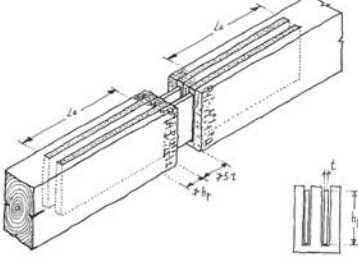
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
Reforço com barras coladas com resina epóxi inseridas em frisos laterais nas regiões tracionadas e comprimidas de vigas.	 <p data-bbox="762 533 1023 562">Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	ROTAFIX (2009); MACHADO et al (2009); SAMPAIO da COSTA (2009)
Reforço com barras coladas com resina epóxi inseridas em frisos inferior e superior nas regiões tracionadas e comprimidas de vigas.	 <p data-bbox="762 734 1023 763">Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	ROTAFIX (2009); MACHADO et al (2009); SAMPAIO da COSTA (2009)
Prótese de reconstituição de vigas com barras coladas com resina epóxi inseridas em frisos inferior e superior nas regiões tracionadas e comprimidas em vigas de madeira, em regiões pontuais deterioradas.	 <p data-bbox="603 1048 863 1077">Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	LAMANNA (1996); ROTAFIX (2009); MACHADO et al (2009); SAMPAIO da COSTA (2009); ARRIAGA (2010); NEGRÃO (2014a)
Reforço com CFRP coladas com adesivo epóxi nas laterais na apenas na região tracionada de viga.	 <p data-bbox="643 1238 1134 1267">Fontes: ROTAFIX (2009) apud MACHADO et al (2009)</p>	RODRIGUES (2004); ROTAFIX (2007); LOPEZ (2007); REIS et al (2008); MACHADO et al (2009); D' AMBRISI et al (2013); NGUYEN TRUNG (2010)
Reforço com 2 placas de “polímeros reforçados com fibras” (FRP) com placas coladas com resina epóxi inseridas em vigas de madeira, em regiões pontuais de fendas ou rupturas.	 <p data-bbox="655 1664 1126 1693">Fontes: STUMES (1979) apud ARRIAGA et al (2002)</p>	CRUZ (2004); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009); ARRIAGA (2010); ARRIAGA et al (2011); NEGRÃO (2014a)
Prótese de reconstituição de vigas em reforço com 2 placas de “polímeros reforçados com fibras” (FRP) com placas coladas com resina epóxi inseridas em vigas de madeira, em regiões pontuais deterioradas.	 <p data-bbox="655 1977 1126 2007">Fonte: STUMES (1979) apud ARRIAGA et al (2002)</p>	CRUZ (2004); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009); ARRIAGA (2010); ARRIAGA et al (2011)

Tabela 10.23. Reabilitação de vigas em regiões submetidas á flexão: diagnóstico de peças deterioradas por insetos ou fungos.

