

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS

“Proposta de método de ensaio e parâmetros para o dimensionamento de ligações entre peças de madeira por anéis metálicos fechados”

MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA

Orientador: Prof. Titular Francisco Antonio Rocco Lahr

São Carlos, 28 de Junho de 1996

DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS**

**“Proposta de método de ensaio e parâmetros para o
dimensionamento de ligações entre peças de madeira por
anéis metálicos fechados”**

MARTA CRISTINA DE JESUS ALBUQUERQUE NOGUEIRA

*Tese apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos, da Universidade de São
Paulo, como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Doutora em
Engenharia de Estruturas.*

ORIENTADOR: Prof. Titular. Francisco Antonio Rocco Lahr

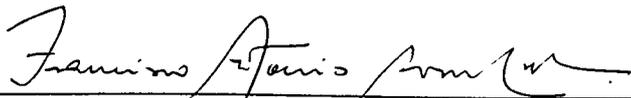
São Carlos

1996

**DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Tese defendida e aprovada em 28-6-1996
pela Comissão Julgadora:



Prof. Doutor FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR - Orientador
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor CARLITO CALIL JUNIOR
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



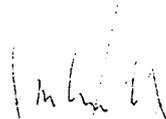
Prof. Doutor PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA
(Escola Politécnica - Universidade de São Paulo)



Prof. Doutor ADRIANO WAGNER BALLARIN
(Universidade Estadual Paulista-UNESP - Campus de Botucatu)



Prof. Doutor ANTONIO ALVES DIAS
(Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP)



Presidente da Comissão de Pós-Graduação
Prof. Dr. JOSÉ CARLOS A. CINTRA



Coordenador da Área "Engenharia de Estruturas"
Prof. Dr. MOUNIR KHALIL EL DEBS

Ao meu esposo José (Paraná) e a
minha filha Adriana pelo amor e
carinho.

Aos meus pais Candido (in
Memorian) e Ambrozina, ao meu
irmão Paulo e sua família.

Aos meus sogros Simeão e Maria.

AGRADECIMENTOS

- * Ao Professor Dr. Francisco Antonio Rocco Lahr, por ter me proporcionado uma orientação segura e incansável, e acima de tudo pela sua amizade sempre presente;
- * Ao Professor Dr. Carlito Calil Júnior pela amizade e colaboração segura e incansável demonstrada no desenvolvimento do trabalho;
- * Ao Professor Dr. João Cesar Hellmeister, pela amizade no LaMEM;
- * A Professora Dr. Akemi Ino, pela amizade no LaMEM;
- * A equipe de normatização: Professor Titular Péricles Brasiliense Fusco, Professor Titular Carlito Calil Júnior e Professor Dr. Pedro Afonso de Oliveira Almeida, pela colaboração neste trabalho;
- * Ao Sílvio, Arnaldo, Aparecido e Marivaldo pelo apoio na confecção dos corpos-de-prova;
- * Ao José Francisco, Jaime e Roberto pelo apoio na realização dos ensaios;
- * Ao Luiz Bragato pela ajuda na parte bibliográfica;
- * À Tânia e Silvana pela colaboração nos serviços que permitiram a obtenção do material para ensaio;
- * Ao Professor José Pedroso de Barros (ETFMT - Língua Portuguesa) pela colaboração na revisão deste trabalho;

- * Ao Professor Alfredo Américo Hamar (in Memoriam) pela sua amizade e orientação na revisão bibliográfica;
- * Aos amigos do LaMEM, pelo carinho, apoio e incentivo;
- * Aos amigos do Departamento de Estruturas, pelo apoio e incentivo;
- * Ao Professor Dr. Alfredo Jorge e sua família, pela sua amizade, carinho e responsável pela minha vinda à São Carlos;
- * Aos amigos de São Carlos: Maria Gilda, Faria e Marta, Luiz e Valéria, Léa e Nelson, Telma e Sidney, Sônia e Júlio, Rosane e Ribeiro, Francisco e Claudia, Marcia, Solange e Sérgio, Giana e João, etc.
- * Ao CNPq pelo auxílio financeiro;
- * A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	v
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
CAPÍTULO 1.....	1
1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - PROBLEMÁTICA.....	1
1.2 - JUSTIFICATIVA.....	4
1.3 - OBJETIVOS.....	5
1.3.1 - Objetivo Geral.....	5
1.3.2 - Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO 2.....	7
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 - CRITÉRIOS DAS NORMAS PARA A DEFINIÇÃO DAS DIMENSÕES DOS CORPOS-DE-PROVA E DOS MÉTODOS DE ENSAIOS.....	7
2.1.1 - Norma Australiana (Standards Association of Australia - 1994)....	7
2.1.2 - Norma Européia (European Committee for Standardization EN - 383 - 1993).....	9
2.1.3 - Norma BSI (British Standards Institution BS 6948 - 1989).....	12
2.1.4. - Norma ISO 6891 (International Organization for Standardization 6891 - 1983).....	15
2.1.5 - Norma NDS (National Design Specification - 1991).....	15
2.1.6 - Norma Eurocode nº5 (Commission of the European Communities - 1987).....	18

2.1.7 - Norma DIN 1052 - parte 2 (Deutsches Institut für Normung 1052 - parte 2 - 1988).....	20
2.1.8 - Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN/CSA 086.1 - M89 - 1993).....	22
2.1.9 - Norma ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR - 7190 - 1982).....	23
2.2 - ESTUDO DAS NORMAS PARA CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO.....	24
2.2.1 - Norma Australiana (Standards Association of Australia - 1994)..	24
2.2.2 - Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN/CSA 086.1 - M89 - 1993).....	28
2.2.3 - Norma NDS (National Design Specification - 1991).....	38
2.3 - CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS	40
2.3.1 - Umidade.....	40
2.3.2 - Densidade.....	41
2.4 - CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA.....	42
2.4.1 - Compressão Paralela às Fibras.....	42
2.4.2 - Cisalhamento.....	44
2.4.3 - Compressão Normal às Fibras.....	45
2.5 - CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DOS MODOS DE RUPTURA.....	47
2.5.1 - Compressão Paralela às Fibras.....	47
2.5.2 - Cisalhamento.....	48
2.5.3 - Tração Normal às Fibras.....	49
2.6 - LIGAÇÕES.....	50
2.6.1 - Estudo das Ligações.....	51
2.6.2 - Tipos de Anéis Conectores.....	55
2.6.2.1 - Tipo 1.....	55
2.6.2.2 - Tipo 2.....	56
2.6.2.3 - Tipo 3.....	57
2.6.2.4 - Tipo 4.....	58

2.6.2.5 - Tipo 5.....	59
2.6.3 - Origem e Composição Química do Anel.....	61
2.6.4 - Preservativos Empregados no Tratamento da Madeira.....	61
2.6.4.1 - Classificação dos preservativos.....	63
2.6.4.2 - Modos de aplicações dos preservativos.....	66
2.7 - COMENTÁRIOS GERAIS.....	66
CAPÍTULO 3.....	68
3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	68
3.1 - MATERIAIS.....	68
3.1.1 - Madeiras.....	69
3.1.2 - Anéis Metálicos.....	70
3.1.3 - Aspectos Anatômicos da Madeira dos Corpos-de-Prova.....	71
3.1.3.1 - Pinus Elliottii.....	71
3.1.3.2 - Cupiúba.....	72
3.1.3.3 - Garapa.....	72
3.1.3.4 - Eucalipto Citriodora.....	72
3.1.3.5 - Jatobá.....	73
3.2 - MÉTODOS.....	73
3.2.1 - Madeira.....	73
3.2.2 - Tipos de Ensaios e Modelos dos Corpos-de-Prova.....	74
3.2.2.1 - Ensaio de compressão paralela às fibras.....	74
3.2.2.1.1 - Descrição do ensaio.....	74
3.2.2.1.2 - Dimensões das peças do corpo-de-prova.....	75
a - Para anéis com diâmetro de 64 mm	75
b - Para anéis com diâmetro de 102 mm	76
3.2.2.1.3 - Características dos anéis metálicos.....	77
3.2.2.1.4 - Corpos-de-prova e suas variações.....	77
3.2.2.2 - Ensaio de compressão normal às fibras.....	80
3.2.2.2.1 - Descrição do ensaio.....	80
3.2.2.2.2 - Descrição das peças do corpo-de-prova.....	81

a - Para anéis com diâmetro de 64 mm.....	81
b - Para anéis com diâmetro de 102 mm.....	82
3.2.2.2.3 - Características dos anéis metálicos.....	84
3.2.2.2.4 - Corpos-de-prova e suas variações.....	84
3.2.3 - Formas de Carregamentos e Obtenções de Dados.....	86
3.2.3.1 - Generalidades.....	86
3.2.3.2 - Procedimento geral de ensaio.....	87
3.2.4 - Relatório.....	88
CAPÍTULO 4.....	89
4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	89
4.1 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO AÇO.....	89
4.2 - DETERMINAÇÃO DE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DAS MADEIRAS UTILIZADAS.....	91
4.3 - DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS DE LIGAÇÕES - COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS.....	94
4.4 - DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS DE LIGAÇÕES - COMPRESSÃO NORMAL ÀS FIBRAS.....	97
4.5 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	101
4.6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	114
CAPÍTULO 5.....	119
5 - CONCLUSÕES.....	119
BIBLIOGRAFIA.....	120
BIBLIOGRAFIA CITADA.....	120
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	128

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Espaçamento, distância à borda e extremidade para anéis.....	8
Figura 2 -	Procedimento do carregamento.....	11
Figura 3 -	Medidas da curva da carga x deformação específica.....	11
Figura 4 -	Ensaio com carregamento paralelo às fibras.....	14
Figura 5 -	Ensaio com carregamento perpendicular às fibras.....	14
Figura 6 -	Geometria das conexões para anéis.....	17
Figura 7 -	Distância à extremidade para peças com extremidades cortadas inclinadamente.....	17
Figura 8 -	No caso a) $v = F \operatorname{sen} \alpha$. No caso b) $v = 0,5 F \operatorname{sen} \alpha$. Os círculos significam pregos, tarugos, parafusos, anéis metálicos fechados, etc.....	20
Figura 9 -	Ligações com anéis metálicos fechados.....	24
Figura 10 -	Corpo-de-prova para ensaio de compressão paralela às fibras.....	44
Figura 11 -	Corpo-de-prova para ensaio de cisalhamento.....	45
Figura 12 -	Corpo-de-prova para ensaio de compressão normal às fibras.....	46
Figura 13 -	Formas de ruptura dos corpos-de-prova sujeitos à compressão paralela às fibras.....	48
Figura 14 -	Formas de ruptura dos corpos-de-prova sujeitos ao cisalhamento.....	49
Figura 15 -	Formas de ruptura dos corpos-de-prova sujeitos à tração normal às fibras.....	50
Figura 16 -	Tipo de anel conector fechado.....	55
Figura 17 -	Tipo de anel conector aberto.....	56
Figura 18 -	Tipo de anel conector aberto.....	57

Figura 19 - Tipo de anel com abertura inclinada.....	58
Figura 20 - Tipo de anel com abertura inclinada.....	60
Figura 21 - Anel metálico.....	70
Figura 22 - Dimensões nominais das peças dos corpos-de-prova.....	76
Figura 23 - Dimensões nominais das peças dos corpos-de-prova.....	77
Figura 24 - Compressão paralela.....	78
Figura 25 - Dimensões nominais das peças dos corpos-de-prova.....	82
Figura 26 - Dimensões nominais das peças dos corpos-de-prova.....	83
Figura 27 - Compressão normal.....	84
Figura 28 - Resultados experimentais da determinação da resistência à tração do aço.....	91
Figura 29 - Preparação dos corpos-de-prova.....	95
Figura 30 - Ensaio de compressão paralela às fibras.....	96
Figura 31 - Ruptura das peças ensaiadas.....	97
Figura 32 - Ensaio de compressão normal às fibras.....	99
Figura 33 - Ruptura das peças ensaiadas.....	100
Figura 34 - . Esquema de corte das vigas para montagem dos corpos-de-prova para ensaios de compressão paralela às fibras e normal às fibras.....	101
Figura 35 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão normal às fibras - Cupiúba.....	102
Figura 36 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão normal às fibras - Eucalipto Citriodora.....	102
Figura 37 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão normal às fibras - Garapa.....	103
Figura 38 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão normal às fibras	

-Jatobá.....	103
Figura 39 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão normal às fibras -Pinus Elliottii.....	104
Figura 40 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão normal às fibras - Cupiúba.....	104
Figura 41 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão normal às fibras - Eucalipto Citriodora.....	105
Figura 42 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão normal às fibras -Garapa.....	105
Figura 43 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão normal às fibras - Jatobá.....	106
Figura 44 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão normal às fibras - Pinus Elliottii.....	106
Figura 45 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão paralela às fibras - Cupiúba.....	107
Figura 46 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão paralela às fibras - Eucalipto Citriodora.....	107
Figura 47 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão paralela às fibras - Garapa.....	108
Figura 48 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão paralela às	

fibras - Jatobá.....	108
Figura 49 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão paralela às fibras - Pinus Elliottii.....	109
Figura 50 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão paralela às fibras - Cupiúba.....	109
Figura 51 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão paralela às fibras - Eucalipto Citriodora.....	110
Figura 52 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão paralela às fibras - Garapa.....	110
Figura 53 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão paralela às fibras - Jatobá.....	111
Figura 54 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão paralela às fibras - Pinus Elliottii.....	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Espaçamentos mínimos, distância à borda e extremidade para anéis.....	9
Tabela 2 -	Espessuras para ligações de peças com conectores da categoria B (parafusos, pregos, chapas com dentes estampados, anéis metálicos fechados, placa cisalhantes, etc.) - BSI 6948.....	13
Tabela 3 -	Distâncias da extremidade e da borda para conectores da categoria B (ver figuras 4 e 5) - BSI 6948.....	13
Tabela 4 -	Dimensões características para anéis metálicos fechados.....	18
Tabela 5 -	Especificações mínimas para ligações com anéis do tipo A (anéis metálicos fechados).....	21
Tabela 6 -	Dimensões dos anéis metálicos fechados.....	22
Tabela 7 -	Dimensões dos encaixes dos anéis metálicos fechados na madeira	22
Tabela 8 -	Fator de duração da carga para resistência.....	25
Tabela 9 -	Fator K_{15} para anéis metálicos fechados na madeira seca ($\leq 15\%$).....	26
Tabela 10 -	Fator K_{18} para anéis metálicos fechados com cargas à tração.	26
Tabela 11 -	Resistência característica para um anel metálico fechado, madeira verde ($\geq 25\%$).....	27
Tabela 12 -	Valor de K_{17} para uso em projeto de ligações com anéis metálicos fechados múltiplos.....	28
Tabela 13 -	Resistência paralela às fibras, p_u , do anel metálico fechado único para madeira (kN).....	30
Tabela 14 -	Resistência perpendicular às fibras, q_u , do anel metálico	

	fechado para madeira (kN).....	30
Tabela 15 -	Fator de duração da carga, K_D	31
Tabela 16 -	Fator da condição de serviço, K_{SF} , para anel metálico fechado	32
Tabela 17 -	Fator tratamento retardante-fogo, K_T , para anéis metálicos fechados.....	32
Tabela 18 -	Fatores de modificação, J_G , para ligação com anéis metálicos fechados e parafusos com cobrejuntas de madeira.....	33
Tabela 19 -	Valores de J_C para distância à borda dos anéis metálicos fechados na madeira.....	34
Tabela 20 -	Valores de J_C para distância à extremidade dos anéis metálicos fechados na madeira.....	35
Tabela 21 -	Espaçamento (mm) dos anéis metálicos fechados para valores de J_C entre 0,75 e 1,0.....	36
Tabela 22 -	Fator espessura, J_T , para anéis metálicos fechados na madeira.....	37
Tabela 23 -	Fator de penetração, J_P , para anéis metálicos fechados usados com parafuso.....	38
Tabela 24 -	Fator de duração da carga, C_D	39
Tabela 25 -	Fator de umidade em serviço, C_M , para anéis metálicos fechados.....	39
Tabela 26 -	Dimensões do anel conector (em milímetros).....	55
Tabela 27 -	Dimensões do anel conector (em milímetros).....	56
Tabela 28 -	Dimensões do anel conector (em milímetros).....	57
Tabela 29 -	Dimensões do anel conector (em milímetros).....	59
Tabela 30 -	Dimensões do anel conector (em milímetros).....	60
Tabela 31 -	Preservativos MONTANA indicando as classes de risco e o processo de utilização.....	65
Tabela 32 -	Seções e números de vigas das espécies estudadas.....	69
Tabela 33 -	Dimensões principais dos anéis metálicos fechados - (mm).....	71

Tabela 34 - Dimensões nominais dos corpos-de-prova para anel de $\phi = 64$ mm.....	79
Tabela 35 - Dimensões nominais dos corpos-de-prova para anel de $\phi = 102$ mm.....	80
Tabela 36 - Dimensões nominais dos corpos-de-prova para anel de $\phi = 64$ mm.....	85
Tabela 37 - Dimensões nominais dos corpos-de-prova para anel de $\phi = 102$ mm.....	86
Tabela 38 - Resultados da determinação da resistência à tração do aço....	90
Tabela 39 - Classificação das espécies de madeiras estudadas em função das classes de resistência.....	92
Tabela 40 - Dimensões nominais dos corpos-de-prova.....	92
Tabela 41 - Ensaio de caracterização.....	93
Tabela 42 - Resultados: Garapa.....	112
Tabela 43 - Resultados: Cupiúba.....	112
Tabela 44 - Resultados: Eucalipto Citriodora.....	113
Tabela 45 - Resultados: Jatobá.....	113
Tabela 46 - Resultados: Pinus Elliottii.....	113
Tabela 47 - Compressão normal - anel com diâmetro de 64mm - unidade: daN.....	115
Tabela 48 - Compressão normal - anel com diâmetro de 102mm - unidade: daN.....	116
Tabela 49 - Compressão paralela - anel com diâmetro de 64mm - unidade: daN.....	117
Tabela 50 - Compressão paralela - anel com diâmetro de 102mm - unidade: daN.....	118

RESUMO

Neste trabalho são estabelecidas uma proposta de método de ensaio e também sugestões para o dimensionamento da ligação entre peças de madeira por anéis metálicos fechados de 64mm (2 1/2") e 102mm (4"), sob a ótica do método dos estados limites. Para alcançar esta finalidade foram realizados estudos bibliográficos e avaliações experimentais. Foram determinadas algumas propriedades físicas e mecânicas das espécies estudadas e realizados ensaios de ligações com anéis metálicos fechados submetidas à compressão paralela às fibras e à compressão normal às fibras.

Palavras-chave: Ligações, anéis conectores, madeira, resistência mecânica, propriedades físicas.

ABSTRACT

In this work a method is proposed to test timber structural joints with split-ring connectors, 64mm (2 1/2") and 102mm (4") diameters. Some suggestions are also registered to the design of such joints, under the Limit States Method principles. To reach these subjects bibliographical studies and laboratorial experiments were carried out. Some physical and mechanical properties of the studied essences were determined and tests of joints with split-ring connectors were conducted in compression parallel and perpendicular to the grain.

Key-words: Joints, split-rings connections, wood, mechanical strength, physical properties.

CAPÍTULO 1

1 - INTRODUÇÃO

1.1 - PROBLEMÁTICA

A madeira, um dos primeiros materiais empregados pelo homem na busca de soluções para suas necessidades, o acompanha através dos tempos no desenvolvimento das civilizações. Foi utilizada para a confecção de armas, abrigos, pontes, entre outras aplicações.

Gradativamente, diversificou-se o emprego da madeira pelo homem, abrangendo a confecção de móveis, utensílios diversos e a fabricação de elementos ligados ao transporte, como embarcações, vagões de trens e carroçarias.

Todavia, um dos empregos mais antigos e marcantes da madeira se verifica na construção civil. Apesar da extensa gama de aplicações e de o Brasil apresentar uma das mais vastas reservas florestais do mundo, ainda não são difundidas no país informações suficientes para o uso racional da madeira. A falta de conhecimentos científicos e tecnológicos e a conseqüente deficiência dos documentos normativos são fatos que dificultam a adequada utilização das diferentes espécies de madeira, sendo elas nativas ou de reflorestamento.

Evidentemente, a correta aplicação de qualquer material, começa no conhecimento das suas propriedades físicas, de resistência e de rigidez.

Ao mesmo tempo, outros aspectos fundamentais devem ocupar a atenção dos pesquisadores da área. Dentre eles, destacam-se os relacionados com o comportamento estrutural da madeira e, mais diretamente, aos critérios adotados para o seu cálculo e sua execução.

ZAGOTTIS*, apud ROCCO LAHR (1990) menciona que, no passado, os critérios de dimensionamento e métodos de ensaio utilizados eram chamados de "Métodos Intuitivos", onde os valores eram concebidos e desenvolvidos através da intuição dos projetistas e construtores, com base em experiências obtidas por sucessos e insucessos de construções similares anteriormente feitas, inclusive de modelos. Com o passar dos anos, a evolução da "Mecânica das Estruturas" possibilitou a avaliação do comportamento das diferentes estruturas, analisando as propriedades dos materiais utilizados, os esforços atuantes, as deformações e os deslocamentos provocados pelos carregamentos. Este procedimento citado admite como válida a hipótese do comportamento de uma estrutura ser determinística, ou seja, para uma certa barra, nas mesmas condições de vinculação, uma mesma ação, aplicada repetidas vezes, dará origem aos mesmos esforços solicitantes, às mesmas deformações, aos mesmos deslocamentos. Com isto, foram estabelecidos métodos para a estimativa de parâmetros quantificadores da segurança estrutural. A seguir é apresentado um comentário desses métodos empregados ao longo do desenvolvimento da Mecânica das Estruturas:

***Método das Tensões Admissíveis** = é uma continuação do método intuitivo, onde os novos projetos sempre copiavam um modelo já existente. Esse método baseia-se nas ações a serem consideradas no projeto, isso foi feito por um processo subjetivo, onde eram arbitrados valores máximos das cargas que se consideravam plausível nos diferentes tipos de construção, FUSCO (1992).

Este método é bastante deficiente no que diz respeito à medida de segurança introduzida pelo coeficiente de segurança interno.

* ZAGOTTIS, D. Pontes e grandes estruturas: IV - Introdução da segurança no projeto estrutural. São Paulo, POLI-USP, 1981. apud ROCCO LAHR, F. A. Considerações a respeito da variabilidade de propriedades de resistência e de elasticidade da madeira. São Carlos. 161p. 1990. Tese (Livre-Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

As críticas feitas a este método estão relacionadas com a distância que ele introduz entre a situação de utilização da estrutura e aquela que corresponderia a uma ruptura ou colapso da mesma, ZAGOTTIS (1981).

***Método dos Estados Limites** = é fundamentado nos conceitos de estados limites, situações onde uma estrutura deixa de satisfazer qualquer das finalidades de sua construção.

Estados Limites Últimos são aqueles correspondentes ao esgotamento da capacidade da estrutura, podem ser originados por um ou vários dos seguintes fenômenos: perda da estabilidade do equilíbrio de uma parte ou do conjunto da estrutura, assimilada esta a um corpo rígido, ruptura de secções críticas da estrutura, deterioração por efeito de fadiga.

Estados Limites de Utilização são aqueles correspondentes à impossibilidade do uso normal da estrutura no todo ou em parte, podem ser originados por um ou vários dos seguintes fenômenos que comprometam os requisitos de ordem funcional e durabilidade da estrutura, tais como: deformação excessiva para uma utilização normal da estrutura, fissuração prematura ou excessiva, danos indesejáveis como corrosão, vibrações excessivas, ZAGOTTIS (1981).

Países como Austrália, Canadá e os integrantes da Comunidade Econômica Européia, já adotam para o projeto de estruturas de madeira, normas fundamentadas no Método dos Estados Limites. No Brasil, a NBR-7190 (1982) (Norma Brasileira para o Cálculo e a Execução de Estruturas de Madeira), antiga NB-11/1951, tem sido objeto de avaliação e revisão. Estão engajados pesquisadores de diversas instituições de pesquisa do país, sob a coordenação de professores da Universidade de São Paulo. Já foi produzido um texto inicial, atualmente sendo discutido no âmbito da Associação Brasileira de Normas Técnicas. O referido texto, fundamentado nos conceitos do método dos estados limites, se constitui em significativo avanço em matéria de documentos normativos referentes ao projeto de estruturas de madeira.

Registra-se que um dos aspectos que demandou mais intensos estudos foi o da ligação entre peças estruturais. Em especial, o da ligação para transmitir esforços elevados, como é o caso da ligação através de anéis metálicos.

O presente trabalho foi desenvolvido no contexto da geração de subsídios para a revisão dos documentos normativos brasileiros no que se refere às madeiras. Trata da proposição de método de ensaio e da sugestão de informações para o dimensionamento da ligação entre peças através de anéis

metálicos fechados, com diâmetros de 64mm (2 1/2") e 102mm (4"). Para este mister foram realizados ensaios de peças de madeira ligadas com anéis metálicos fechados, com solicitação de compressão paralela às fibras e de compressão normal às fibras.

1.2 - JUSTIFICATIVA

Para permitir que o emprego estrutural da madeira, no Brasil, alcance nível equivalente ao dos países mais desenvolvidos, muitos estudos ainda são necessários, especialmente os voltados para os parâmetros fundamentais de segurança e durabilidade. Certamente atenção redobrada deve ser prestada aos temas que forneçam informações básicas para os documentos normativos, como os métodos de ensaio e os procedimentos para o projeto e a construção.

O emprego dos anéis metálicos fechados se destaca em importância pois se configuram indicados para a composição de estruturas de cobertura para vãos livres de médio a grande porte, para a construção de pontes e passarelas, entre outras.

Pelas razões mencionadas e considerando-se o contexto da revisão da NBR-7190 (1982), justifica-se a realização deste trabalho, abrangendo espécies nativas e incluindo também espécies de reflorestamento, na busca da indispensável generalização de resultados, imprescindível quando se raciocina em termos de documentos normativos.

A proposta apresentada se refere à determinação das resistências das peças ligadas com anéis metálicos fechados, apontando para seus valores de projeto, no âmbito do método dos estados limites. Os diâmetros adotados são os mais comumente especificados internacionalmente.

No aspecto bibliográfico, foram consideradas as normas internacionais: European Committee for Standardization EN 383-Norma Européia (1993), Standards Association of Australia-Norma Australiana (1994), Canadian Standards Association CAN/CSA 086.1 M89-Norma Canadense (1993), British

Standards Institution BS6948-Norma BSI (1989), International Organization for Standardization 6891-Norma ISO 6891 (1983), National Design Specification-Norma NDS (1991), Commission of the European Communities-Norma Eurocode nº 5 (1987), Deutsches Institut für Normung 1052 parte 2-Norma DIN 1052 parte 2 (1988), Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7190-Norma ABNT (1982), nos aspectos referentes aos métodos de ensaio e aos critérios de dimensionamento de peças interligadas por anéis metálicos. Diversos documentos técnicos nacionais e internacionais também foram consultados, sendo necessário registrar que não são muito numerosos os trabalhos já desenvolvidos sobre o assunto.

1.3 - OBJETIVOS

1.3.1 - Objetivo Geral

Tem-se como objetivo principal a proposta de método de ensaio e de parâmetros para o dimensionamento de ligações em estruturas de madeira por anéis metálicos fechados, estabelecida sob a ótica do método dos estados limites.

1.3.2 - Objetivos Específicos

Para alcançar o objetivo geral deste trabalho deverão ser consideradas as propriedades físicas (umidade, densidade), as propriedades de resistência (compressão paralela, compressão normal, cisalhamento), a composição química dos anéis utilizados como elemento de ligação entre as peças de madeira.

Foi feito um levantamento bibliográfico das normas e outros documentos técnicos mais relevantes existentes no mundo sobre ensaios de ligações com anéis metálicos fechados nos diâmetros internos de 64 mm (2 1/2") e 102 mm (4"), e posteriormente a definição do método de ensaio e dos parâmetros para o dimensionamento dos corpos-de-prova.

O estudo experimental foi realizado utilizando-se a madeira de cinco espécies escolhidas de acordo com as classes de resistência propostas no projeto de revisão da NBR - 7190 (1996), são as seguintes:

- *Pinus Elliottii (Pinus elliottii);
- *Cupiúba (Goupia glabra);
- *Garapa (Apuleia leiocarpa);
- *Eucalipto Citriodora (Eucalyptus citriodora);
- *Jatobá (Hymenaea stilbocarpa).

Foram adotados anéis metálicos fechados, em ligações submetidas à compressão paralela e à compressão normal às fibras.

Com isto, espera-se contribuir para que seja viabilizado pelos profissionais interessados no projeto e na construção de estruturas de madeira o emprego deste importante elemento de ligação, ampliando deste modo o potencial de utilização das estruturas de madeira.

CAPÍTULO 2

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - CRITÉRIOS DAS NORMAS PARA A DEFINIÇÃO DAS DIMENSÕES DOS CORPOS-DE-PROVA E DOS MÉTODOS DE ENSAIOS

Neste item, são feitas menções a respeito das normas internacionais sobre o assunto da tese.

2.1.1 - Norma Australiana (Standards Association of Australia - 1994)

A norma australiana trata dos métodos para o projeto de estruturas de madeiras, baseados nos princípios da mecânica estrutural.

A norma é usada em projetos ou avaliações de elementos estruturais de madeiras ou produtos de madeiras.

Esta norma já desenvolve seus cálculos estruturais com base no método dos estados limites. As espécies de madeira são classificadas em sete grupos de resistência na condição saturada (25%) e oito grupos de resistências na condição de equilíbrio ao ar (15%). São feitas também a classificação em

função das classes de resistência para as espécies de madeiras usadas em ligações com anéis metálicos, esta norma classifica as espécies em seis grupos quando usada a madeira saturada (25%), e seis grupos de ligações, quando usada a madeira em equilíbrio ao ar (15%).

As dimensões dos anéis metálicos fechados sugeridas nas ligações com peças de madeiras são de 64 mm (2 1/2") e 102 mm (4"). Os parafusos usados como elemento de fixação dos corpos-de-prova para os anéis metálicos de 64 mm são da classe M_{12} e os parafusos usados para anéis conectores de 102 mm são da classe M_{20} . Essas classes indicam as especificações do material de que é feito o parafuso e suas respectivas bitolas. As arruelas também obedecem a essas especificações dos parafusos.

As distâncias mínimas para o espaçamento entre os centros dos anéis, do centro do anel até a borda, do centro do anel até a extremidade, são apresentadas na tabela 1 e ilustradas a seguir na figura 1:

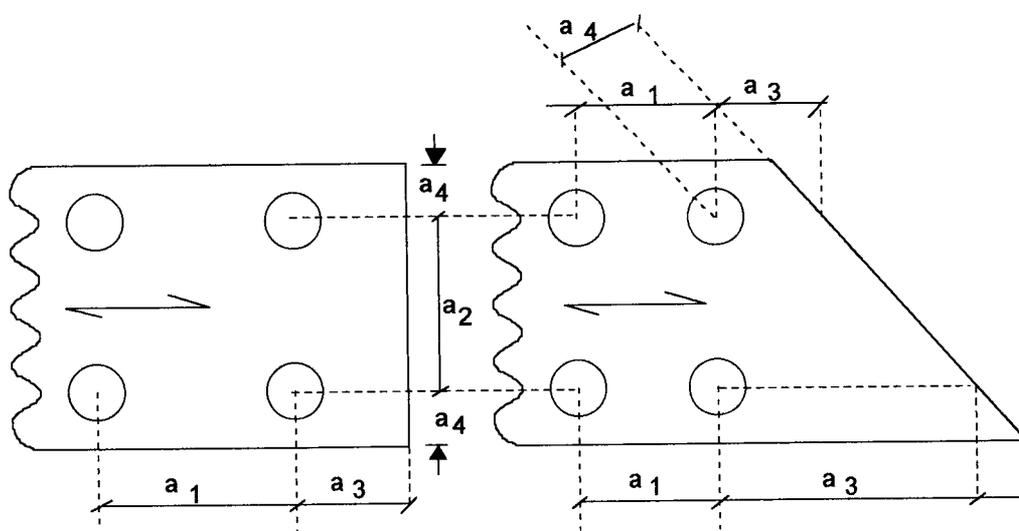


FIGURA 1 - Espaçamento, distância à borda e extremidade para anéis.

Onde:

a_1 = espaçamento paralelo às fibras;

a_2 = espaçamento perpendicular às fibras;

a_3 = distância à extremidade;

a_4 = distância à borda.

TABELA 1 - Espaçamentos mínimos, distância à borda e extremidade para anéis.

TIPO DE ESPAÇAMENTO	DISTÂNCIA MÍNIMA PARA ANÉIS DE:	
	64 mm	102 mm
Distância à extremidade:		
Peças na tração	150 mm	180 mm
Peças na compressão	100 mm	140 mm
Distância à borda:		
Ângulo de 0° até 30° de carga com as fibras.	45 mm	70 mm
Ângulo de 30° até 90° da carga com as fibras:		
lado à compressão	70 mm	95 mm
lado oposto à compressão	45 mm	70 mm
Entre conectores aparafusados:		
Ângulo de 0° até 30° da carga com às fibras:		
espaçamento paralelo às fibras	180 mm	230 mm
espaçamento perpendicular às fibras	90 mm	140 mm
Ângulo de 30° a 90° da carga com às fibras:		
espaçamento paralelo às fibras	90 mm	140 mm
espaçamento perpendicular às fibras	115 mm	165 mm

Fonte: Norma Australiana (Standards Association of Australia - 1994)

2.1.2 - Norma Européia (European Committee for Standardization EN 383 - 1993)

Trata-se de documento normativo referente aos métodos de ensaio para materiais de construção e seus componentes. Especifica métodos de

laboratórios para determinação de resistência ao embutimento em madeiras maciças, laminadas coladas e compensados.

No método proposto para ensaios de ligações, as peças a serem ensaiadas são carregadas tanto na compressão paralela ou tração paralela às fibras, quanto na compressão perpendicular ou tração perpendicular às fibras, sendo possível usar o princípio desta norma para outros ângulos entre a carga e as fibras.

A madeira usada para confeccionar o corpo de prova deverá apresentar massa constante para a realização dos ensaios, o ambiente onde serão realizados os ensaios, deverá ter umidade relativa de $(65 \pm 5)\%$ e a temperatura de $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. A massa é considerada constante quando os resultados de duas pesagem sucessivas, realizadas num intervalo de 6 h, não diferirem mais do que 0,1%.

A peça a ensaiar deverá ser colocada simetricamente no aparelho de ensaio e a carga deverá ser aplicada paralelamente ao seu eixo. A carga máxima estimada $F_{\text{máx,est}}$ deverá ser determinada com base na experiência, cálculo ou ensaios preliminares.

Quando se inicia a aplicação da carga, o procedimento do carregamento deverá ser seguido exceto que, para ensaios particulares, o ciclo de pré-carga até $0,4 F_{\text{máx,est}}$ pode ser omitido com o correspondente ajustamento para o tempo de ensaio total. A carga deverá ser aumentada para $0,4 F_{\text{máx,est}}$ e mantida por 30 segundos. Depois deve-se reduzi-la para $0,1 F_{\text{máx,est}}$ e mantida por 30 segundos.

A carga deverá ser aumentada ou diminuída. A carga deverá ser bem ajustada de modo que a ruptura seja alcançada dentro de (300 ± 120) segundos.

Devem-se registrar os pontos da deformação para cada peça a ser ensaiada e para que possa obter a curva da carga x deformação específica, como mostra na figura 3. A carga máxima $F_{\text{máx}}$ também deve ser registrada. Quando não é disponível a curva da carga x deformação específica, as medidas de deformação específica deverão ser obtidas com incremento de carga de $0,1 F_{\text{máx,est}}$, como mostra a figura 2.

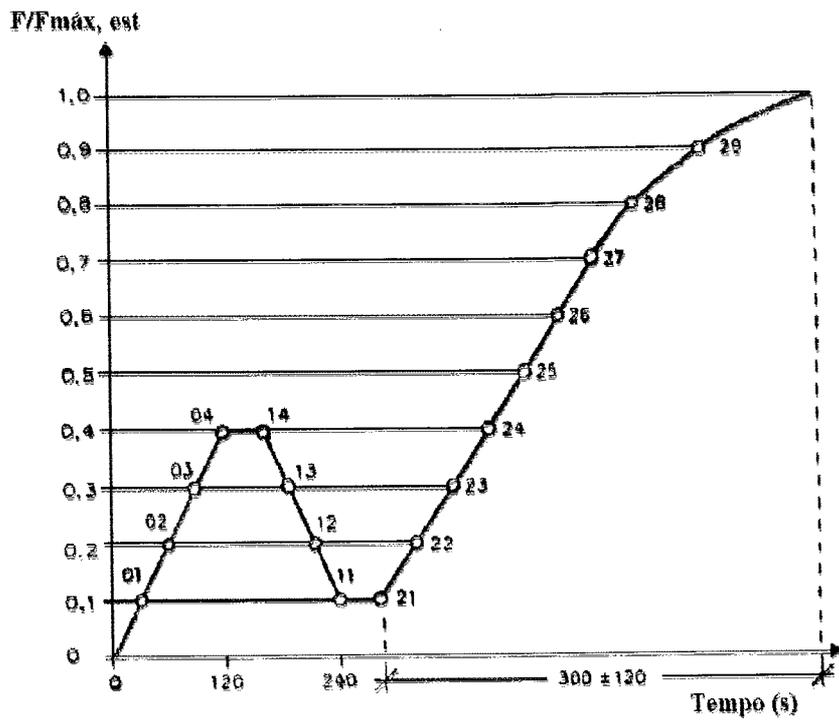


FIGURA 2 - Procedimento do carregamento

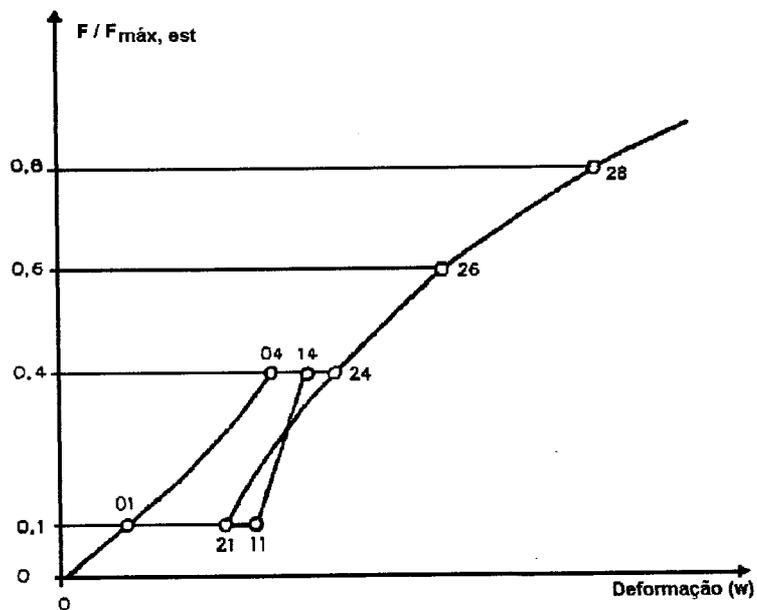


FIGURA 3 - Medidas da curva da carga x deformação específica

2.1.3 - Norma BSI (British Standards Institution BS 6948 - 1989)

Neste documento estão especificados métodos de ensaio para peças de madeiras usando elementos de ligação dos tipos parafusos, cavilhas, anéis e outros similares.

A máquina universal utilizada para realizar os ensaios deve estar dentro das especificações da BSI 1610 : parte 2 (1989).

Os ensaios devem ser programados, definindo-se a espécie de madeira, o tamanho do corpo-de-prova, o tipo de parafuso de fixação do corpo-de-prova, a descrição da montagem do corpo-de-prova, o número de espécies a serem ensaiadas, o tipo de ensaio (compressão paralela, compressão normal, tração paralela ou tração normal), descrição do parafuso de fixação do corpo-de-prova e uma descrição das espécies a serem ensaiadas.

O ambiente onde serão realizados os ensaios deve apresentar temperatura de $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$.

A madeira deve ser isenta de defeitos e retirada aleatoriamente de vigas. As áreas onde são colocados os anéis metálicos e parafusos de fixação do corpo-de-prova devem estar isentas de defeitos visíveis que possam influenciar os resultados dos ensaios. As peças de madeira para montar os corpos-de-prova de ligações devem ser retiradas da mesma viga, e não se deve retirar da mesma viga peças para montarem mais do que três corpos-de-prova para ensaio de ligações. Cada corpo-de-prova é composto por três peças com as formas e dimensões mostradas nas figuras 4 e 5 e dadas nas tabelas 2 e 3.