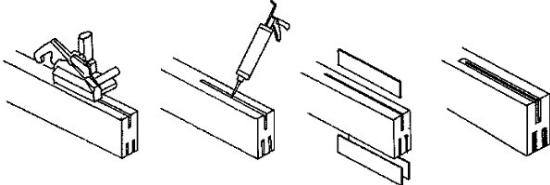
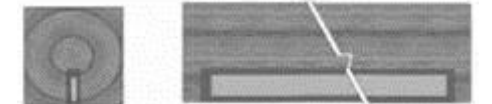
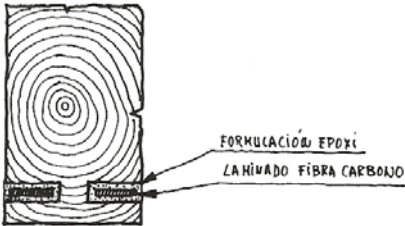
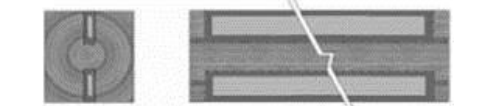
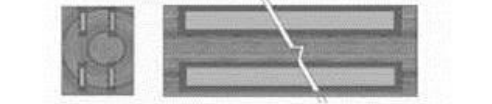
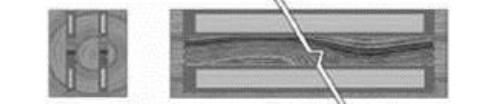
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
Técnicas de execução do reforço com laminas de “polímeros reforçados com fibras de carbono” (CFRP) coladas com resina epóxi inseridas em frisos em vigas de madeira.	 <p data-bbox="612 584 1018 613">Fontes: ROTAFIX (2009) apud LOPES (2007)</p>	RODRIGUES (2004); ROTAFIX (2007); LOPEZ (2007); REIS et al (2008); MACHADO et al (2009); D' AMBRISI et al (2013); NEGRÃO (2014a)
Reforço com CFRP coladas com adesivo epóxi inseridas em 1 friso central apenas na região tracionada de viga.	 <p data-bbox="568 815 1062 842">Fontes: ROTAFIX (2009) apud MACHADO et al (2009)</p>	RODRIGUES (2004); ROTAFIX (2007); LOPEZ (2007); REIS et al (2008); MACHADO et al (2009); D' AMBRISI et al (2013)
Reforço com CFRP coladas com adesivo epóxi inseridas em 2 frisos com acesso apenas pelas laterais região tracionada de viga de madeira.	 <p data-bbox="683 1131 948 1155">Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	RODRIGUES (2004); ROTAFIX (2007); LOPEZ (2007); REIS et al (2008); MACHADO et al (2009); D' AMBRISI et al (2013); NGUYEN TRUNG (2010)
Reforços com 2 chapas CFRP coladas com adesivo epóxi inseridas em frisos nas regiões tracionadas e comprimidas de vigas de madeira.	 <p data-bbox="568 1352 1062 1379">Fontes: ROTAFIX (2009) apud MACHADO et al (2009)</p>	RODRIGUES (2004); ROTAFIX (2007); LOPEZ (2007); REIS et al (2008); MACHADO et al (2009); D' AMBRISI et al (2013)
Reforços com 4 chapas CFRP coladas com adesivo epóxi inseridas em frisos nas regiões tracionadas e comprimidas de vigas de madeira.	 <p data-bbox="568 1599 1062 1626">Fontes: ROTAFIX (2009) apud MACHADO et al (2009)</p>	RODRIGUES (2004); ROTAFIX (2007); LOPEZ (2007); REIS et al (2008); MACHADO et al (2009); D' AMBRISI et al (2013)
Reforços com 4 chapas CFRP coladas com adesivo epóxi inseridas em frisos nas regiões tracionadas e comprimidas, com acesso apenas pela face superior.	 <p data-bbox="568 1845 1062 1872">Fontes: ROTAFIX (2009) apud MACHADO et al (2009)</p>	RODRIGUES (2004); ROTAFIX (2007); LOPEZ (2007); REIS et al (2008); MACHADO et al (2009); D' AMBRISI et al (2013)

Tabela 10.24. Reabilitações em bases de pilares e colunas: diagnóstico de biodeteriorações na base de pilar.