A espessura das peças externas (cobrejuntas) deve ser a metade da espessura da peça interna. A espessura da peça interna (peça principal) deve ser como dada na tabela 2.

A porca e os parafusos devem ser apertados manualmente e o diâmetro interno das arruelas deve ser adequado ao diâmetro do parafuso de fixação do corpo-de-prova, como especificado na norma British Standards Institution-BS 5268 : parte 2.

O espaçamento entre os parafusos de fixação do corpo-de-prova deve seguir as recomendações reproduzidas nas figuras 4 e 5, bem como as dimensões dadas na tabela 3.

A metodologia para realização dos ensaios é semelhante ao descrito no item 2.1.2 da Norma Européia e os gráficos são idênticos aos apresentados nas figuras 2 e 3.

TABELA 2 - Espessuras para ligações de peças com conectores da categoria B (parafusos, pregos, chapas com dentes estampados, anéis metálicos fechados, placas cisalhantes, etc.)-BSI 6948.

Tipos de conectores	Dimensões de referência d	Direção do carregamento	Espessura das peças internas
anéis conector	altura do anel	paralela e perpendicular	3d mas não menor que 50 mm

Fonte: Norma BSI (British Standards Institution BS 6948 - 1989)

Onde:

d = altura do anel conector.

TABELA 3 - Distâncias da extremidade e da borda para conectores da categoria B (ver figuras 4 e 5) - BSI 6948.

Tipos de conectores	Direção de carregamento	Dimensões (em mm)				
		a		b		c
		Compressão	Tração	Compressão	Tração	
Anéis conectores	paralela	$0,5(dc+38)$	$dc+75$	50	---	$0,5(dc+25)$
	perpendicular	$0,5(dc+38)$		50	---	$0,5(dc+25)$

Fonte: Norma BSI (British Standards Institution BS 6948 - 1989)

onde:

dc = é o diâmetro interno do anel conector.

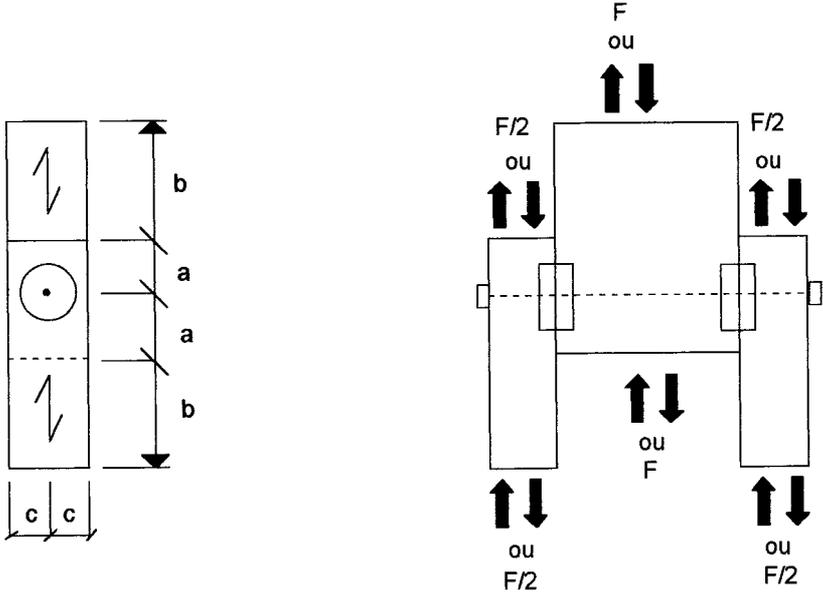


FIGURA 4 - Ensaio com carregamento paralelo às fibras

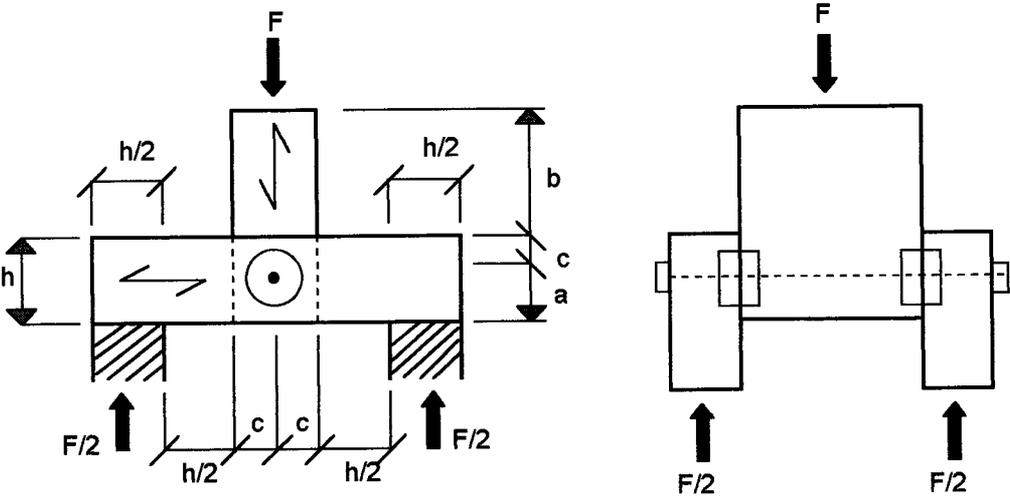


FIGURA 5 - Ensaio com carregamento perpendicular às fibras

2.1.4 - Norma ISO 6891 (International Organization for Standardization 6891 - 1983)

Neste documento estão contidas recomendações a respeito das ligações feitas com conectores do tipo anéis metálicos fechados, para a determinação das características de resistência e de deformação. Os princípios gerais são semelhantes ao da Norma Européia no item 2.1.2.

Quando necessárias para completar o assunto, tais como tipos específicos do parafuso de fixação do corpo-de-prova, as informações devem ser obtidas separadamente em outras partes desta norma internacional ISO.

A determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira segue orientação da norma ISO 6891, dada separadamente deste assunto.

A metodologia adotada por esta norma para realização dos ensaios é semelhante à da Norma Européia no item 2.1.2. Por isso, não será descrita neste item. Os gráficos são idênticos aos apresentados nas figuras 2 e 3.

2.1.5 - Norma NDS (National Design Specification - 1991)

A norma NDS (Especificação Nacional de Projeto) para construção em madeira, apresenta detalhadamente os critérios de dimensionamento de ligações com anéis metálicos fechados nas dimensões de 64 mm e 102 mm de diâmetro.

Os anéis metálicos fechados utilizados nas ligações das peças de madeiras deverão ser do tipo SAE 1010, feito de aço carbono enrolado quente, segundo SAE J412 (1989).

As dimensões para os anéis metálicos fechados de 64 mm e 102 mm são fornecidas na tabela 4. Os parafusos usados nas ligações com peças de madeira deverão seguir as recomendações da norma ANSI/ASME Standard B 18 2 1 (1981).

Na montagem dos corpos-de-prova para a realização dos ensaios, primeiramente, nas peças de madeira onde são encaixados os anéis, faz-se uma ranhura com profundidade igual à metade da altura do anel. O diâmetro do

furo para o parafuso de fixação do corpo-de-prova deve seguir a dimensão dada na tabela 4. As dimensões das porcas e arruelas devem seguir as especificações dadas na tabela 4. Sempre deverão ser usadas uma porca e uma arruela em cada parafuso, nas ligações.

A terminologia utilizada pela norma NDS será descrita a seguir, pois seu conhecimento é necessário na ocasião da montagem das peças de ligações em madeira:

a - Distância à Borda = é a distância, medida perpendicularmente às fibras, da borda da peça até o centro do anel mais próximo. Quando uma peça é carregada perpendicularmente às fibras, a borda carregada deve ser definida como a borda próxima à posição onde carga está agindo. A borda descarregada deve ser definida como a borda oposta à borda carregada, ver figura 6.

b - Distância à Extremidade = é a distância, medida paralelamente às fibras, da extremidade da peça até o centro do anel mais próximo. Se a extremidade da peça não for cortada num ângulo reto com seus eixos longitudinais, a distância à extremidade, medida paralelamente ao eixo longitudinal de qualquer ponto na metade do centro do diâmetro do anel transversal, não deve ser menor que a distância à extremidade requerida para uma peça cortada a 90°. Nunca a distância perpendicular do centro de um anel com a extremidade cortada inclinadamente em uma peça, deve ser menor que a referida distância à borda, ver figura 7.

c - Espaçamento = é a distância entre os centros dos anéis medida ao longo de uma linha ligando seus centros, ver figura 6.

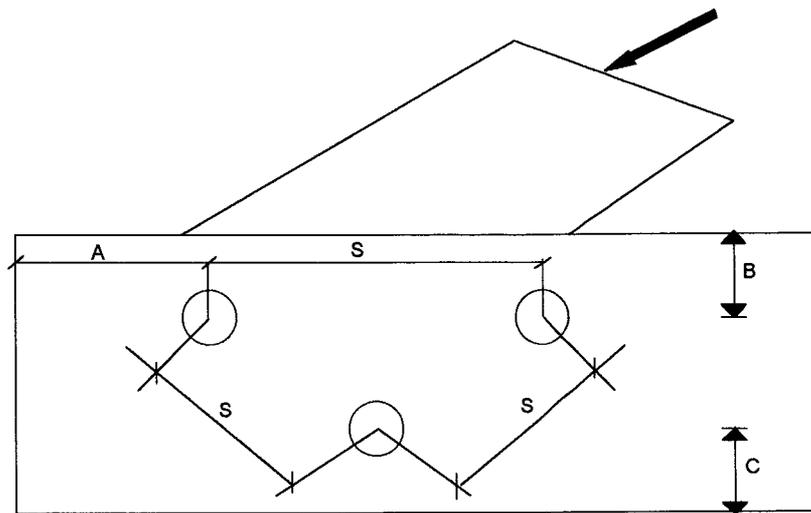


FIGURA 6 - Geometria das conexões para anéis

Onde:

A = distância à extremidade;

B = distância à borda descarregada;

C = distância à borda carregada;

S = espaçamento.

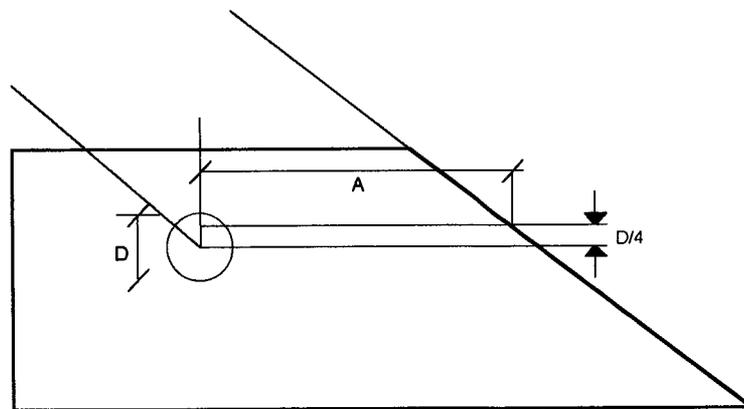


FIGURA 7 - Distância à extremidade para peças com extremidades cortadas inclinadamente

Onde:

A = distância à extremidade;

D = diâmetro do anel conector.

TABELA 4 - Dimensões características para anéis metálicos fechados

ANÉIS METÁLICOS FECHADOS	64 mm	102 mm
Anel:		
diâmetro interno	64 mm	102 mm
espessura do anel	4 mm	5 mm
profundidade do anel (altura do anel)	19 mm	25 mm
Encaixe:		
diâmetro interno	64 mm	102 mm
largura	4,5 mm	5 mm
profundidade	9,50 mm	13 mm
Diâmetro do furo do parafuso em peças de madeira	14 mm	21 mm
Arruelas:		
* circular (com ferro maleável):		
diâmetro	54 mm	76 mm
* circular (com ferro manufaturado):		
diâmetro	35 mm	51 mm
espessura	2 mm	4 mm
* placa retangular:		
comprimento do lado	51 mm	76 mm
espessura	3 mm	5 mm

Fonte: Norma NDS (National Design Specification - 1991)

2.1.6 - Norma Eurocode N°5 (Commission of the European Communities - 1987)

Neste documento há recomendações a respeito dos métodos de ensaio da ligação entre peças estruturais de madeira. A capacidade de carga x deformação específica deve ser determinada com base nos ensaios realizados em conformidade com a ISO 6891. Deve-se levar em consideração a umidade

nos corpos-de-prova, pois essa propriedade física tem influência na resistência das peças a serem ensaiadas.

Deve-se levar em consideração que a capacidade de carga de uma ligação com múltiplos anéis será freqüentemente menor que a soma das capacidades dos anéis individuais e que alguns tipos de carga flutuante podem causar a redução na capacidade, especialmente quando a tensão se alterna entre tração e compressão (sob ação de vento ou de cargas móveis).

O arranjo das ligações na madeira e o tamanho dos anéis metálicos fechados, espaçamentos e distâncias para as extremidades ou borda da madeira, devem ser escolhidas de maneira que as resistências esperadas possam ser obtidas.

Quando uma força agir num ângulo com as fibras da peça de madeira, a influência da tensão na tração perpendicular às fibras deve ser levada em consideração.

A menos que um cálculo mais refinado seja feito, deveria ser mostrado que a condição empírica seguinte é satisfeita:

$$v_d \leq 2 f_{vd} b_e \frac{t}{3}$$

onde:

v_d = cisalhamento de cálculo;

t = é a espessura da peça;

b_e = é a distância da extremidade ao ponto mais distante dos pregos, parafusos ou anéis metálicos fechados, ver figuras 8a e 8b;

f_{vd} = resistência de cisalhamento de cálculo.

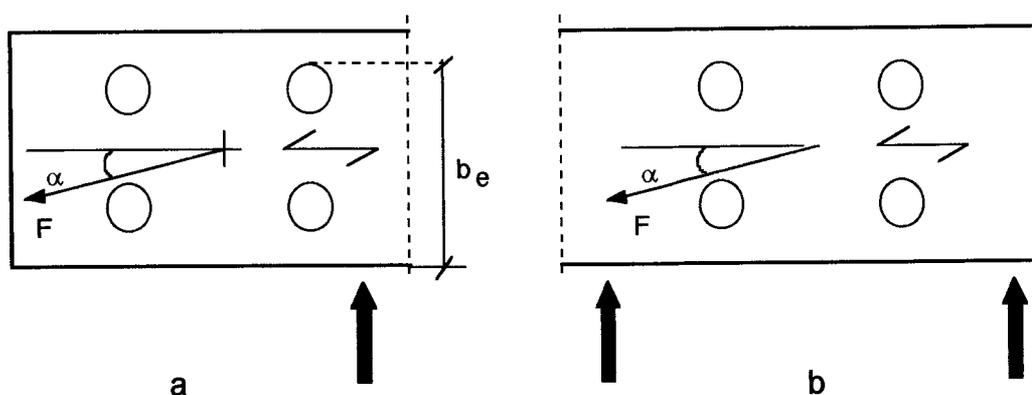


FIGURA 8 - No caso a) $v = F \text{sen} \alpha$. No caso b) $v = 0,5F \text{sen} \alpha$. Os círculos significam pregos, tarugos, parafusos, anéis metálicos fechados, etc.

Fonte: EUROCODE 5. (1987), p. 67.

A Norma Européia (European Committee for Standardization-EN 912 :199) explica detalhadamente os tipos de anéis conectores utilizados com elemento de ligação em peças de madeira.

2.1.7 - Norma DIN 1052 - parte 2 (Deutsches Institut für Normung-1052- parte 2 - 1988)

Entre as recomendações deste documento, estão as referentes ao dimensionamento e construção de ligações com anéis metálicos fechados em estruturas de madeiras com diferentes pesos específicos, e painéis com produtos derivados da madeira.

Na realização dos ensaios devem ser seguidas as recomendações dadas na DIN 1052 parte 1 - uso de madeira estrutural; projeto e construção; e a DIN 1052 parte 3 - uso de madeira estrutural; construção em madeiramento; projeto e construção.

Os anéis usados na realização das ligações devem seguir as especificações dadas na DIN 1725-parte 2.

Na tabela 5 a seguir estão mostradas as dimensões dos anéis usados tanto para as madeiras duras, quanto para as madeiras moles. Esses anéis, por

apresentarem as dimensões especificadas na tabela 5, podem ser inseridos em extremidades de madeira laminada colada cortadas no esquadro a 90° ou em um ângulo qualquer.

O parafuso com cabeça hexagonal e porca usado como elemento de fixação dos corpos-de-prova para anéis conectores com diâmetro de 65 mm, 80 mm, 95 mm e 126 mm são da classe M₁₂ e o parafuso com cabeça hexagonal e porca usado para anéis conectores com diâmetro de 160 mm e 190 mm são da classe M₁₆. Essas classes indicam as especificações do material que é feito o parafuso e suas respectivas bitolas. Arruelas circulares de 58 mm de diâmetro e 6 mm de espessura ou arruelas quadradas de 6 mm de espessura com uma largura de 50 mm são utilizadas para parafusos da classe M₁₂, arruelas circulares de 68 mm de diâmetro e 6 mm de espessura ou arruelas quadradas de 6 mm de espessura com uma largura de 60 mm são utilizadas para parafusos da classe M₁₆.

A distância do centro do anel até a extremidade da peça deve ser no mínimo de 120 mm, e os anéis metálicos fechados devem ser encaixados na madeira.

TABELA 5 - Especificações mínimas para ligações com anéis do tipo A (anéis metálicos fechados).

TIPO DE ANEL	DIMENSÕES DOS ANÉIS		
	Diâmetro do anel d_a (mm)	Altura h_a (mm)	Espessura s (mm)
A (Anéis metálicos fechados)	65	30	5
	80	30	6
	95	30	6
	126	30	6
	128	45	8
	160	45	10
	190	45	10

Fonte: Norma DIN 1052 - parte 2 (Deutsches Institut für Normung-1052- parte 2 - 1988).

2.1.8 - Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN / CSA 086.1 - M 89 - 1993)

Neste documento são tratados os critérios para projeto estrutural e avaliação de estruturas ou elementos estruturais de madeira ou produtos de madeira baseado no método dos estados limites, incluindo madeira maciça, laminada colada, compensados, ligações, etc.

As ligações das peças de madeira devem ser feitas por anéis metálicos fechados e parafuso passante para manter as peças justapostas.

Os anéis utilizados devem ser de aço carbono enrolado quente, SAE 1010. O anel deverá ser adaptado adequadamente na ranhura feita na peça.

A seguir são mostradas nas tabelas 6 e 7 as dimensões dos anéis conectores e as dimensões dos encaixes dos anéis conectores na madeira.

TABELA 6 - Dimensões dos anéis metálicos fechados

ANÉIS	64mm	102mm
Diâmetro interno	64 mm	102 mm
Espessura do anel	4,1 mm	4,9 mm
Altura do anel	19 mm	25,4 mm

Fonte: Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN / CSA 086.1 - M 89 - 1993)

TABELA 7 - Dimensões dos encaixes dos anéis metálicos fechados na madeira

ENCAIXE DOS ANÉIS	64mm	102mm
Diâmetro do furo do parafuso	14,3 mm	20,6 mm
Diâmetro interno	64 mm	102 mm
Largura	4,6 mm	5,3 mm
Altura	9,8 mm	13,1 mm

Fonte: Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN / CSA 086.1 - M 89 - 1993)

2.1.9 - Norma ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 7190 - 1982)

Neste documento são tratados aspectos referentes ao projeto e execução de estruturas de madeiras, tais como pontes e pontilhões, coberturas, pisos e cimbramentos. Não se aplicam para estruturas de madeira laminada ou compensado. Tal norma se fundamenta no Método das Tensões Admissíveis.

Ainda segundo a NBR 7190 (1982), os anéis metálicos usados nas ligações devem ser instalados em ranhuras previamente feitas nas peças de madeira com ferramentas apropriadas. O espaçamento mínimo entre os centros dos anéis metálicos na direção das fibras, será $1,5D + 7,5$ cm no caso de esforço paralelo às fibras, e $D + 4,0$ cm no caso de esforço normal às fibras. O espaçamento mínimo na direção normal às fibras será $D + 4,0$ cm no caso de esforço paralelo às fibras, e $D + 6,5$ cm, no caso de esforço normal às fibras. A distância mínima do centro de qualquer conector à extremidade da peça será $D + 7,5$ cm, no caso de esforço à tração paralela às fibras, e $D + 4,0$ cm, no caso de esforço à compressão paralela às fibras. A distância mínima entre o centro de qualquer anel e a borda da peça será $0,5D + 2,0$ cm. Para esforço normal às fibras, no lado comprimido será elevado para $0,5D + 4,5$ cm. A letra D citada anteriormente indica o diâmetro interno do anel metálico fechado utilizado na ligação das peças.

O diâmetro mínimo do parafuso será de 12 mm, quando os anéis apresentarem um diâmetro externo máximo de 75 mm, e será de 19 mm, quando o diâmetro externo for superior a esse valor.

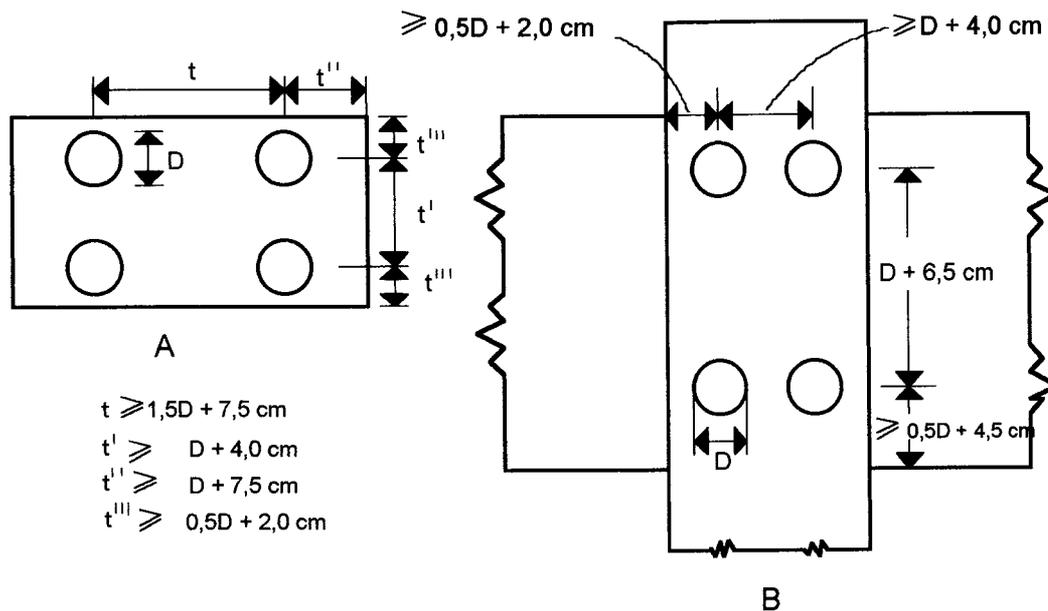


FIGURA 9 - Ligações com anéis metálicos fechados

2.2 - ESTUDO DAS NORMAS PARA CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO

2.2.1 - Norma Australiana (Standards Association of Australia - 1994)

Os critérios de dimensionamento adotados pela norma australiana para projetos de ligações, utilizando anéis metálicos fechados como elementos de fixações, baseiam-se no método dos estados limites.

As resistências características para anéis metálicos fechados, utilizando madeira verde são dados na tabela 11. Admite-se que a ruptura das peças ligadas se dá por cisalhamento.

A resistência nominal q , para um anel metálico fechado deve ser calculado utilizando-se a expressão a seguir:

$$q = k_1 k_{15} k_{18} Q_k$$

Onde:

k_1 = fator de duração da carga, dado na tabela 8;

k_{15} = 1,0 para madeira verde;

= fator para madeira seca, dado na tabela 9;

k_{18} = 1,0 para cargas aplicadas à compressão paralela às fibras, e para cargas aplicadas perpendicular às fibras;

= fator para cargas aplicadas à tração paralela às fibras, dado na tabela 10;

(Valores de k_{18} para direções intermediárias podem ser obtidos através do uso da fórmula de Hankinson);

Q_k = resistência característica, dado na tabela 11.

TABELA 8 - Fator de duração da carga para resistência

Duração da carga	Tempo efetivo da carga máxima	Fator de modificação (k_1) [*]	
		Resistência da madeira sólida	Resistência dos anéis carregados lateralmente ⁺
Instântanea	5 segundos	1,00	1,14
Período padrão	5 minutos	1,00	1,00
Período curto	5 horas	0,97	0,86
Período médio	5 dias	0,94	0,77
Período longo	5 meses	0,80	0,69
Permanente	50 anos ou +	0,57	0,57

Fonte: Norma Australiana (Standards Association of Australia - 1994)

* Para anéis metálicos fechados carregados a tração e para a resistência do aço em ligação, $k_1=1,00$

+ Valores típicos de k_1 para várias combinações de carga são dados na tabela B₁, Apêndice B - Norma Australiana (1994).

TABELA 9 - Fator K_{15} para anéis metálicos fechados na madeira seca ($\leq 15\%$)

Grupo das espécies	JD1,JD2,JD3							JD4	JD5	JD6
	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	todos		
Ângulo da carga com às fibras										
Fator K_{15}	1,25	1,29	1,33	1,38	1,42	1,46	1,50	1,25		

Fonte: Norma Australiana (Standards Association of Australia - 1994)

TABELA 10 - Fator K_{18} para anéis metálicos fechados com cargas à tração

Tamanho do anel (mm)	Fator k_{18}		
	Remoção do anel para extremidade das peças	Anel na extremidade das peças	
		Madeira seca $\leq 15\%$	Madeira verde $\geq 25\%$
64	1,0	1,0	0,5
102	0,8	0,6	0,3

Fonte: Norma Australiana (Standards Association of Australia - 1994)

TABELA 11 - Resistência característica para um anel metálico fechado, madeira verde ($\geq 25\%$)

Grupo de ligações	Diâmetro interno do anel (mm)	Espessura da madeira (mm)		Resistência característica 'por um único anel' (N)						
		Anel com um lado	Anel com dois lados	Ângulo da carga com às fibras						
				0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
J ₁	64	-	38	40100	38100	33300	28400	24800	22700	2200
		25	50	60300	57000	49900	42500	37100	37100	33000
	102	-	50	77200	74800	69400	63000	57600	54300	53200
		38	75	105100	102100	94400	85600	78200	73500	72100
J ₂	64	-	38	32100	30300	26200	22200	19210	17490	16950
		25	50	47900	45200	39100	33300	28800	26300	25500
	102	-	50	66400	63400	57000	49500	44100	40800	39800
		38	75	90000	85900	77200	67400	60000	55600	55900
J ₃	64	-	38	30000	27800	23300	19040	16110	14460	13950
		25	50	45200	41800	35000	28600	24200	21700	21000
	102	-	50	60700	57000	48200	40100	34400	31000	30000
		38	75	77500	73000	63100	53100	45900	41800	40400
J ₄	64	25	38	21400	20800	19410	17730	16340	15430	15200
		-	50	29400	28600	26700	24400	22400	21200	20800
	102	38	64	32100	31200	29100	26700	21200	23300	22800
		-	50	46800	44500	39200	33700	29500	27100	26300
		38	-	50200	48500	45200	41100	37700	35400	34700
		50	75	62000	59200	52700	45900	40600	37400	36400
J ₅	64	25	38	17190	16210	14050	11900	10310	9400	9100
		-	50	25000	23700	20800	17800	15540	14260	13820
	102	38	64	25700	21600	23300	21300	19610	18570	18200
		-	50	37100	35300	31200	27000	23800	21900	21200
		38	-	40100	39000	36100	32800	30100	28300	27800
J ₆	64	25	38	13820	13080	11360	96400	8390	7650	7410
		-	50	20200	19240	16980	14630	12840	11800	11460
	102	38	64	20600	19980	18600	16980	15640	14790	14490
		-	50	31000	29400	25800	22100	19340	17730	17190
J ₆	102	38	-	32000	31100	28800	26300	24100	22700	22200
		50	75	37100	35800	32600	29100	26300	24500	23900

Fonte: Norma Australiana (Standards Association of Australia - 1994)

A resistência nominal, Q , para uma ligação contendo n anéis metálicos fechados para resistir a cargas diretas é dado pela seguinte expressão:

$$Q = k_{17} n q$$

Onde:

k_{17} = fator para múltiplas ligações, dado na tabela 12;

q = resistência nominal de um único anel metálico fechado determinado através da expressão anterior.

TABELA 12 - Valores de k_{17} para uso em projeto de ligações com anéis metálicos fechados múltiplos

Tipo de ligação	Valores de K_{17}				
	$N_a \leq 4$	$N_a = 5$	$N_a = 10$	$N_a = 15$	$N_a \geq 16$
Madeira seca	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Madeira verde (limitação não transversal)	1,0	0,95	0,80	0,55	0,50
Madeira verde (limitação transversal)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Fonte: Norma Australiana (Standards Association of Australia - 1994)

N_a = número total das filas de anéis metálicos fechados por face;

* = o termo "limitação transversal" refere-se à possibilidade da limitação da retração da madeira devida ao detalhe da ligação.

2.2.2 - Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN/CSA 086.1 - M89 - 1993)

Os critérios de resistência adotados pela Norma Canadense para projetos de ligações, utilizando anéis metálicos como elemento de fixação, baseiam-se também no método dos estados limites.

O valor modificado da resistência lateral de um anel conector, P_r , Q_r ou N_r , determinado pelas equações que seguem, mostram ser igual ou equivalente ao efeito das cargas de majoração.

* - Para carregamento paralelo às fibras:

$$P_r = \phi P_u n_f J_f$$

* - Para carregamento perpendicular às fibras:

$$Q_r = \phi Q_u n_f J_f$$

* - Para cargas com ângulo, θ , com as fibras: utilizar a equação de Hankinson.

A norma Canadense apresenta várias tabelas de coeficientes de minoração dados em função das diferentes variáveis envolvidas no projeto. Essas variáveis são especificadas e denotadas como seguem:

$$\phi = 0,6;$$

$$P_u = p_u (K_D K_{SF} K_T);$$

p_u = valor de projeto da resistência paralela às fibras, ver tabela 13, kN;

$$Q_u = q_u (K_D K_{SF} K_T);$$

q_u = valor de projeto da resistência perpendicular às fibras, ver tabela 14, kN;

$$J_f = J_G J_C J_T J_o J_P$$

J_G = fator de modificação, ver tabela 18;

J_C = fator de configuração mínima, ver tabelas 19, 20, 21;

J_T = fator espessura, ver tabela 22;

J_o = fator do anel metálico fechado para orientação às fibras;

= 1,00 para instalação ao lado das fibras;

= 0,67 para extremidades das fibras e outras instalações;

J_P = fator para penetração do parafuso, ver tabela 23.

TABELA 13 - Resistência paralela às fibras, p_u , do anel metálico fechado único para madeira (kN)

Espécie	Anel Metálico Fechado	
	2 1/2"(64mm)	4"(102mm)
Douglas Fir-Larch	31	55
Hem-Fir	27	49
Spruce-Pine-Fir	23	45
Northern Species	21	42

Fonte: Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN/CSA 086.1 - M89 - 1993)

TABELA 14 - Resistência perpendicular às fibras, q_u , do anel metálico fechado para madeira (kN)

Espécies	Anel Metálico Fechado	
	2 1/2"(64mm)	4"(102mm)
Douglas Fir-Larch	22	42
Hem-Fir	18	35
Spruce-Pine-Fir	17	31
Northern Species	15	28

Fonte: Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN/CSA 086.1 - M89 - 1993)

TABELA 15 - Fator de duração da carga, K_D

Duração da carga	K_D	Notas explanatórias
Período curto	1,15	Quando a duração do carga não exceder a 7 dias
Período padrão	1,00	Quando exceder o período curto e não ultrapassar o período permanente
Permanente	0,65	Quando a duração da carga for por um período maior que o período padrão

Fonte: Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN/CSA 086.1 - M89 - 1993)

Nota: O fator de duração da carga é escolhido pelo profissional no cálculo do projeto.

TABELA 16 - Fator da condição de serviço, K_{SF} , para anel metálico fechado

Condição da madeira no tempo de fabricação	Teor de umidade para madeira a $\leq 15\%$		Teor de umidade para madeira verde $> 15\%$		Detalhe da ligação	Ângulo da carga com as fibras (graus)
	Seca	Úmida	Seca	Úmida		
Anéis para madeira	1,00	0,67	0,80	0,67	todos	todos

Fonte: Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN/CSA 086.1 - M89 - 1993)

TABELA 17 - Fator tratamento retardante-fogo, k_T , para anéis metálicos fechados

Tipo de conector	k_T
Anel	0,80

Fonte: Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN/CSA 086.1 - M89 - 1993)

TABELA 18 - Fatores de modificação, J_G , para ligação com anéis metálicos fechados e parafusos com cobrejuntas de madeira

Prop. da área	Menor de Am e As	Número de anéis em uma fila										
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,5	<8000	1,00	0,92	0,84	0,76	0,68	0,61	0,55	0,49	0,43	0,38	0,34
	8001 a 12000	1,00	0,95	0,88	0,82	0,75	0,68	0,62	0,57	0,52	0,48	0,43
	12001 a 18000	1,00	0,97	0,93	0,88	0,82	0,77	0,71	0,67	0,63	0,59	0,55
	18001 a 26000	1,00	0,98	0,96	0,92	0,87	0,83	0,79	0,75	0,71	0,69	0,66
	26001 a 42000	1,00	1,00	0,97	0,94	0,90	0,86	0,83	0,79	0,76	0,74	0,72
	> 42000	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	0,88	0,85	0,82	0,80	0,78	0,76
	1,0	<8000	1,00	0,97	0,92	0,85	0,78	0,71	0,65	0,59	0,54	0,49
8001 a 12000	1,00	0,98	0,94	0,89	0,84	0,78	0,72	0,66	0,61	0,56	0,51	
12001 a 18000	1,00	1,00	0,97	0,93	0,89	0,85	0,80	0,76	0,72	0,68	0,64	
18001 a 26000	1,00	1,00	0,99	0,96	0,92	0,89	0,85	0,83	0,80	0,78	0,75	
26001 a 42000	1,00	1,00	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88	0,85	0,84	0,82	0,80	
> 42000	1,00	1,00	1,00	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,87	0,86	0,85	

Fonte: Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN/CSA 086.1 - M89 - 1993)

Am = área total da seção transversal da peça principal, mm²;

A_s = soma da área total da seção transversal das peças laterais, mm^2 ;

Proporção da área = o menor de A_m/A_s e A_s/A_m .

Nota: Para proporção da área entre 0,5 e 1,0 interpolar entre valores tabulados.

Para proporções da área menores que 0,5, extrapolar para valores tabelados.

TABELA 19 - Valores de J_c para distância à borda dos anéis metálicos fechados na madeira

Distância à borda (mm)	Anéis de 2 1/2" ou 64 mm			Anéis de 4" ou 102 mm		
	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$ até 90°	$\theta = 15^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 45^\circ$ até 90°
45	0,94	0,88	0,83	-	-	-
50	0,97	0,91	0,87	-	-	-
55	1,00	0,94	0,90	-	-	-
60	1,00	0,98	0,93	-	-	-
65	1,00	1,00	0,97	-	-	-
70	1,00	1,00	1,00	0,93	0,88	0,83
75	1,00	1,00	1,00	0,97	0,91	0,86
80	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,89
85	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,93
90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96
95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Fonte: Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN/CSA 086.1 - M89 - 1993)

(1) No ângulo da carga com as fibras $\theta = 0^\circ$, a mínima distância à borda para um anel conector será um valor de $J_c = 1,00$. Para valores intermediários de θ , poderá ser feita interpolação.

(2) Valores de J_c aplicados para o único carregamento da distância à borda. Mínima distância à borda para a borda carregada ou não carregada é 40 mm para anéis de 2 1/2", e 65 mm para anéis de 4".

TABELA 20 - Valores de J_c para distância à extremidade dos anéis metálicos fechados na madeira

Distância à extremidade		Compressão						Tração	
P/ peças	P/ peças	Anéis de 2 1/2" (64 mm)			Anéis de 4" (102 mm)			Anéis de 2 1/2" (64 mm)	Anéis de 4" (102 mm)
≥ 65 mm de espessura	< 65 mm de espessura	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 90^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 90^\circ$	$\theta = 0^\circ-90^\circ$	$\theta = 0-90^\circ$
65	100	0,63	-	-	-	-	-	-	-
70	105	0,67	0,64	0,62	-	-	-	0,62	-
75	115	0,71	0,67	0,65	-	-	-	0,65	-
80	120	0,74	0,70	0,68	-	-	-	0,68	-
85	130	0,78	0,73	0,70	0,64	-	-	0,70	-
90	135	0,82	0,77	0,73	0,67	0,64	0,63	0,73	0,63
95	145	0,85	0,80	0,76	0,71	0,67	0,65	0,76	0,65
100	150	0,89	0,83	0,78	0,74	0,70	0,67	0,78	0,67
105	160	0,93	0,86	0,81	0,77	0,72	0,69	0,81	0,69
110	165	0,96	0,89	0,84	0,80	0,75	0,71	0,84	0,71
115	175	1,0	0,92	0,86	0,83	0,77	0,73	0,86	0,73
120	180	1,0	0,95	0,89	0,87	0,80	0,75	0,89	0,75
125	190	1,0	0,98	0,92	0,90	0,82	0,77	0,92	0,77
130	195	1,0	1,0	0,94	0,93	0,85	0,79	0,94	0,79
135	205	1,0	1,0	0,97	0,96	0,87	0,82	0,97	0,82
140	210	1,0	1,0	1,0	0,99	0,90	0,84	1,0	0,84
145	220	1,0	1,0	1,0	1,0	0,92	0,86	1,0	0,86
150	225	1,0	1,0	1,0	1,0	0,95	0,88	1,0	0,88
155	235	1,0	1,0	1,0	1,0	0,97	0,90	1,0	0,90
160	240	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,92	1,0	0,92
165	250	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,94	1,0	0,94
170	255	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,96	1,0	0,96
175	265	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,98	1,0	0,98
180	270	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Fonte: Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN/CSA 086.1 - M89 - 1993).

Nota: Valores de θ são mostrados para o ângulo da carga com as fibras. Para valores intermediários de θ que não são mostrados nessa tabela, pode-se usar a interpolação.

TABELA 21 - Espaçamento (mm) dos anéis metálicos fechados para valores de J_c entre 0,75 e 1,0

Ângulo da carga com as fibras, θ (graus)	Ângulo do anel com as fibras, β (graus)	Espaçamento mínimo (mm) entre anéis medido centro a centro			
		Anéis de 2 1/2" (64 mm)		Anéis de 4" (102 mm)	
		$J_c = 0,75$	$J_c = 1,00$	$J_c = 0,75$	$J_c = 1,0$
0	0	90	170	125	230
	15	90	160	125	215
	30	90	135	125	185
	45	90	110	125	155
	60	90	100	125	140
	75	90	90	125	130
	90	90	90	125	125
15	0	90	150	125	205
	15	90	145	125	195
	30	90	130	125	180
	45	90	115	125	160
	60	90	105	125	145
	75	90	100	125	135
	90	90	95	125	135
30	0	90	130	125	180
	15	90	125	125	175
	30	90	120	125	165
	45	90	110	125	155
	60	90	105	125	145
	75	90	100	125	145
	90	90	100	125	140
45	0	90	110	125	150
	15	90	110	125	150
	30	90	110	125	150
	45	90	110	125	150
	60	90	105	125	145
	75	90	105	125	145
	90	90	105	125	145
60-90	0	90	90	125	125
	15	90	90	125	125
	30	90	90	125	125
	45	90	100	125	135
	60	90	100	125	145
	75	90	105	125	150
	90	90	110	125	150

Fonte: Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN/CSA 086.1 -

M89 - 1993)

Os valores do fator espessura (J_T), utilizado na equação dos critérios de dimensionamento (resistência), são tabelados para cada tipo de anel com seus respectivos números de faces.

TABELA 22 - Fator espessura, J_T , para anéis metálicos fechados na madeira

Tamanho do conector	Número de faces de contato das peças	Espessura da peça (mm)	J_T
Anéis de 2 1/2" (64 mm)	1	38	1,00
		25	0,85
	2	51	1,00
		38	0,80
Anéis de 4" (102 mm)	1	38	1,00
		25	0,65
	2	76	1,00
		64	0,95
		51	0,80
		38	0,65

Fonte: Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN/CSA 086.1 - M89 - 1993)

Outro fator necessário para a determinação nos critérios de dimensionamento, é o fator de penetração (J_P). Mostra que a resistência de penetração do anel na peça deve variar uniformemente e seus valores estão mostrados na tabela 23.