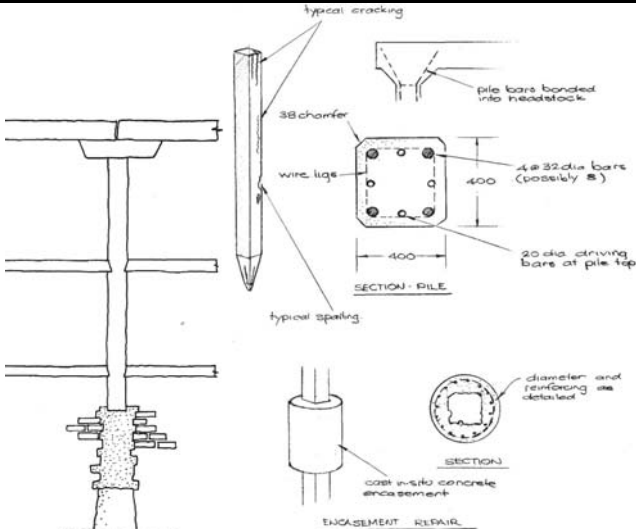

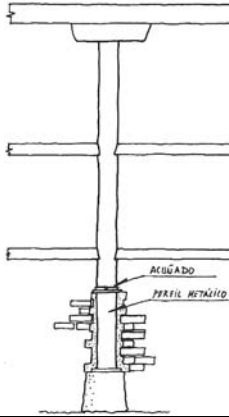
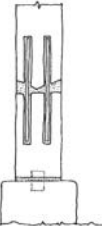
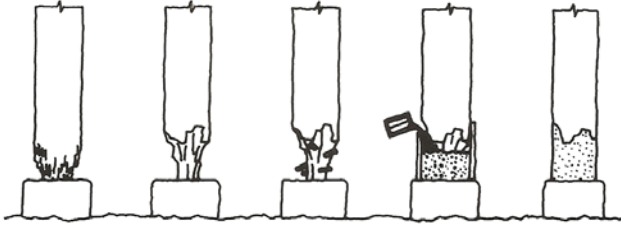
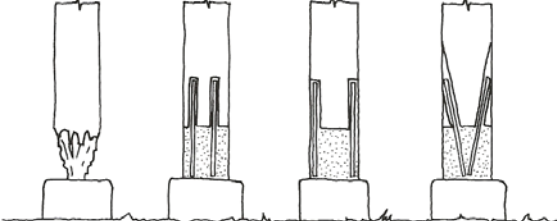
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Reforço com encamisamento de concreto armado para reconstituição total de base de pilar de madeira biodeteriorada.</p>		<p>RITTER (1990); GRAHAM (2005)</p>
 <p>Fonte: RITTER (1990)</p>	<p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>Fonte: GRAHAM (2005)</p>
<p>Prótese de perfil metálico para substituição total de base de pilar de madeira biodeteriorada.</p>		<p>ARRIAGA et al (2002)</p>
<p>Prótese de madeira armada colada com adesivo epóxi para substituição total de base de pilar de madeira.</p>		<p>RITTER (1990); ROTAFIX (2009) ARRIAGA (2010)</p>
<p>Prótese de argamassa epóxi armada para reconstituição parcial de base de pilar de madeira parcialmente biodeteriorada.</p>		<p>ROTAFIX (2009) ARRIAGA (2010)</p>
<p>Próteses de argamassa epóxi armada para reconstituição total de base de pilar de madeira biodeteriorada.</p>		<p>ROTAFIX (2009) ARRIAGA (2010)</p>
<p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>		

Tabela 10.25. Reabilitações de pavimentos e coberturas em regiões de apoio: diagnóstico de biodeterioração na região de apoio de vigas ou banzos de treliças.