TABELA 23 - Fator de penetração, J_p , para anéis metálicos fechados usados com parafuso

Penetração do parafuso na peça a ser ligada (número de diâmetro do furo)						
Anéis	Penetração	Espécies				J_p
		Douglas Fir-Larch	Hem-Fir	Spruce- Pine-Fir	Northern Species	
Anéis de 2 1/2" (64 mm) e	Normal (mm)	8	10	10	11	1,00
Anéis de 4" (102 mm)	Mínimo (mm)	3,5	4	4	4,5	0,75

Fonte: Norma Canadense (Canadian Standards Association - CAN/CSA 086.1 - M89 - 1993)

Nota: Para penetrações intermediárias, pode ser feita interpolação usando valores de J_p entre 0,75 e 1,00.

2.2.3 - Norma NDS (National Design Specification - 1991)

Os critérios de resistência adotados pela norma NDS para o dimensionamento de ligações, utilizando anéis metálicos fechados como elemento de fixação baseiam-se no método das tensões admissíveis.

Alguns fatores de ajustamento utilizados no cálculo são especificados a seguir com seus respectivos valores:

C_D = fator de duração da carga;

C_M = fator da umidade em serviço.

O valor nominal de projeto deve ser multiplicado pelo fator de duração da carga, $C_D \leq 1,6$, especificado na tabela 24.

O fator de duração da carga de impacto não deve ser aplicado para anéis metálicos fechados.

TABELA 24 - Fator de duração da carga, C_D

Duração da carga	C_D	Cargas típicas de projeto
Permanente	0,9	Carga estática
Dez anos	1,0	Carga móvel
Dois meses	1,15	Carga de neve
Sete dias	1,25	Carga da construção
Dez minutos	1,6	Carga de vento/terremoto
Impacto	2,0	Carga de impacto

Fonte: Norma NDS (National Design Specification - 1991).

Os valores de projeto são para anéis metálicos fechados com madeira apresentando teor de umidade de (19%) ou menor e usando condições secas na maioria das vezes, para estruturas cobertas. Para anéis metálicos fechados na madeira verde ($\geq 30\%$) ou praticamente em equilíbrio ao ar ($19\% < \text{umidade} < 30\%$) ou quando os anéis metálicos são expostos ao uso a uma condição da umidade de serviço, os valores nominais de projeto devem ser multiplicados pelo fator da umidade em serviço, C_M , especificado na tabela seguinte:

TABELA 25 - Fator da umidade em serviço, C_M , para anéis metálicos fechados

Tipo de conector	Condições na madeira		Fator da umidade em serviço C_M
	No tempo de fabricação	Em serviço	
Anéis	Seca	Seca	1,0
	Parcialmente seca	Seca	Ver nota
	Úmida	Seca	0,8
	Seca ou úmida	Parcialmente seca ou úmida	0,67

Fonte: Norma NDS (National Design Specification - 1991).

Nota:

- * - madeira seca = teor de umidade < 19%
- * - parcialmente seca = $19\% \leq$ umidade < 30%
- * - madeira úmida = teor de umidade \geq 30%

2.3 - CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS

As propriedades físicas da madeira mais importantes no âmbito deste estudo são a umidade e a densidade. Comentários sobre elas são apresentados a seguir.

2.3.1 - Umidade

A madeira, quando originada de árvores recém cortadas, apresenta um alto teor de umidade, que tende a diminuir espontânea e lentamente até a umidade de equilíbrio ao ar, esteja a madeira aplicada ou não.

Segundo GALVÃO & JANKOWSKY (1985), as moléculas de água presentes na madeira e que evaporam rapidamente após o seu corte, recebem o nome de água de capilaridade ou água livre. E, as moléculas de água localizadas no interior da parede celular são denominadas por água de impregnação.

Após o corte da árvore, a madeira apresenta umidade variando de 40 a 140% conforme a espécie. A perda rápida da água livre pode provocar tensões capilares elevadas, geralmente responsáveis pelos defeitos de secagem designados por colapso e favo de mel. Isso ocorre, geralmente, quando a secagem é mal conduzida em madeiras excessivamente úmidas. A água livre evapora-se facilmente até atingir o ponto de saturação, entre 25 a 30%. Abaixo do ponto de saturação existe apenas a água de impregnação, que é evaporada mais lentamente até atingir a umidade de equilíbrio com as condições do ambiente, HELLMEISTER (1983).

Segundo a NBR-7190 (1996), para a determinação da umidade as dimensões dos corpos-de-prova são de 20 mm x 30 mm (seção retangular) e 50 mm (comprimento ao longo das fibras). Tais corpos-de-prova devem ser isentos de defeitos. Devem ser pesados para a obtenção da massa em gramas (m_1) antes de iniciar o processo de secagem, depois colocam-se os corpos de prova em estufa a $100 \pm 3^\circ\text{C}$ até a água da madeira evaporar-se e atingir uma massa constante entre duas pesagens sucessivas num intervalo de 6 horas.

A umidade é determinada segundo a expressão :

$$U = \frac{m_1 - m_2}{m_2} 100$$

Onde:

U = é a umidade procurada;

m_1 = é a massa, em gramas, do corpo-de-prova antes de secar;

m_2 = é a massa, em gramas, do corpo-de-prova, na condição seca.

A umidade é uma propriedade física muito importante na determinação da resistência e elasticidade da madeira, pois quando a madeira está no seu estado verde (umidade $\geq 25\%$) é menos resistente do que a madeira no seu estado em equilíbrio ao ar (umidade $\leq 12\%$).

2.3.2 - Densidade

A densidade é uma propriedade física bastante significativa, quando a madeira é empregada na construção civil.

A densidade pode ser apresentada de várias formas. A mais conhecida é a densidade aparente, relação entre a massa e o volume na umidade em que se encontra a madeira. A outra é a densidade real, que consiste na relação entre a massa da madeira seca e o volume real correspondente. E, finalmente, a densidade básica (Specific Gravity), relação entre a massa da madeira seca e o volume da madeira na umidade na condição verde, PIGOZZO (1982).

Na determinação da densidade, segundo a NBR-7190 (1996), as dimensões dos corpos-de-prova são de 20 mm x 30 mm (seção retangular) e 50 mm (comprimento ao longo das fibras), é necessário medir os lados da seção retangular e seu comprimento.

A densidade aparente é determinada segundo a expressão:

$$\rho_U = \frac{m_U}{V_U}$$

Onde:

ρ_U =densidade aparente;

m_U =massa em quilogramas ou gramas dos corpos-de-prova, na umidade U ;

V_U =volume em metros cúbicos (ou centímetros cúbicos), na umidade U .

A porcentagem de vazios é tanto maior quanto menor a densidade aparente da madeira. Essa propriedade física tem uma influência importante na resistência da madeira.

2.4 - CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DAS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA

Neste item, será feita uma descrição sumária da metodologia de ensaio de madeiras na compressão paralela, na compressão normal e no cisalhamento.

2.4.1 - Compressão Paralela às Fibras

É uma propriedade mecânica da madeira que tem sido estudada por vários pesquisadores. Considerações minuciosas podem ser encontradas a

respeito do ensaio para determinação da resistência à compressão paralela às fibras e do módulo de elasticidade longitudinal no trabalho de PRATA (1989).

Segundo as normas COPANT (1972), ASTM (1981) e o método proposto pelo SET - LaMEM (1988), os corpos-de-prova para ensaio de compressão paralela às fibras apresentam as dimensões de 5 cm × 5 cm × 20 cm.

O projeto de revisão da norma NBR-7190 (1996), recentemente publicada, adota as seguintes dimensões para os corpos-de-prova: 5 cm x 5 cm (seção transversal) e 15 cm (comprimento ao longo das fibras). Para realizar os ensaios dos corpos-de-prova é necessária uma máquina de ensaio e dois relógios comparadores para medir as deformações. São feitas leituras das deformações até as proximidades do limite de proporcionalidade, depois faz-se a retirada dos relógios comparadores e o carregamento prossegue até ocorrer a ruptura do corpo-de-prova.

O projeto de revisão da norma NBR-7190 (1996), recomenda a determinação da resistência à compressão paralela e do módulo de elasticidade longitudinal para cada corpo-de-prova.

Mais detalhes podem ser encontrados no projeto de revisão da norma NBR-7190 (1996).

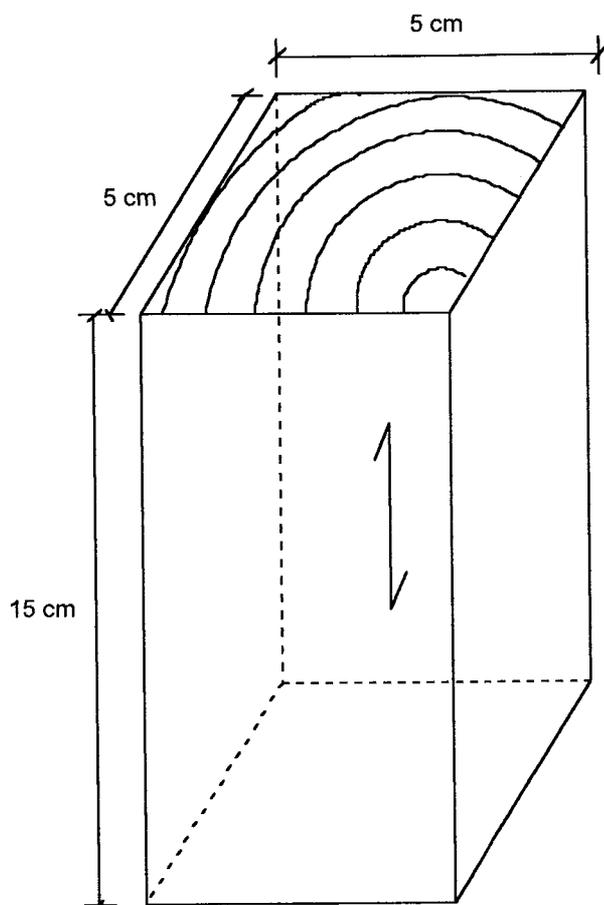


FIGURA 10 - Corpo-de-prova para ensaio de compressão paralela às fibras.

Fonte: Projeto de revisão da NBR-7190. (1996), anexo B.

2.4.2 - Cisalhamento

É também uma propriedade mecânica da madeira que tem sido estudada por vários pesquisadores. No trabalho de MENDES (1984), são apresentados detalhes referentes aos corpos-de-prova a ensaiar para determinação da resistência ao cisalhamento.

Segundo as normas COPANT (1972), os corpos-de-prova apresentam as dimensões de 5 cm × 5 cm × 6,5 cm. A ASTM (1981) recomenda as dimensões de 5 cm × 5 cm × 6 cm, exigindo o uso de máquina de ensaio com grande precisão.

O projeto de revisão da norma NBR-7190 (1996), mostra com mais detalhes as dimensões dos corpos-de-prova. O cálculo da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras é determinado para cada corpo-de-prova.

Mas detalhes podem ser encontrados no projeto de revisão da NBR-7190 (1996).

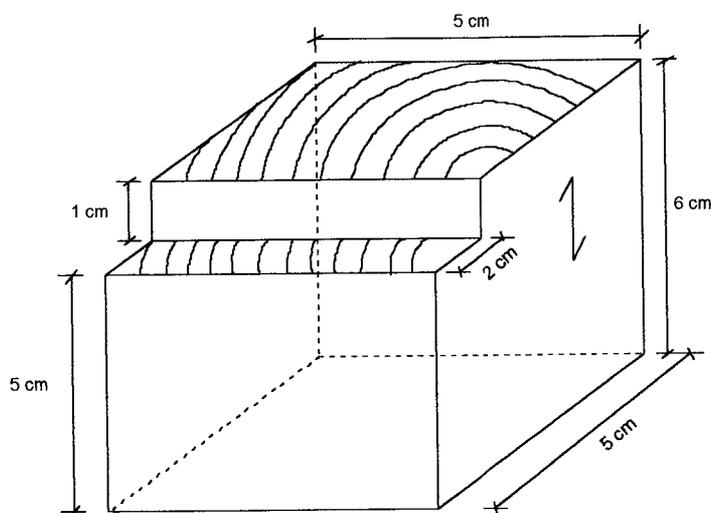


FIGURA 11 - Corpo-de-prova para ensaio de cisalhamento.

Fonte: ASTM. (1981), p. 90.

2.4.3 - Compressão Normal às Fibras

Também se constitui numa propriedade mecânica da madeira, que foi estudada por diversos pesquisadores, entre eles HELLMEISTER (1973). Mais recentemente, o trabalho de ALMEIDA & FUSCO (1989) propõe uma reavaliação nas dimensões dos corpos-de-prova sugeridas pelo LABORATÓRIO DE MADEIRAS E DE ESTRUTURAS DE MADEIRA (1988).

Segundo as normas ASTM (1981), COPANT (1972) e a proposta do LaMEM (1988), as dimensões utilizadas no corpo-de-prova são 5 cm x 5 cm x 15 cm.

DIAS (1994), apresentou um trabalho teórico e experimental a respeito da solicitação de compressão normal às fibras em várias espécies de madeira. Estudou diversas geometrias e propôs o emprego das dimensões 5 cm x 5 cm x 10 cm, com carregamento total do corpo-de-prova.

Recentemente, no projeto de revisão da norma NBR-7190 (1996), foram adotados as dimensões proposta por DIAS (1994). A resistência e o módulo de elasticidade são determinados através de um diagrama tensão x deformação específica. Mais detalhes podem ser encontrados no texto do projeto de revisão da norma NBR-7190 (1996).

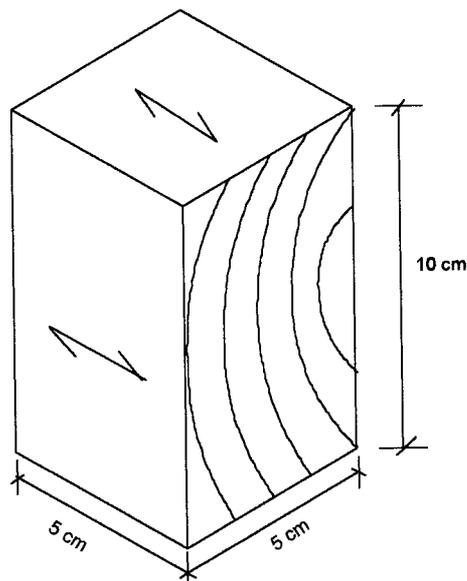


FIGURA 12 - Corpo-de-prova para ensaio de compressão normal às fibras.

Fonte: DIAS, A. A. (1994), p. 126.

2.5 - CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DOS MODOS DE RUPTURA

As rupturas são oriundas do arranjo de seus elementos anatômicos.

Segundo ALMEIDA (1990), as ligações transversais são comparadas a ligação do tipo solda por pontos, onde as pontuações aureoladas têm a função dos pontos de solda. Já as ligações entre os elementos longitudinais são realizados pelo entrelaçamento das cadeias de celulose de constituição dos elementos.

BODIG & JAYNE (1982), constataram que as madeiras juvenis apresentam fibras menos espessas que as correspondentes às madeiras adultas.

Durante a secagem, também são observadas várias formas de ruptura nas madeiras. Mais detalhes podem ser encontradas no trabalho de GALVÃO & JANKOWSKY (1985). Mas as rupturas descritas a seguir são as obtidas durante as realizações dos ensaios de caracterização mecânica através de corpos-de-prova.

2.5.1 - Compressão Paralela às Fibras

Para os corpos-de-prova sujeitos ao esforço de compressão paralela às fibras, são apresentados seis tipos de rupturas, segundo BODIG & JAYNE (1982).

- * (a) esmagamento;
- * (b) fenda em cunha;
- * (c) cisalhamento;
- * (d) fendilhamento;
- * (e) esmagamento e cisalhamento;
- * (f) fibrilação ou rolamento terminal das fibras.

Essas rupturas podem ser vistas na figura 13 a seguir:

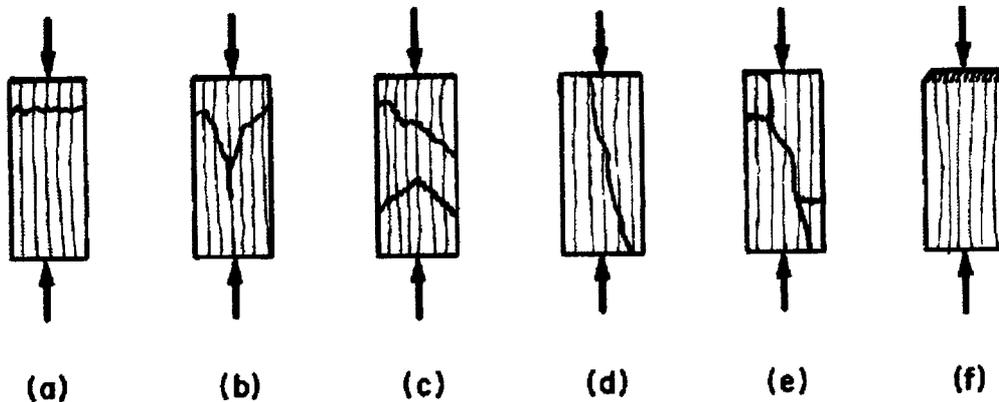


FIGURA 13 - Formas de ruptura dos corpos-de-prova sujeitos à compressão paralela às fibras.

Fonte: BODIG, G. J. & JAYNE, B. A. (1982), p. 291.

2.5.2 - Cisalhamento

Para os corpos-de-prova sujeitos ao esforço de cisalhamento, ocorre ruptura nas superfícies solicitadas. De acordo com ALMEIDA (1990), a resistência ao cisalhamento na direção radial é inferior à resistência ao cisalhamento na direção tangencial. Essas rupturas têm características frágeis. A figura 14 (a) mostra a ruptura por cisalhamento na superfície tangencial e a figura 14 (b) mostra a ruptura por cisalhamento na superfície radial.

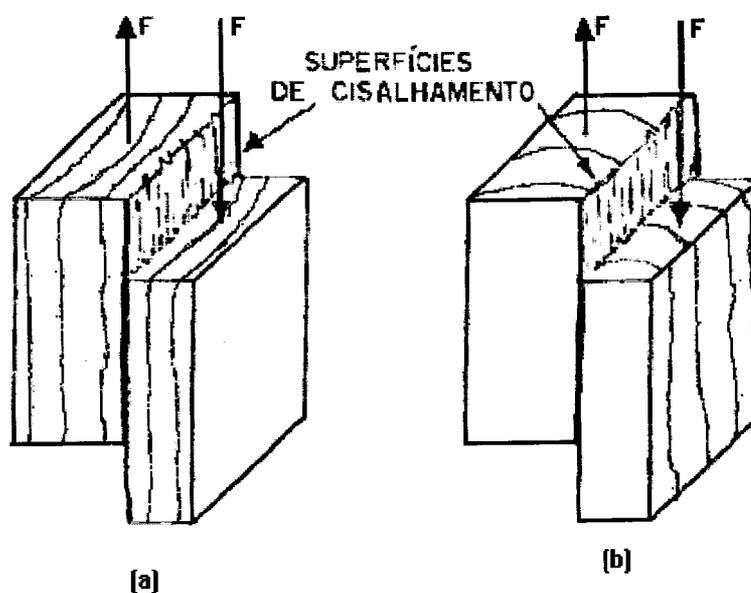


FIGURA 14 - Formas de ruptura dos corpos-de-prova sujeitos ao cisalhamento.

Fonte: ALMEIDA, P. A. O. (1990), p. 81.

2.5.3 - Tração Normal às Fibras

Para os corpos-de-prova sujeitos ao esforço de tração normal às fibras são apresentados três modos de ruptura, como mostra a figura 15.

Segundo BODIG & JAYNE (1982), a ruptura da peça por tração normal se dá na superfície aderente ao anel de crescimento, mais especificamente na região de madeira juvenil, ver figura 15 (a).

Para a figura 15 (b), onde os anéis estão inclinados em relação à direção radial, a ruptura se dá por descolamento da superfície aderente ao anel de crescimento. E a figura 15 (c), mostra o caso mais crítico, onde as peças são tracionadas na direção tangencial, causando ruptura na direção radial.