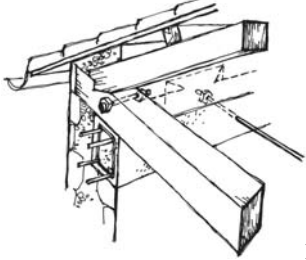
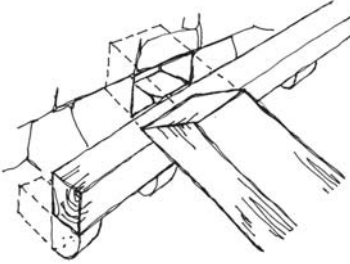
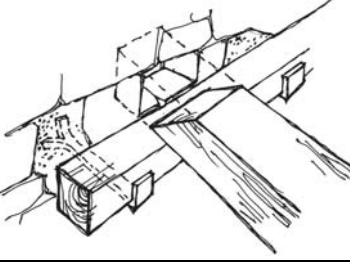
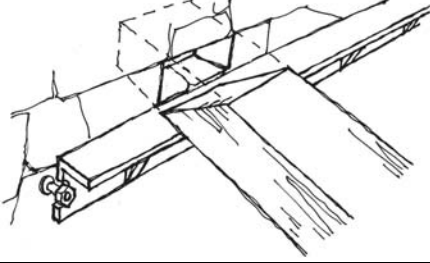
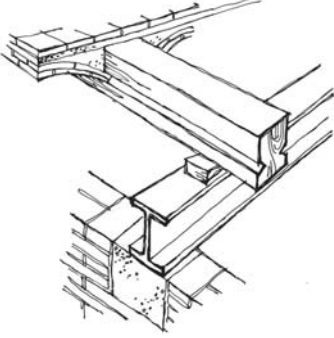
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Reforço com adição de viga de concreto armado na região de apoio sob os banzos inferiores das treliças de cobertura, e adição de sistemas de tirantes metálicos.</p>	 <p>Fonte: GÓMEZ (2007)</p>	<p>LAMANNA (1996); LOMBARDO et al (1997); ARRIAGA et al (2002); GÓMEZ (2007); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009); CARDOSO (2010)</p>
<p>Reforço com adição de consolos de madeira engastados (cachorro) e viga frechal de madeira contínuo na região de apoio sob as vigas principais.</p>	 <p>Fonte: GÓMEZ (2007)</p>	<p>ARRIAGA et al (2002); GÓMEZ (2007); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009); CARDOSO (2010)</p>
<p>Reforço com adição de consolos metálicos engastados e viga frechal de madeira contínuo na região de apoio sob as vigas principais.</p>	 <p>Fonte: GÓMEZ (2007)</p>	<p>ARRIAGA et al (2002); GÓMEZ (2007); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009); CARDOSO (2010)</p>
<p>Reforço com adição de consolos metálicos de cantoneira enrijecida “L” invertida engastadas continuamente na região de apoio sob as vigas principais.</p>	 <p>Fonte: GÓMEZ (2007)</p>	<p>ARRIAGA et al (2002); GÓMEZ (2007); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009); CARDOSO (2010)</p>
<p>Reforço com adição de perfil metálico contínuo na região de apoio sob as vigas principais.</p>	 <p>Fonte: GÓMEZ (2007)</p>	<p>ARRIAGA et al (2002); GÓMEZ (2007); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009); CARDOSO (2010)</p>

Tabela 10.26. Reabilitações de pavimentos em regiões submetidas à flexão: diagnóstico de peças com fendas longitudinais significativas, ou com flechas excessivas decorrentes de fluência.

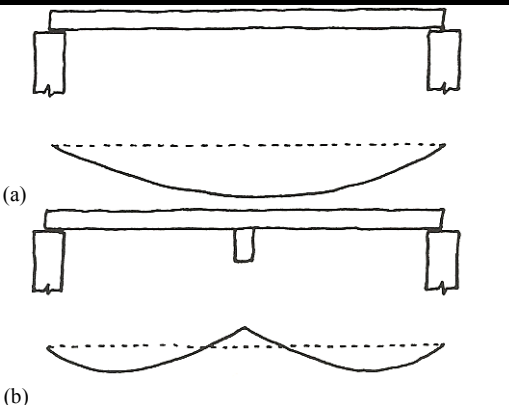
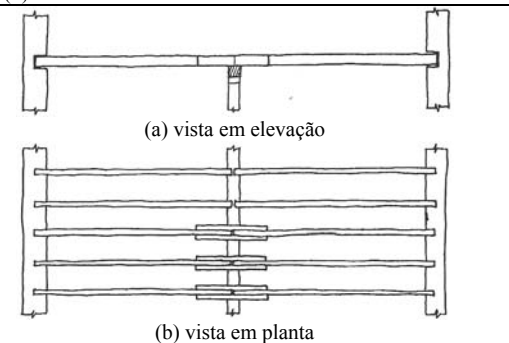
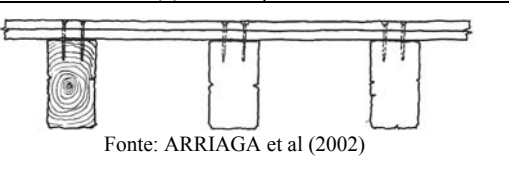
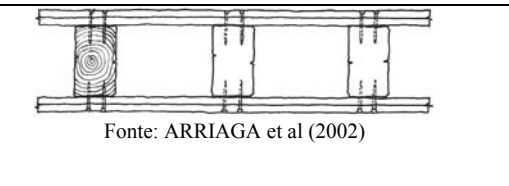
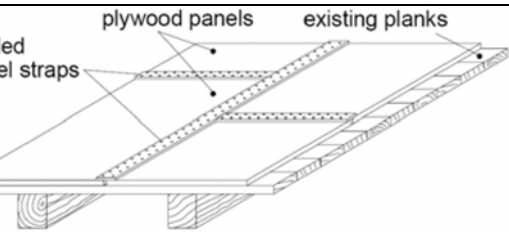
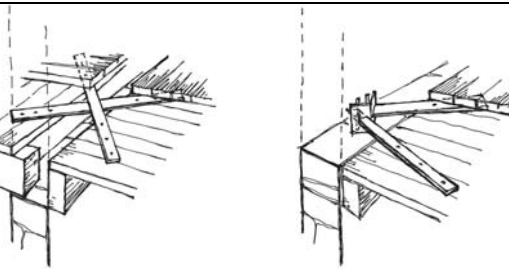
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Reforço com adição de viga de madeira intermediária sob a viga de madeira existente: (a) viga de madeira original existente; (b) alteração com redistribuição de esforços de momentos fletores (M_f), em função da adição de uma viga de madeira intermediária.</p> <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>		<p>RODRIGUES (2004); GÓMEZ (2007); LOPES (2007); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Reforços com adição cobrejuntas de madeira em apoios intermediários das vigas biapoiadas de madeira existentes transformando-as em vigas contínuas:</p> <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>		<p>RODRIGUES (2004); GÓMEZ (2007); LOPES (2007); DIAS (2008)</p>
<p>Reforço de pavimento com tabuleiro superior composto por dupla camada de tabuas cruzadas em "X".</p> <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>		<p>GRAHAM (2005); GÓMEZ (2007); DIAS (2008); REIS et al (2008); S. da COSTA (2009)</p>
<p>Reforço de pavimento com tabuleiro superior e inferior compostos por dupla camada de tábuas cruzadas em "X"</p> <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>		<p>GRAHAM (2005); GÓMEZ (2007); DIAS (2008); REIS et al (2008); S. da COSTA (2009)</p>
<p>Reforço de pavimento com tabuleiro composto por camada de painéis de compensado, fixados com chapas metálicas parafusadas.</p> <p>Fonte: DIAS (2008)</p>		<p>GRAHAM (2005); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>
<p>Reforços de pavimentos com adição de chapas metálicas parafusadas em vigas e tabuleiros e engastadas nas paredes em regiões de extremidades de pavimentos.</p> <p>Fonte: GÓMEZ (2007)</p>		<p>LOMBARDO et al (1997); GÓMEZ (2007); GRAHAM (2005); DIAS (2008); SAMPAIO da COSTA (2009)</p>

Tabela 10.27. Reabilitações de pavimentos em regiões submetidas á flexão: diagnóstico de peças com fendas longitudinais significativas, ou com flechas excessivas decorrentes de fluência.