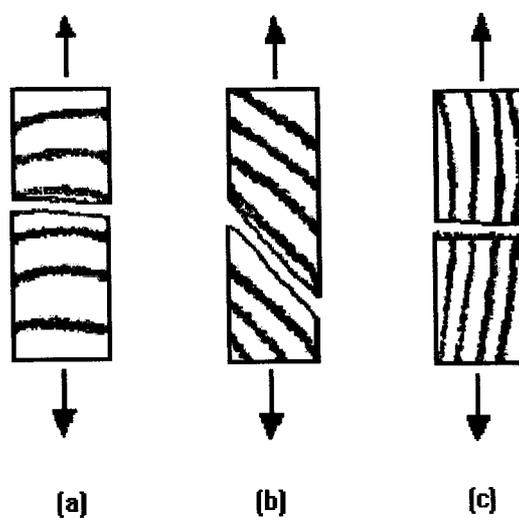


FIGURA 15 - Formas de ruptura dos corpos-de-prova sujeitos à tração normal às fibras.

Fonte: BODIG, G. J. & JAYNE, B. A. (1982), p. 299.

2.6 - LIGAÇÕES

Neste item, serão descritos os trabalhos nacionais e internacionais sobre ligações com anéis metálicos fechados, encontrados na pesquisa bibliográfica realizada.

2.6.1 - Estudo das Ligações

De acordo com SCHOLTEN (1944), a partir de 1930, nos EUA, ficou evidente a necessidade da realização de estudos sistematizados com o objetivo de serem alcançadas informações seguras a respeito da ligação entre peças estruturais de madeira. Isto ocorreu em função do emprego crescente e diversificado de estruturas construídas com tal material.

Com relação à ligação entre peças de madeira através de conectores metálicos, elemento considerado adequado para transmitir esforços elevados, o trabalho pioneiro foi desenvolvido por SCHOLTEN, em 1944. Nele são apresentadas estruturas de madeira como pontes, torres de vigia, vigas e pilares diversos, rampas para a prática de esportes de inverno, com ligação entre peças realizada através de anéis metálicos. O autor realizou ensaios em corpos-de-prova simulando a ligação por anéis metálicos, utilizando para tal diversas espécies crescidas nos EUA. Foi possível observar, nos ensaios conduzidos com carregamento paralelo às fibras e também naqueles com carregamento perpendicular às fibras, que a ruptura ocorreu por cisalhamento na parede interna dos anéis. A área cisalhada da ligação para um anel metálicos é estimada empregando-se a expressão:

$$A_s = \frac{\pi d_1^2}{4}$$

Onde:

A_s = área cisalhada no interior dos anéis metálicos;

d_1 = diâmetro interno do anel.

Como conclusão, SCHOLTEN registrou que a resistência da ligação entre peças de madeira por anéis metálicos depende do tipo e das dimensões do anel, da espécie de madeira, da espessura e da largura das peças, do espaçamento entre os anéis, bem como de sua distância à extremidade das

peças, e da direção de aplicação da carga em relação à direção das fibras da madeira.

HILSON (1968) desenvolveu teoria a respeito da resistência ao esmagamento das peças de madeira ligadas por anéis metálicos. Constatou que, após a ruptura das peças por cisalhamento, ocorre esmagamento na madeira na lateral do anel, na região oposta ao carregamento. Nesta fase do ensaio o parafuso começa a trabalhar até a ruptura e ocorre o esmagamento da borda em torno do anel das peças de madeira.

ZURITA et al (1971) afirmam que, com o uso dos anéis conectores em estruturas de madeira, engenheiros norte-americanos perceberam a economia e a durabilidade de estruturas como treliças de cobertura, pontes e arcos, construídas com tal elemento de ligação.

MATTHIESEN (1981) apresentou trabalho sobre a ligação de peças de madeira com anéis fechados, partidos e bipartidos, com diâmetros de 3, 4 e 5 polegadas. Constatou que a ligação com anéis fechados tem capacidade de carga 5,5% superior à do anel partido e 6,8% superior à do anel bipartido, sendo que a maior deformação ocorre no caso de emprego de anel bipartido. O referido autor também avaliou os resultados de alguns ensaios de ligação por anéis metálicos na tração paralela às fibras, notando a sua semelhança aos resultados de compressão paralela, com satisfatória aproximação entre os valores que convencionou chamar de limite de proporcionalidade e os valores relativos à ruptura.

ALMEIDA (1990), referindo-se ao aludido trabalho de SCHOLTEN, ressalta que o limite de proporcionalidade corresponde ao deslizamento em torno de 0,06" ou 1,5 mm.

QUENNEVILLE & DALEN (1991) estudaram a introdução da pré-tensão transversal nas ligações entre peças de madeira através de anéis metálicos. Constataram que a resistência ao cisalhamento aumenta em virtude da fricção interna entre as partes da ligação.

BLASS, EHLBECK E SCHLAGER (1992) apresentaram um modelo de cálculo para a determinação da resistência de ligações entre peças de madeira através de anéis metálicos ou placas cisalhantes, submetidas à compressão ou

tração paralela às fibras. Analisando os resultados dos ensaio, observaram que a ruptura sempre ocorre por cisalhamento, sem interferência dos parafusos usualmente empregados para manterem justapostas as peças. Concluíram que a capacidade de carga da ligação depende diretamente da área interna do anel e da resistência da madeira ao cisalhamento. A capacidade de carga de um anel metálico se estima através da expressão:

$$R_c = f_v A_s$$

Onde:

R_c = capacidade de um conector;

f_v = resistência ao cisalhamento da madeira;

A_s = área cisalhada por conector.

HILSON* apud QUENNEVILLE; DALEN; CHARRON (1993), verificou os efeitos da variação da espessura das peças de madeira na resistência dos anéis conectores quando carregados à compressão paralela às fibras. A maioria das peças ensaiadas apresentou espessura menor que 38 mm e foi possível observar, durante a realização dos ensaios, que a ruptura se dava por cisalhamento e, quando ensaiadas peças com espessuras maiores que 38 mm, esse fenômeno se repetiu. É bom ressaltar que, durante a realização deste trabalho, não foi combinada a variação da espessura com a variação da distância à extremidade e sim usada uma distância constante à extremidade para medir a resistência das peças de madeira em função da variação da espessura. Foi constatado que ocorre diminuição da resistência à medida que diminua a espessura das peças.

* HILSON, B. O. The ultimate strength of timber joints with split ring connectors when loaded parallel - to - the - grain. Journal of the Institute of Wood Science, 4(6): 6 - 25, 1969 apud QUENNEVILLE, J. H. P.; CHARRON, A.; DALEN, K. V. Effect of end distance on the resistance of split ring connectors in timber joints loaded in compression. Canadian Journal of Civil Engineering, Canadá, v.20, nº5, p.863 - 871, out.

MACK** apud QUENNEVILLE; DALEN; CHARRON (1993), realizou trabalho experimental ensaiando corpos-de-prova da ligação entre peças de madeira sujeita à compressão paralela às fibras. Utilizou espécies australianas, anel de 63 mm de diâmetro e distâncias de 140 mm e 203 mm entre o centro do anel e a extremidade das peças de madeira. Tendo realizado diversos ensaios, observou que a variação da mencionada distância não provocou variação da resistência da ligação.

QUENNEVILLE; DALEN e CHARRON (1993), fizeram um levantamento dos trabalhos já existentes e foi possível identificar os pesquisadores pioneiros no assunto de ligações com anéis metálicos. Eles já vinham desenvolvendo trabalhos relacionados com influência da variação da distância do anel à borda, distância à extremidade, espessuras das peças usadas nas ligações, etc. Através desses trabalhos desenvolveram um programa experimental para determinar a influência da variação da distância do anel à extremidade na resistência em peças de madeira ligadas por anéis metálicos submetidas aos ensaios de compressão paralela às fibras. Os resultados das 144 ligações ensaiadas mostrou que, para os anéis conectores duplos carregados à compressão paralela, a distância à extremidade não tem influência significativa na resistência do anel conector em peças de madeira das espécies Douglas Fir Larch com anel conector de 64 mm e 102 mm e espécie Spruce-Pine Fir com anel conector de 64 mm de diâmetro, com teor de umidade de aproximadamente 12%. Os autores lembram que para ligações com conectores consecutivos (em fila) deverá ser verificado, em outro trabalho, se vai ocorrer alguma eventual influência na resistência do anel.

** MACK, J. J. Split ring and shear plate connector joints in some Australian timbers. Australian, Division of Building Research, nº41, 1981 apud QUENNEVILLE, J. H. P.; CHARRON, A.; DALEN, K. V. Effect of end distance on the resistance of split ring connectors in timber joints loaded in compression. Canadian Journal of Civil Engineering, Canadá, v.20, nº5, p.863 - 871, out.

2.6.2 - Tipos de Anéis Conectores

Existem diferentes tipos de anéis metálicos adequados para a confecção de ligações entre peças estruturais de madeira. Alguns deles, contidos no texto da “Norma Européia - EN 912 (1992)”, são a seguir mostrados:

2.6.2.1 - Tipo 1:

É um anel conector fechado, cuja parede tem formato semelhante a uma lente. Os anéis conectores são feitos da liga de alumínio fundido, conforme a norma européia citada.

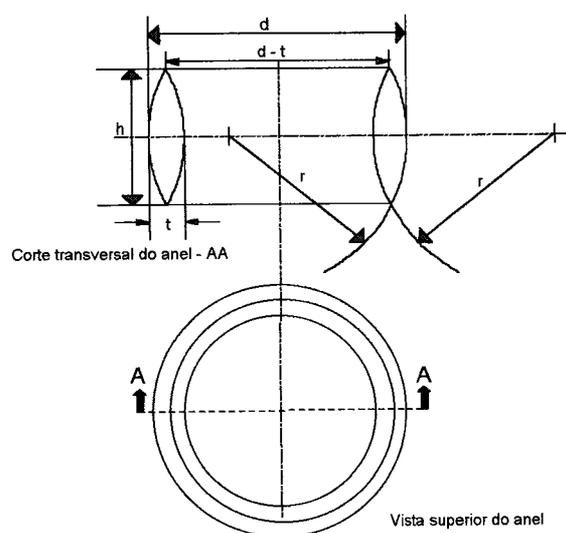


FIGURA 16 - Tipo de anel conector fechado

TABELA 26 - Dimensões do anel conector (em milímetros)

Diâmetro d	Altura h	Espessura t	Raio r
65	30	5	50
80	30	6	50
95	30	6	60
126	30	6	60
128	45	8	60
160	45	10	60
190	45	10	60

Tolerância em todas dimensões dos conectores $\pm 0,2\text{mm}$

2.6.2.2 - Tipo 2:

É um anel conector aberto, mais detalhes podem ser vistos na figura abaixo. Os anéis conectores são feitos de aço carbono, conforme a norma europeia citada.

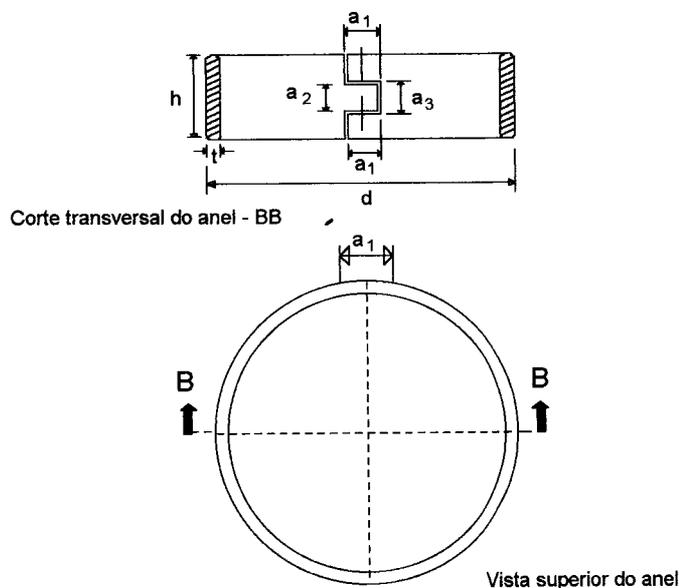


FIGURA 17 - Tipo de anel conector aberto

TABELA 27 - Dimensões do anel conector (em milímetros)

Diâmetro nominal	Diâmetro	Altura	Espessura	Comp. do encaixe (língua)	Altura do encaixe (língua)	Altura da ranhura
64,0	72,0	19,0	4,1	9,0	6,5	7,0
Tolerância (mm): Diâmetro $d \pm 0,75$; espessura $t \pm 0,10$; outras dimensões $\pm 0,25$.						

2.6.2.3 - Tipo 3

É um anel conector aberto com cinta de reforço ao longo da altura do anel. Seu corte pode ser visto pelo desenho a seguir. Os anéis conectores são feitos de aço carbono, conforme a norma citada.

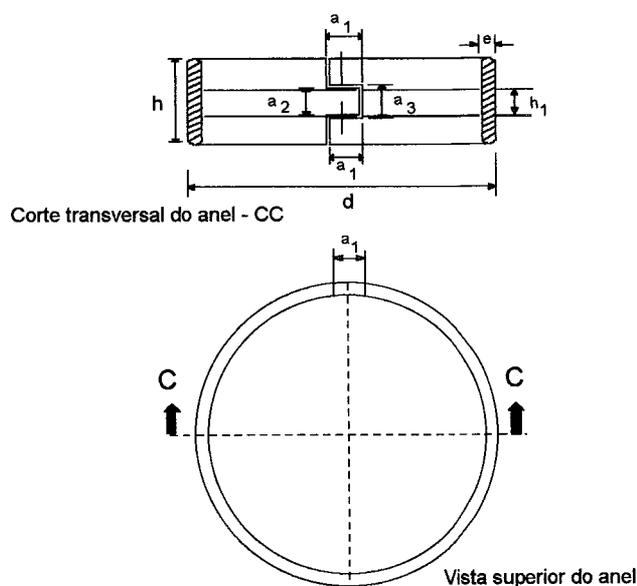


FIGURA 18 - Tipo de anel conector aberto

TABELA 28 - Dimensões do anel conector (em milímetros)

Diâmetro nominal	Diâmetro	Altura	Espessura	Altura da parcela reta	Raio	Comprimento do encaixe (língua)	Altura do encaixe (língua)	Altura da ranhura
	d	h	t	h_1	r	a_1	a_2	a_3
64	72,0	19,0	4,1	6,5	1,5	9,0	6,5	7,0
102	112,0	25,4	4,9	8,3	1,7	9,0	8,3	9,0
Tolerância: Diâmetro $d - \pm 0,75$ (mm)								
Espessura $t - \pm 0,10$ (mm)								
Outras dimensões $- \pm 0,25$ (mm)								

2.6.2.4 - Tipo 4:

É um anel conector com abertura em forma de V. Mais detalhes podem ser vistos na figura a seguir. Os anéis conectores são feitos de ferro cinzento fundido, conforme a norma citada.

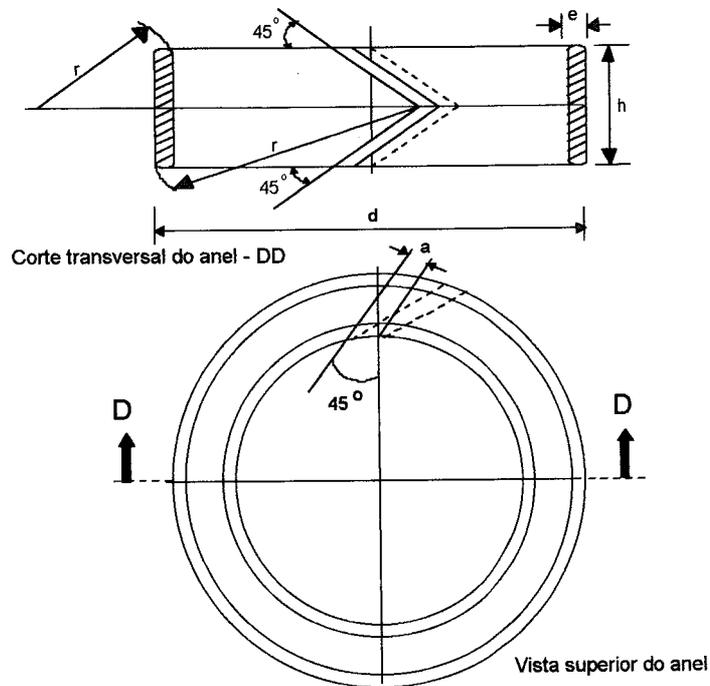


FIGURA 19 - Tipo de anel com abertura inclinada

TABELA 29 - Dimensões do anel conector (em milímetros)

Diâmetro d	Altura h	Espessura t	Raio r	Largura do corte a
60	18	5	36	-
80	22	6	48	2
100	26	7	60	2
120	30	8	72	2
140	36	9	84	4
160	40	10	96	4
180	46	10	108	4
200	50	11	120	4

Tolerância: Diâmetro d $\pm 1,0$ (mm)
 Altura h $\pm 0,5$ (mm) para h ≤ 36 (mm)
 $\pm 0,7$ (mm) para h ≥ 40 (mm)
 Espessura $\pm 0,5$ (mm) para t ≤ 9 (mm)
 $\pm 0,7$ (mm) para t ≥ 10 (mm)
 Ângulo $45^\circ \pm 1^\circ$

2.6.2.5 - Tipo 5:

É um anel conector com abertura em forma de V e seção transversal retangular da parede do anel. Os anéis conectores são feitos de aço carbono, conforme a norma citada.

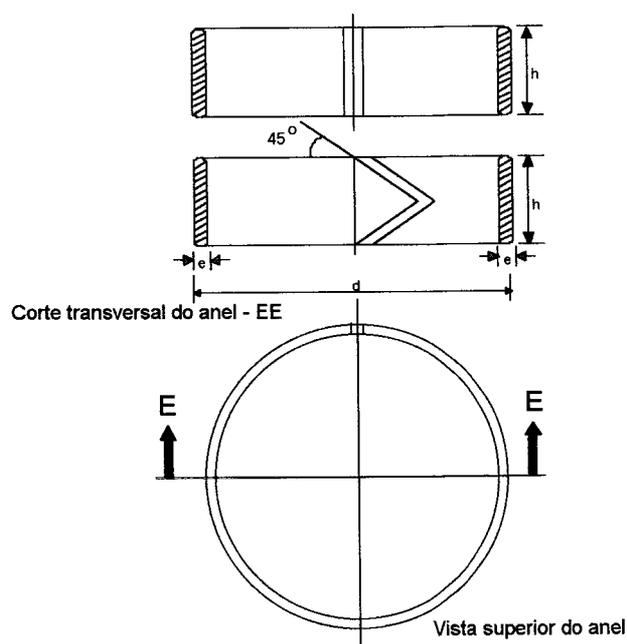


FIGURA 20 - Tipo de anel com abertura inclinada

TABELA 30 - Dimensões do anel conector (em milímetros)

Diâmetro d	Altura h	Espessura t
88	20	4
108	24	4
130	27	5
152	30	6
174	33	7
196	36	8
216	40	8
236	45	8
260	50	10

Tolerância: Diâmetro $d \pm 1,0$ (mm)
 Altura $h \pm 0,75$ (mm) para $h \leq 33$ (mm)
 $\pm 1,0$ (mm) para $h \geq 36$ (mm)
 Espessura $t \pm 0,5$ (mm)

2.6.3 - Origem e Composição Química do Anel.

O ferro existe na natureza sob a forma de óxidos, nos minérios de ferro, extraídos através de um super aquecimento em presença de coque ou carvão de madeira, em fornos adequados. Assim, o óxido é reduzido e o ferro resultante ligado ao carbono, originando uma liga de ferro e carbono que, após o refino, constitui a matéria prima para confecção de peças metálicas.

Aços e ferros fundidos são obtidos por via líquida, ou seja, são elaborados no estado de fusão. Recebem o nome de aço quando contêm de 0% a 1,7% de carbono, e ferro fundido quando contêm 1,7% a 6,7%. Além desse elemento, possuem manganês, silício, fósforo e enxofre.

De acordo com as normas NDS, DIN 1052-parte 2, o aço usado nas ligações dos anéis conectores tem de ser tipo 1010. Segundo MOLITERNO (1989), as especificações referentes às propriedades mecânicas do aço 1010 são as seguintes:

* - Resistência de escoamento = 1830 daN/cm²;

* - Resistência a ruptura = 3300 daN/cm².

CALIL JR (1988), apresenta tabelas onde constam várias características dos tubos de aço da COMPANHIA SIDERÚRGICA MANNESMANN. Segundo o catálogo da MANNESMANN os tubos de aço tipo 1010 apresentam composição química formada pelos seguintes elementos: C = 0,08 a 0,13; M_n = 0,30 a 0,60; P = 0,040; S = 0,050.

2.6.4 - Preservativos Empregados no Tratamento da Madeira

A madeira é um material renovável. Normalmente utilizada quando não possui mais vida, e está sujeita à próxima etapa da seqüência natural de todo o ser vivo: decomposição ou deterioração. Sua deterioração pode ser provocada por agentes físicos, químicos, e/ou biológicos.