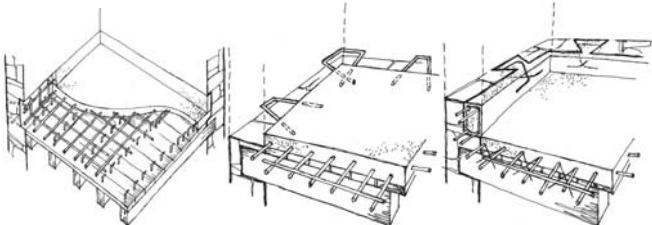
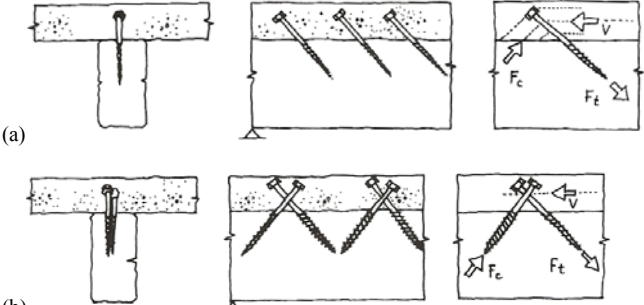
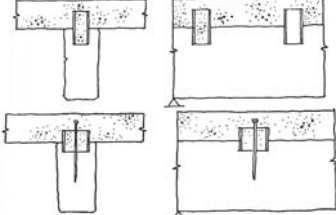
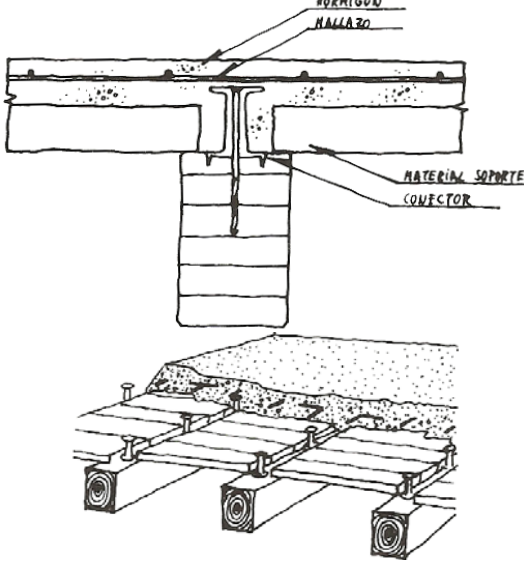
Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Reforço de pavimento com sistema de tabuleiro misto madeira x concreto armado, c/ engastamento nas bordas.</p>		<p>DI STEFANO (1990); LOMBARDO et al (1997); ROS (1997); ESPARZA (1998); ARRIAGA et al (2002); GRAHAM (2005); JORGE (2005); GÓMEZ (2007); DIAS (2008); REIS et al (2008); CARDOSO (2010); SAMPAIO da COSTA (2009); DIAS (2014)</p>
<p>Fonte: CECCOTTI (1995)</p>	<p>Fonte: GÓMEZ (2007)</p>	
<p>Reforço de pavimento com sistema de tabuleiro misto madeira x concreto armado com conectores metálicos de parafusos inclinados: (a) distribuição com parafusos inclinados; (b) distribuição com parafusos inclinados posicionados em “X”; (c) parafusos cabeça dupla.</p>		<p>SCHEWEIZERISH TECHNISCHE ZEITSCHRIFT (Suíça, 1985); MEIRHOFER, WIELAND e WILHELM (Suíça, 1992); NATTERER e HOEFER (Suíça, 1987) apud ROS (1997); PIGOZZO (2004); JORGE (2005); GÓMEZ (2007); CARVALHO (2008); DIAS (2008); REIS et al (2008); CARDOSO (2010)</p>
<p>Fontes: CECCOTTI (1995) apud ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>Fontes: MEIRHOFER et al (1992); ROS (1997) (c)</p>	
<p>Reforço de pavimento com sistema de tabuleiro misto madeira x concreto armado com conectores de anéis metálicos.</p>		<p>SYLVIA/STRUCTURE (França 1989) e GELFI e RONCA (Itália, 1993) apud ROS (1997); PIGOZZO (2004); GÓMEZ (2007); DIAS (2008); REIS et al (2008); CARDOSO (2010)</p>
<p>Fontes: CECCOTTI (1995) apud ARRIAGA et al (2002)</p>		
<p>Reforço de pavimento com sistema de tabuleiro misto madeira x concreto armado com conectores HBS (Habitat System Béton). Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>		<p>JORGE (2005); GÓMEZ (2007); DIAS (2008); REIS et al (2008); CARDOSO (2010); SAMPAIO da COSTA (2009); ARRIAGA (2010)</p>