A madeira, quando utilizada exposta ao ar, em contato ou não com o solo ou água, está sujeita à deterioração por fungos ou insetos e, quando exposta ao contato com a água do mar, além de fungos e insetos, está sujeita também ao ataque por moluscos ou crustáceos que habitam as águas salgadas, CARLOS (1995).

Diversos produtos foram desenvolvidos para proteger a madeira dessa situação, pois as alterações a que a madeira está sujeita vão desde a mudança na sua cor até a diminuição significativa de suas propriedades mecânicas, comprometendo, muitas vezes, o seu desempenho, MILANO (1986).

Devido a esse fator, vários pesquisadores desenvolveram ao longo dos anos processos para evitar a deterioração da madeira, através da introdução de substâncias químicas que inibem o desenvolvimento de fungos, insetos e brocas marinhas.

CALIL JR (1994), diz que os preservativos devem ter as seguintes características: boa toxidez, alta permanência, não se decompor nem se alterar, não ter ação corrosiva, não alterar as propriedades físicas e mecânicas da madeira e ser inodoro e inofensivo ao homem e aos animais.

CARLOS (1995), publicou um trabalho apresentando as classes de risco de biodeterioração, facilitando assim o enquadramento de cada elemento construtivo utilizado no projeto de construção em madeira. Em países desenvolvidos, já vem sendo empregado o sistema de classes de risco de biodeterioração da madeira numa construção, facilitando a escolha do preservativo para cada função que a madeira irá desempenhar, sem prejudicar o meio ambiente. Cada fabricante poderá especificar seus produtos para cada classe de risco.

A Norma Européia EN - 335 - 2, citada no trabalho de CARLOS (1995), apresenta cinco classes de risco bem definidas para a deterioração da madeira, e são apresentadas a seguir:

Classe 1: Situação em que a madeira ou o produto à base de madeira está sob abrigo, inteiramente protegida das intempéries e não exposta à umidificação.

Classe 2: Situação em que a madeira ou os produtos à base de madeira estão sob abrigo, inteiramente protegidos das intempéries mas onde uma umidade ambiental elevada pode conduzir a uma umidificação ocasional mas não persistente.

Classe 3: Situação em que a madeira ou o produto à base de madeira não está abrigada nem está em contato com o solo. Está continuamente exposta às intempéries, ou ao abrigo das intempéries mas sujeita a uma umidificação freqüente.

Classe 4: Situação em que a madeira ou o produto à base de madeira está em contato com o solo ou com a água doce e está assim exposta permanentemente à umidificação.

Classe 5: Situação em que a madeira ou o produto à base de madeira está permanentemente exposta à água salgada (exposta ao ataque de moluscos e crustáceos).

2.6.4.1 - Classificação dos preservativos

Os preservativos utilizados no tratamento de madeira, podem ser classificados em oleossolúveis e hidrossolúveis, segundo CAVALCANTE (1982). Nos oleossolúveis o veículo utilizado para a impregnação é o óleo com ação preservativa (subprodutos da hulha e algumas frações de petróleo) e os hidrossolúveis são sais preservativos onde o veículo usado para a impregnação é a água, CALIL JR (1994).

Tipos de preservativos oleossolúveis, LEPAGE (1986):

- * Creosoto;
- * Pentaclorofenol;

- * TBTO (óxido de estanho tri-butílico);
- * Naftenato de cobre;
- * Quinolinolato de cobre-8;
- * Composto de mercúrio;
- * Naftenato de zinco;
- * Hidrocarbonetos clorados.

Tipos de preservativos hidrossolúveis, LEPAGE (1986):

- * Boro ou ácido bórico;
- * Arseniato de cobre amoniacal - ACA - Chemonite;
- * Cromato de cobre ácido - ACC - Celcure;
- * Arseniato de cobre cromatado - tipo A;
- * Arseniato de cobre cromatado - tipo B;
- * Arseniato de cobre cromatado - tipo C;
- * Cloreto de zinco cromatado;
- * Sulfato de cobre;
- * CCB;
- * Fenol arseniato de flúor-cromo - tipo B;
- * Pentaclorofenato de sódio;
- * Pentaclorofenol e fluoreto;
- * Pentaclorofenol, sais osmose e creosotado;
- * Creosoto reforçado com outros inseticidas;
- * Aditivos do osmotox para combater as brocas marinhas.

CARLOS (1995), apresenta os tipos de preservativos utilizados para as correspondentes classes de risco na tabela a seguir:

TABELA 31 - Preservativos MONTANA indicando as classes de risco e o processo de utilização

Fonte: CARLOS, V. J. (1995), p 28.

Nome do produto comercial	Propriedades	Ingredientes ativos	Teor de umidade da madeira para tratamento	Processo de tratamento	Consumo do produto	Classe de risco
Pentox super	Inseticida	Ciperme-trina	< 25%	Imersão/ pincel	7 a 10 m ² / litro	1 ou 2
Pentoxin	Inseticida/ fungicida	Heptacloro/ Tribromofe- nato de Tri- butil estanho	< 25%	Imersão/ pincel	7 a 10 m ² / litro	1 ou 2
Osmoco-lor	Fungicida	Tribromo-fenol	< 25%	Pincel/ rolo	24m ² /galão/ 2 demãos	1 ou 2
Carbolineu	Fungicida/ inseticida	Creosoto	< 25%	Banho quente/ imersão	100 kg/m ³ 7m ² /litro	1,2 ou 3
Osmose K - 33 C	Fungicida e inseticida	Compostos de cobre, cromo e arsenio	< 30%	Vácuo/ pressão em autoclave	4,00kg i.a./m ³	1, 2 e 3
Osmose K - 33C	Fungicida e inseticida	Compostos de cobre, cromo e arsenio	< 30%	Vácuo/pressão em autoclave	6,5 i.a./m ³	4
Osmose K - 33C	Fungicida e inseticida	Compostos de cobre, cromo e arsenio	< 30%	Vácuo/pressão em autoclave	9,6 i.a./m ³	4 (estr.)
Osmose K - 33C	Fungicida e inseticida	Compostos de cobre,cromo e arsenio	< 30%	Vácuo/pressão em autoclave	40,0 i.a./m ³	5
Osmose CCB	Fungicida e inseticida	Compostos de cobre, cromo e boro	< 30%	Vácuo/pressão em autoclave	6,5 i.a./m ³	4
Osmose CCB	Fungicida e inseticida	Composto de cobre, cromo e boro	< 30%	Vácuo/pressão em autoclave	9,6 i.a./m ³	4 (estr.)

2.6.4.2 - Modos de aplicações dos preservativos

Difusão: com broxas;
por imersão;
com bandagens.

Substituição de seiva (hidrossolúvel);

Processo banho quente-frio;

Processo sob pressão (auto-claves).

Mais detalhes sobre os tratamentos preservativos podem ser encontrados nos trabalhos de BENEVENTE (1995), CALIL (1994), MASSON & BITTENCOURT (1992), JANKOWSKI (1986), UJVARI & SCHON (1986), GALVÃO (1975).

2.7 - COMENTÁRIOS GERAIS

Na pesquisa do estado da arte a respeito do tema do presente trabalho, a princípio foram consultados os documentos normativos internacionais disponíveis, nos itens referentes aos métodos de ensaio e aos procedimentos para o cálculo das ligações entre peças estruturais de madeira por anéis metálicos.

As normas Australiana e Canadense, bem como o Eurocode, tratam do tema, com base no método dos estados limites, e a NDS o aborda a partir do método das tensões admissíveis.

A disponibilidade de artigos técnicos abordando as ligações por anéis metálicos é restrita, conforme pode ser observado nas referências bibliográficas apresentadas. Alguns pesquisadores já observaram a adequação deste tipo de ligação para estruturas de médio a grande porte.

Entretanto, a análise experimental do assunto necessita ser desenvolvida para as madeiras nacionais e para as madeiras exóticas

crecidas no país, conforme o objetivo do presente trabalho. Os resultados poderão ser incluídos nos documentos normativos brasileiros sobre o assunto.

Outro ponto a considerar é a exposição do anel metálico às substâncias preservativas utilizadas no tratamento prévio das peças estruturais. Mesmo sendo escassas as referências bibliográficas, é possível que algumas precauções devam ser tomadas, como a não utilização de preservativos à base de sais, o uso de anéis galvanizados e pintados nas bordas com tintas protetoras de metais.

Também deve ser registrado que a abordagem aqui desenvolvida não exclui a necessidade do prosseguimento do estudo, como a contínua avaliação do método proposto para a ligação com anéis partidos e com anéis de diâmetros superiores a 102 milímetros; para a ligação com mais de um par de anéis. Também deverá ser conduzida a avaliação do desempenho da ligação entre peças de madeira tratada e peças de madeira impregnadas por polímeros.

Diante do exposto, considera-se que a revisão da bibliografia evidenciou a conveniência da realização deste trabalho cujas conclusões estarão preenchendo lacunas no conhecimento até aqui estabelecida.

CAPÍTULO 3

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são feitas referências ao material utilizado e aos métodos para realização dos ensaios, com vistas à determinação das cargas de ruptura em peças de madeira ligadas por anéis metálicos fechados, nas direções paralela às fibras e perpendicular às fibras.

3.1 - MATERIAIS

Neste trabalho foram utilizados corpos-de-prova retirados de vigas das seguintes espécies:

- * *Pinus Elliottii* (*Pinus elliotii*);
- * Cupiúba (*Goupia glabra*);
- * Garapa (*Apuleia leiocarpa*);
- * Eucalipto Citriodora (*Eucalyptus citriodora*);
- * Jatobá (*Hymenaea stilbocarpa*).

Essas espécies foram escolhidas segundo as classes de resistências. As classes de resistências são definidas em função da resistência característica à compressão paralela às fibras, conforme proposto pela Norma NBR-7190 (1996).

Foram utilizadas vigas de seções de 6 cm x 12 cm x 400 cm e 6 cm x 16 cm x 200 cm, com teor de umidade acima de 25% (saturada), para a retirada dos corpos-de-prova.

3.1.1 - Madeiras

As espécies citadas tiveram várias procedências, as seções e os números de vigas utilizadas encontram-se na tabela 32.

TABELA 32 - Seções e números de vigas das espécies estudadas

Espécies	Seções	Números de vigas
Pinus	6 cm x 12 cm	2
Elliottii	6 cm x 16 cm	2
Cupiúba	6 cm x 12 cm	2
	6 cm x 16 cm	2
Garapa	6 cm x 12 cm	2
	6 cm x 16 cm	2
Eucalipto	6 cm x 12 cm	2
Citriodora	6 cm x 16 cm	2
Jatobá	6 cm x 12 cm	2
	6 cm x 16 cm	2

3.1.2 - Anéis Metálicos

Os anéis são de aço galvanizado de acordo com a NBR - 8800, formando um círculo fechado, apresentando dimensões internas de 64 mm (2 1/2") e 102 mm (4").

O anel deverá encaixar-se na ranhura dos corpos-de-prova. A altura do anel nunca deve ser maior que a espessura da cobrejunta.

As características dos anéis metálicos para as dimensões de 64 mm (2 1/2") e 102 mm (4") estão apresentados na tabela 33.

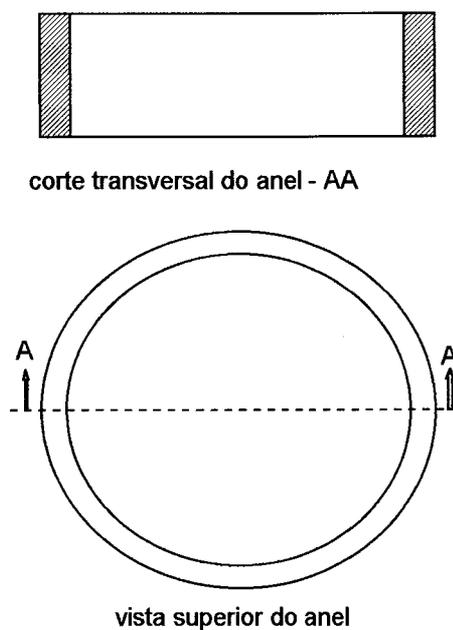


FIGURA 21 - Anel metálico

TABELA 33 - Dimensões principais dos anéis metálicos fechados - (mm)

ANÉIS	64mm (2 1/2")	102mm (4")
Anel:		
Diâmetro interno	64 mm	102 mm
Espessura do anel	4 mm	5 mm
Altura do anel (profundidade)	25 mm	25 mm
Encaixe:		
Diâmetro interno	64 mm	102 mm
Espessura	4,5 mm	5,25 mm
Profundidade	12,5 mm	12,5 mm
Parafuso:		
Diâmetro do parafuso	12 mm	19 mm
Diâmetro do furo para o parafuso em peças de madeira	14 mm	21 mm
Arruelas:		
Diâmetro	30 mm	46 mm
Espessura	1,5 mm	2 x (1,7 mm)

3.1.3 - Aspectos Anatômicos da Madeira dos Corpos-de-Prova

As madeiras ensaiadas são de diferentes espécies, por isso apresentam características anatômicas diferentes. Essas características são descritas a seguir:

3.1.3.1 - Pinus Elliottii

Conífera, é considerada espécie de reflorestamento e apresenta crescimento muito rápido.

Segundo o IPT (1971), é uma madeira leve, de cor branca com leve tonalidade amarelada, apresenta nas faces longitudinais faixas mais escuras,

bege-claro-amarelado, que correspondem ao lenho tardio dos anéis de crescimento, cerne não diferenciado. É possível observar, em árvores com aproximadamente 20 anos, uma região ao redor da medula abrangendo os primeiros anéis, de cor castanho-rosado, superfícies longitudinais lisas ao tato, cheiro pouco ativo de resina.

3.1.3.2 - Cupiúba

Dicotiledônea, é considerada uma madeira nativa de clima tropical e apresenta crescimento lento.

É uma madeira pesada, com cerne castanho ou castanho levemente avermelhado e alburno róseo claro. A superfície não apresenta brilho, é áspera ao tato e quando a madeira está verde, possui um cheiro ativo característico e desagradável.

3.1.3.3 - Garapa

Dicotiledônea, é considerada uma madeira nativa de clima tropical e apresenta crescimento lento.

É uma madeira pesada, com cerne bege-amarelado ou amarelo levemente rosado até o róseo acastanhado, alburno branco amarelado. A superfície apresenta brilho, é lisa ao tato, o cheiro e gosto são imperceptíveis.

3.1.3.4 - Eucalipto Citriodora

Dicotiledônea, é considerada uma madeira de reflorestamento e apresenta crescimento muito rápido.

É uma madeira pesada e dura ao corte, com cerne pardo claro a pardo claro acinzentado, alburno branco palha levemente amarelado. A superfície não apresenta brilho, é ligeiramente áspera, cheiro e gosto imperceptíveis.

3.1.3.5 - Jatobá

Dicotiledônea, é considerada uma madeira nativa de clima tropical e apresenta crescimento lento.

É uma madeira muito pesada e muito dura ao corte, com cerne variável do castanho claro rosado ao castanho avermelhado, com tonalidades mais ou menos intensas, alburno branco ligeiramente amarelado e bem diferenciado do cerne. A superfície não apresenta brilho e é ligeiramente áspera, o cheiro e gosto são imperceptíveis.

3.2 - MÉTODOS

Para a redação deste item partiu-se do levantamento das indicações normativas existentes a respeito das ligações com anéis metálicos fechados. Tais normas já foram mencionadas na revisão bibliográfica.

A metodologia adotada na parte experimental deste trabalho é descrita a seguir:

3.2.1 - Madeira

A madeira foi selecionada aleatoriamente de lotes comerciais, em quantidade suficiente para realizar duas repetições para cada tipo de ligação. São consideradas ligações diferentes aquelas que apresentarem variações dos formatos e dimensões das peças de madeira ou dos anéis metálicos que formam os corpos-de-prova (solicitação paralela e normal, anel de 64 mm ou 102 mm).

Todas as peças de madeira não apresentavam defeitos, principalmente na área de colocação dos anéis metálicos.

Para a montagem dos corpos-de-prova devem ser retiradas peças das mesmas vigas. Para as repetições do ensaio de ligação devem ser escolhidas vigas diferentes para montagem dos novos corpos-de-prova.

No âmbito deste trabalho, optou-se pela realização dos ensaios com madeira verde. Essa opção foi feita, para eliminar o fator que causa a variabilidade das resistências obtidas nos resultados experimentais, pois, a madeira verde apresenta uma variabilidade menor que a madeira seca.

3.2.2 - Tipos de Ensaio e Modelos dos Corpos-de-Prova

Os modelos dos corpos-de-prova a serem ensaiados à compressão paralela e à compressão normal às fibras estão especificados a seguir:

3.2.2.1 - Ensaio de compressão paralela às fibras

3.2.2.1.1 - Descrição do ensaio

O ensaio deve ser realizado em máquina universal.

O corpo-de-prova deve ser centralizado, aplicando-se uma força de compressão crescente paralela às fibras (para maiores detalhes de carregamento ver item 3.2.3).

A direção de aplicação da força de compressão deve formar um ângulo de 0° em relação às fibras da madeira da peça principal e das cobrejuntas.

Os anéis metálicos fechados devem estar encaixados nas peças de madeira conforme desenho do item 3.2.2.1.4.

Caso o corpo-de-prova fique montado por mais de 24 horas e não seja ensaiado, ele deverá ser guardado em local apropriado, para manter a umidade.

3.2.2.1.2 - Dimensões das peças do corpo-de-prova

Para ensaios de corpos-de-prova da ligação por anéis metálicos com diâmetro interno de 64 mm utilizam-se peças de madeira retiradas de vigas de 6 cm x 12 cm; para os anéis metálicos com diâmetro interno de 102 mm utilizam-se peças de madeira retiradas de vigas de 6 cm x 16 cm.

a - Para anéis com diâmetro de 64 mm

Para a realização dos ensaios de compressão paralela às fibras, são necessárias três peças de madeira: uma peça principal representada pela letra A (vista frontal) e pela letra B (vista lateral) e duas cobrejuntas representadas pela letra C (vista lateral), figura 22. A peça principal deve ter 5 cm de espessura, 12 cm de largura e 25 cm de comprimento; as cobrejuntas devem ter 2,5 cm de espessura, 12 cm de largura e 25 cm de comprimento. A espessura da peça principal deve ser duas vezes a espessura da cobrejunta.

As peças devem ter superfícies planas e lisas e a direção das fibras deve ser paralela à aplicação da carga. Os anéis de crescimento devem estar bem visíveis e definidos na seção transversal.

As peças ligadas por anéis metálicos com diâmetro de 64 mm devem ser providas com um parafuso com diâmetro de 12 mm. O diâmetro do furo deve ser 2 mm maior que o diâmetro do parafuso, a fim de evitar que atue como elemento de ligação, pois, tem apenas a função de impedir a separação das peças durante a realização do ensaio.

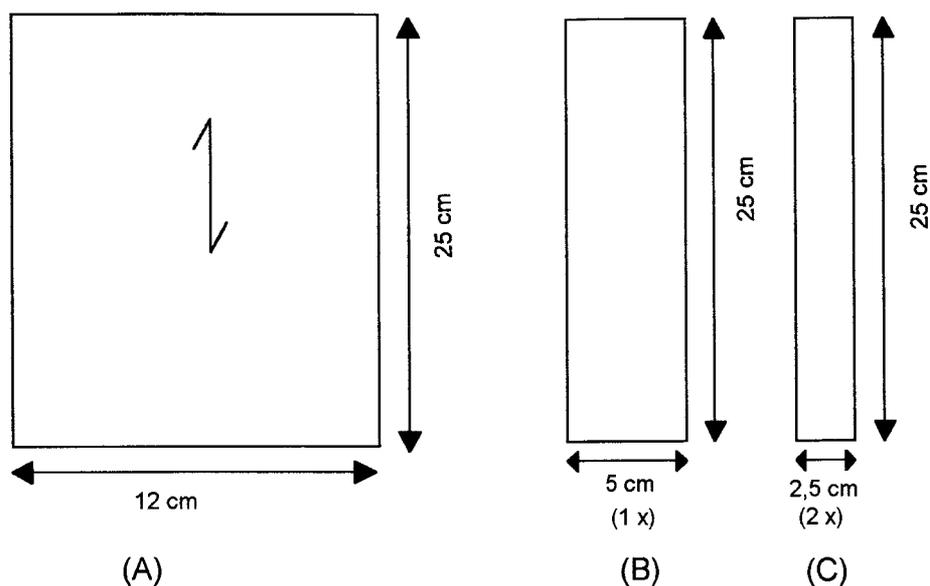


FIGURA 22 - Dimensões nominais das peças dos corpos-de-prova

b - Para anéis com diâmetro de 102 mm

Para a realização de ensaios de ligações submetidas à compressão paralela às fibras, são necessárias três peças de madeira: uma peça principal representada pela letra A (vista frontal) e pela letra B (vista lateral) e duas cobrejuntas representadas pela letra C (vista lateral), figura 23. A peça principal tem 5 cm de espessura, 16 cm de largura e 25 cm de comprimento, e as cobrejuntas devem ter 2,5 cm de espessura, 16 cm de largura e 25 cm de comprimento. A espessura da peça principal deve ser duas vezes a espessura da cobrejunta.