Tabela 10.28. Reabilitações de pavimentos em regiões submetidas à flexão: diagnóstico de peças com fendas longitudinais significativas, ou com flechas excessivas decorrentes de fluência (continuação).

Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Reforço de pavimento com sistema de tabuleiro misto madeira x concreto armado com conectores metálicos do Sistema Tecnaria.</p> <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>		<p>JORGE (2005); GÓMEZ (2007); DIAS (2008); REIS et al (2008); CARDOSO (2010) ARRIAGA (2010)</p>
<p>Reforço de pavimento com sistema de tabuleiro misto madeira x concreto armado com conectores metálicos, dispostos na posição normal às fibras, colados com adesivo epóxi.</p> <p>Fontes: ALESSI, RAFFAGLI, LAMBORGHINI (Itália, 1989) apud ROS (1997)</p>		<p>CECCOTTI (1995); ALESSI, RAFFAGLI, LAMBORGHINI (Itália, 1989) apud ROS (1997); ARRIAGA et al (2002); JORGE (2005); CALIL et al (2006); GÓMEZ (2007); MOLINA (2008); CARVALHO (2008); DIAS (2008); REIS et al (2008); CARDOSO (2010)</p>
<p>Reforço de pavimento com sistema de tabuleiro misto madeira x concreto armado Ew (Suécia, 1970) com grampos de conectores metálicos “U” invertido colados com adesivo epóxi.</p> <p>Fontes: Sistema Ew (Suécia, 1970) apud ROS (1997)</p>		<p>ROS (1997); ARRIAGA et al (2002); JORGE (2005); GÓMEZ (2007); CARVALHO (2008); DIAS (2008); REIS et al (2008); CARDOSO (2010)</p>
<p>Reforço de pavimento com sistema de tabuleiro misto madeira x concreto armado com conectores metálicos em “L” invertido, colados com adesivo epóxi.</p> <p>Fontes: (a) (b) CECCOTTI (1995); (c) ARRIAGA et al (2002); (d) TURRINI e PIAZZA (1983) apud ROS (1997)</p>		<p>TURRINI e PIAZZA (1983); ROS (1997); PIGOZZO (2004); JORGE (2005); CALIL et al (2006); GÓMEZ (2007); MOLINA (2008); CARVALHO (2008); DIAS (2008); REIS et al (2008); CARDOSO (2010)</p>

Tabela 10.29. Reabilitações de pavimentos em regiões submetidas á flexão: diagnóstico de peças com fendas longitudinais significativas, ou com flechas excessivas decorrentes de fluência (continuação).

Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
Reforço de pavimento com sistema de tabuleiro misto madeira x concreto armado com conectores metálicos duplos em L “invertido” inclinados, colados com adesivo epóxi.	<p data-bbox="683 577 948 604">Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	JORGE (2005); CALIL et al (2006); CARVALHO (2008); GÓMEZ (2007); MOLINA (2008); DIAS (2008); REIS et al (2008); CARDOSO (2010)
Reforço de pavimento com sistema de tabuleiro misto madeira x concreto armado com entalhes na madeira e conectores de pregos ou parafusos.		ERLER (Alemanha, 1989) e GODYCKI, PAWLICA e KLESZCZEWSKI (Polônia, 1984); PIGOZZO (2004); JORGE (2005); GÓMEZ (2007); CARVALHO (2008); DIAS (2008); REIS et al (2008); CARDOSO (2010)
Reforços de pavimentos com sistema de tabuleiro misto madeira x concreto armado com entalhes na madeira e conectores metálicos colados com adesivo epóxi.	<p data-bbox="571 1144 1059 1171">Fontes: CECCOTTI (1995) apud ARRIAGA et al (2002)</p>	PIGOZZO (2004); JORGE (2005); GÓMEZ (2007); CARVALHO (2008); DIAS (2008); REIS et al (2008); CARDOSO (2010)
Reforço de pavimento com sistema de tabuleiro misto madeira x concreto armado treliças planas de vergalhões de aço, inseridas em frisos com adesivo epóxi em regiões superiores das vigas de madeira.	<p data-bbox="512 1809 1118 1836">(Variantes do sistema Llear, Rdb-Habitat, primeira e segunda geração)</p>	CECCOTTI (1995); LLEAR e RBD-HABITAT (Itália, 1991); ROS (1997); ARRIAGA et al (2002); PIGOZZO (2004); JORGE (2005)

Tabela 10.30. Reabilitações de pavimentos em regiões submetidas á flexão: diagnóstico de peças com fendas longitudinais significativas, ou com flechas excessivas decorrentes de fluência (continuação).

Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
<p>Reforço de pavimento com sistema de tabuleiro misto madeira x concreto armado e com treliças tridimensionais de vergalhões de aço inseridas em frisos e coladas com adesivo epóxi nas regiões superiores das vigas de madeira.</p>	<p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	
<p>Reforços de pavimentos com sistema de tabuleiro misto madeira x concreto armado com perfis metálicos em forma de “V” invertido parafusadas em regiões superiores das vigas de madeira.</p>	<p>Fontes: L.P.R., P; COX (1993) apud ROS (1997); ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>L.P.R., PETER COX (Itália 1993); ROS (1997);</p>
<p>Técnicas de reforços de pavimentos com sistema de tabuleiro misto madeira x concreto armado com perfis metálicos em colados com adesivo epóxi nas regiões superiores das vigas de madeira: (a) chapa metálica; (b) chapas c/ conectores “L” inv. sodados; (c) perfil “T” com treliça plana soldada.</p>	<p>(Variantes do sistema TAMPONE e CAMPA). Fontes: TAMPONE e CAMPA (Itália, 1987) apud ROS (1997)</p>	<p>CECCOTTI (1995); TAMPONE e CAMPA (Itália, 1987); ROS (1997); PIGOZZO (2004)</p>
<p>Reabilitação ou reforço de pavimento com laje mista sobre o tabuleiro e vigota adicional de concreto armado, grampeada sobre as viga de madeira existente.</p>	<p>SECCION</p> <p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>	<p>Fonte: ARRIAGA et al (2002)</p>

Tabela 10.31. Reabilitações de pavimentos em regiões submetidas á flexão: diagnóstico de peças com fendas longitudinais significativas, ou com flechas excessivas decorrentes de fluência (continuação).

Tipo de técnica	Modelo de referência	Referências/ Citações
Reabilitação ou reforço de pavimento com laje grampeada sobre o tabuleiro, as vigas de madeira originais e reforçado com vigas adicionais de concreto armado.	<p>(a) planta do pavimento original</p> <p>(b) vista em elevação do sistema de reforço</p>	Fonte: ARRIAGA et al (2002)
Reabilitação ou reforço de pavimento com “Sistema Herms” misto perfil metálico x madeira x concreto.		Fonte: ARRIAGA et al (2002)
Reabilitação ou reforço de pavimento com “Sistema Nou Bau” misto perfil metálico x madeira x concreto.		Fonte: ARRIAGA et al (2002)
Reabilitação ou reforço de pavimento com “Sistema Bettor” misto perfil metálico x madeira x concreto.	<p>CAPA DE POLIESTIRENO</p>	Fonte: ARRIAGA et al (2002)
Reabilitação de pavimento com sistema misto com perfis metálicos “Steel deck” e concreto.	<p>AC or concrete infill & wearing surface</p>	Fonte: GRAHAM (2005)