As peças devem ter superfícies planas e lisas. A direção das fibras deve ser paralela à aplicação da carga e os anéis de crescimento devem estar bem visíveis e definidos na seção transversal.

As peças ligadas por anéis metálicos com diâmetro de 102 mm, devem ser providas de um parafuso com diâmetro de 19 mm. O diâmetro do furo deve ser 2 mm maior que o diâmetro do parafuso, a fim de evitar que

atue como elemento de ligação, pois, tem apenas a função de impedir a separação das peças durante a realização do ensaio.

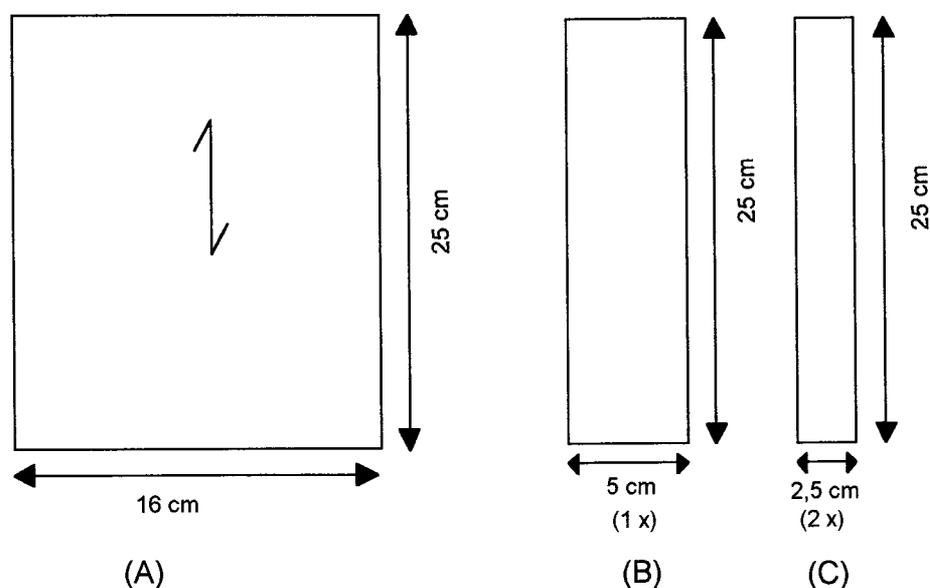


FIGURA 23 - Dimensões nominais das peças dos corpos-de-prova

3.2.2.1.3 - Características dos anéis metálicos

Deverá estar de acordo com o item 3.1.2.

3.2.2.1.4 - Corpos-de-prova e suas variações

A partir da revisão bibliográfica foram montadas as tabelas 34,35,36,37 com as dimensões propostas pelas normas internacionais, para os corpos-de-prova de ligações por anéis metálicos. Tais indicações

proporcionaram a definição da geometria dos corpos-de-prova utilizados na experimentação deste trabalho como mostra a figura a seguir.

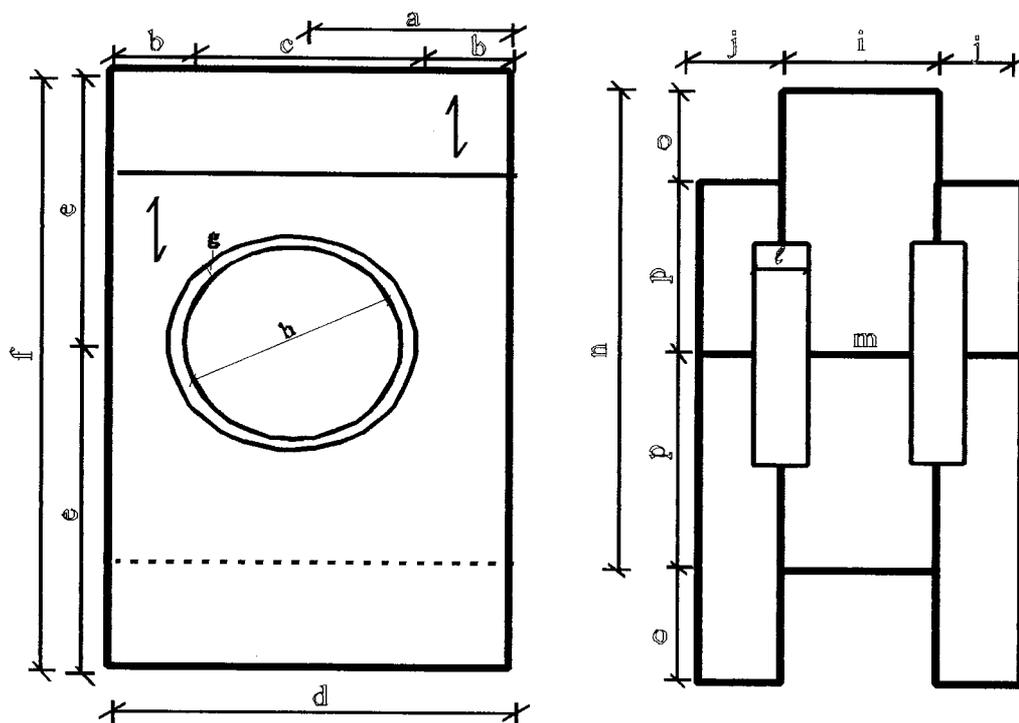


FIGURA 24 - Compressão paralela

TABELA 34 - Dimensões nominais dos corpos-de-prova para anel de $\phi = 64$ mm

Dimensões (mm)	Australiana	ISO BSI Eurocode nº 5	NDS	ABNT	Modelo Proposto
a	45 mm	44,5 mm	43,75 mm	52 mm	60 mm
b	9 mm	8,5 mm	7,75 mm	16 mm	24 mm
c	72 mm	72 mm	72 mm	72 mm	72 mm
d	90 mm	89 mm	87,5mm	104 mm	120 mm
e	100 mm	101 mm	102 mm	139 mm	150 mm
f	200 mm	202 mm	204 mm	278 mm	300 mm
g	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm
h	64 mm	64 mm	64 mm	64 mm	64 mm
i	b	b	b	b	50 mm
j	b/2	b/2	b/2	b/2	25 mm
l	-	-	25 mm	-	25 mm
m	-	-	12 mm	12 mm	12 mm
n	-	152 mm	-	-	250 mm
o	-	50 mm	-	-	50 mm
p	-	51 mm	-	-	100 mm

TABELA 35 - Dimensões nominais dos corpos-de-prova para anel de $\phi = 102$ mm

Dimensões (mm)	Australiana	ISO BSI Eurocode nº 5	NDS	ABNT	Modelo Proposto
a	70 mm	63,5 mm	68,75 mm	71 mm	80 mm
b	14 mm	7,5 mm	12,75 mm	15 mm	24 mm
c	112 mm	112 mm	112 mm	112 mm	112 mm
d	140 mm	127 mm	137,5 mm	142 mm	160 mm
e	140 mm	120 mm	137,5 mm	177 mm	150 mm
f	240 mm	240 mm	275 mm	354 mm	300 mm
g	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm
h	102 mm	102 mm	102 mm	102 mm	102 mm
i	b	b	b	b	50 mm
j	b/2	b/2	b/2	b/2	25 mm
l	-	-	37 mm	-	25 mm
m	-	-	19 mm	19 mm	19 mm
n	-	190 mm	-	-	250 mm
o	-	50 mm	-	-	50 mm
p	-	70 mm	-	-	100 mm

3.2.2.2 - Ensaio de compressão normal às fibras

3.2.2.2.1 - Descrição do ensaio

O ensaio deve ser realizado em máquina universal.

O corpo-de-prova deve ser centralizado e as cobrejuntas devem ser bi-apoiadas. O comprimento desses apoios é igual à metade da altura das

cobrejuntas ($h/2$). É aplicada uma força de compressão normal às fibras (para maiores detalhes de carregamento ver item 3.2.3).

A direção de aplicação da força de compressão deve formar um ângulo de 0° em relação às fibras da madeira da peça principal e 90° em relação às fibras da madeira das cobrejuntas.

Os anéis metálicos fechados devem estar encaixados nas peças de madeira conforme desenho do item 3.2.2.2.4.

Caso o corpo-de-prova vá ficar montado por mais de 24 horas antes de ser ensaiado, deverá ser guardado em local apropriado, para manter a umidade.

3.2.2.2.2 - Descrição das peças do corpo-de-prova

Para os anéis metálicos com diâmetro interno de 64 mm (2 1/2") utilizam-se peças de madeira retiradas de vigas de 6 cm x 12 cm, e para os anéis metálicos com diâmetro interno de 102 mm (4") utilizam-se peças de madeiras retiradas de vigas de 6 cm x 16 cm.

a - Para anéis com diâmetro de 64 mm

Para a realização de ensaios de ligações submetidas à compressão normal às fibras, são necessárias três peças de madeira: uma peça principal representada pela letra A (vista frontal) e pela letra B (vista lateral) e duas cobrejuntas representadas pela letra C (vista lateral) (ver figura 25). A peça principal deve ter 5 cm de espessura, 12 cm de largura e 25 cm de comprimento; as cobrejuntas devem ter 2,5 cm de espessura, 36 cm de largura e 12 cm de comprimento. A espessura da peça principal deve ser duas vezes a espessura da cobrejunta.

As peças devem ter superfícies planas e lisas e a direção das fibras para a peça principal deve ser paralela e para as cobrejuntas deve ser

perpendicular à direção de aplicação da carga. Os anéis de crescimento devem estar bem visíveis e definidos na seção transversal.

As peças ligadas por anéis metálicos fechados com diâmetro interno de 64 mm devem ser providas de um parafuso de diâmetro de 12 mm. O diâmetro do furo deve ser 2 mm maior que o diâmetro do parafuso, a fim de evitar que atue como elemento de ligação, pois tem apenas a função de impedir a separação das peças durante a realização do ensaio.

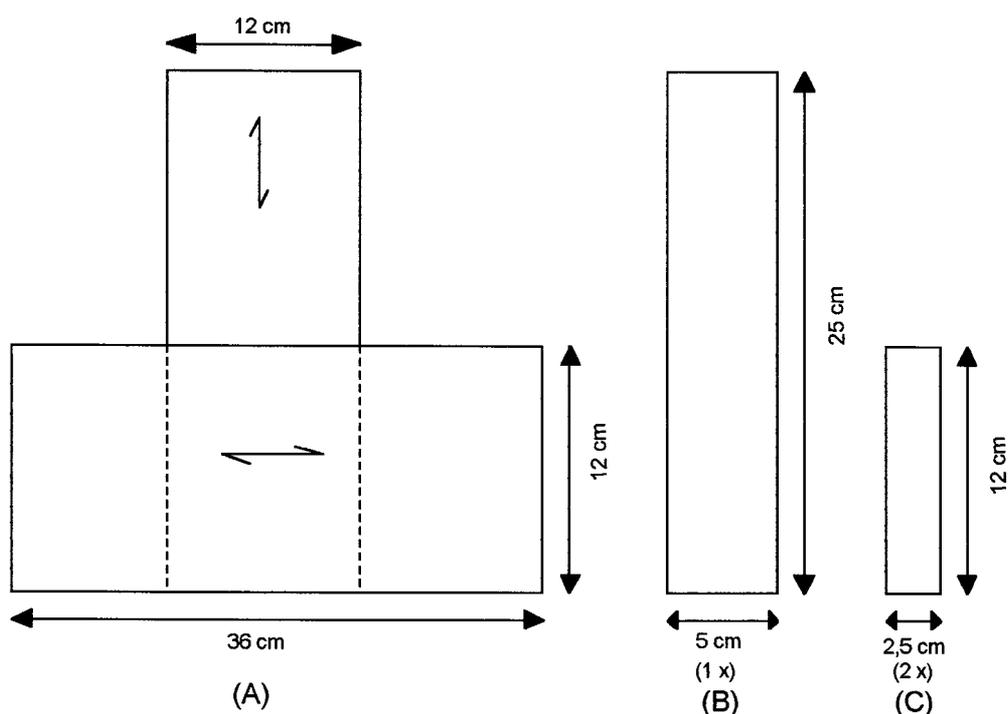


FIGURA 25 - Dimensões nominais das peças dos corpos-de-prova

b - Para anéis com diâmetro de 102 mm

Para a realização de ensaios de ligações submetidas à compressão normal às fibras, são necessárias três peças de madeira: uma peça principal

representada pela letra A (vista frontal) e pela letra B (vista lateral) e duas cobrejuntas representadas pela letra C (vista lateral) (ver figura 26). A peça principal tem 5 cm de espessura, 16 cm de largura e 25 cm de comprimento; e as cobrejuntas devem ter 2,5 cm de espessura, 48 cm de largura e 16 cm de comprimento. A espessura da peça principal deve ser duas vezes a espessura da cobrejunta.

As peças devem ter superfícies planas e lisas. A direção das fibras para a peça principal deve ser paralela e para as cobrejuntas deve ser perpendicular a aplicação da carga. Os anéis de crescimento devem estar bem visíveis e definidos na seção transversal.

As peças ligadas por anéis metálicos com diâmetro de 102 mm devem ser providas de um parafuso de diâmetro de 19 mm. O diâmetro do furo deve ser 2 mm maior que o diâmetro do parafuso, a fim de evitar que atue como elemento de ligação, pois, tem apenas a função de impedir a separação das peças durante a realização do ensaio.

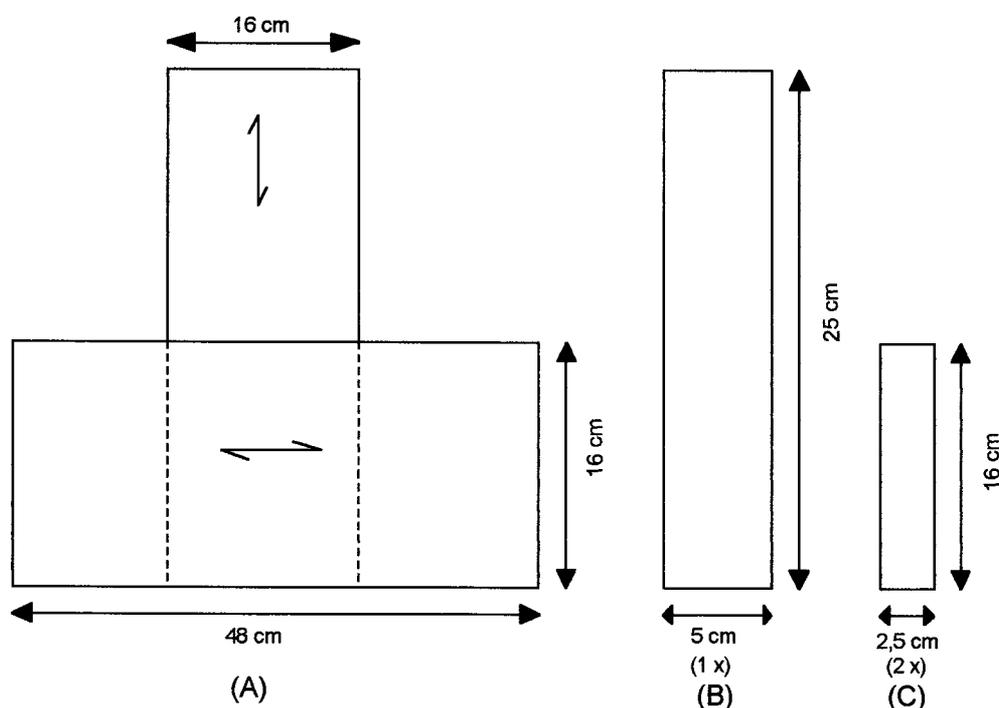


FIGURA 26 - Dimensões nominais das peças dos corpos-de-prova

3.2.2.2.3 - Características dos anéis metálicos

Deverá estar de acordo com o item 3.1.2.

3.2.2.2.4 - Corpos-de-prova e suas variações

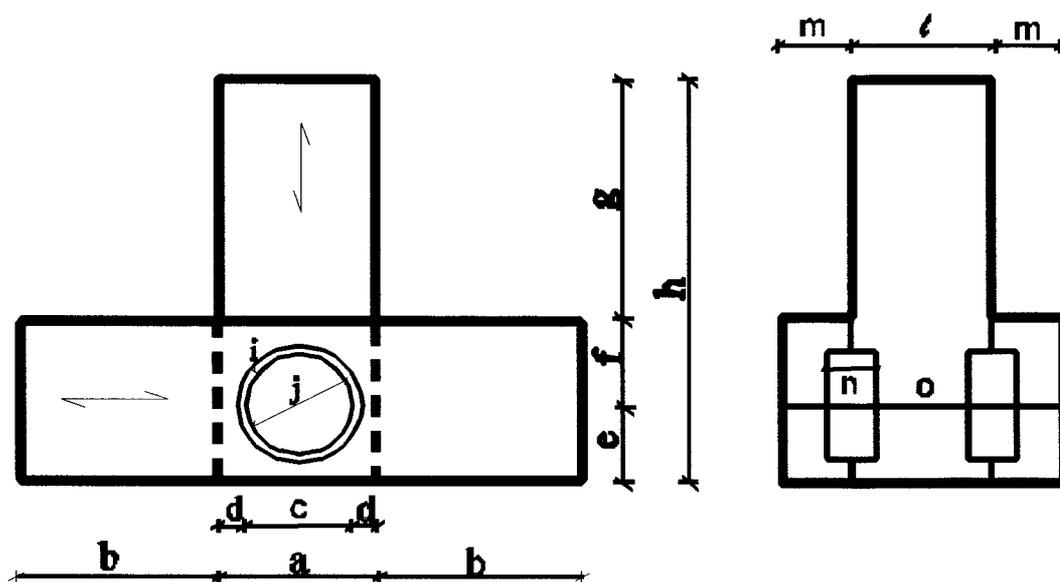


FIGURA 27 - Compressão normal

TABELA 36 - Dimensões nominais dos corpos-de-prova para anel de $\phi = 64$ mm

Dimensões (mm)	Australiana	ISO BSI Eurocode n° 5	NDS	ABNT	Modelo Proposto
a	140 mm	89 mm	88,9 mm	104 mm	120 mm
b	-	95,5 mm	-	-	120 mm
c	72 mm	72 mm	72 mm	72 mm	72 mm
d	34 mm	8,5 mm	8,45 mm	16 mm	24 mm
e	100 mm	51 mm	139,7 mm	77 mm	60 mm
f	100 mm	44,5 mm	139,7 mm	77 mm	60 mm
g	-	50 mm	-	-	120 mm
h	-	145,5 mm	-	-	240 mm
i	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm	4 mm
j	64 mm	64 mm	64 mm	64 mm	64 mm
l	b	b	b	b	50 mm
m	b/2	b/2	b/2	b/2	25 mm
n	-	-	-	-	25 mm
o	-	-	12 mm	12 mm	12 mm

TABELA 37 - Dimensões nominais dos corpos-de-prova para anel de $\phi = 102$ mm

Dimensões (mm)	Australiana	ISO BSI Eurocode nº 5	NDS	ABNT	Modelo Proposto
a	190 mm	127 mm	190,5 mm	14,2 mm	160 mm
b	-	133,5 mm	-	-	160 mm
c	112 mm	112 mm	112 mm	112 mm	112 mm
d	39 mm	7,5 mm	39,25 mm	15 mm	24 mm
e	140 mm	70 mm	177,8 mm	9,6 mm	80 mm
f	140 mm	63,50 mm	177,8mm	9,6 mm	80 mm
g	-	50 mm	-	-	120 mm
h	-	183,5 mm	-	-	280 mm
i	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm	5 mm
j	102 mm	102 mm	102 mm	102 mm	102 mm
l	b	b	b	b	50 mm
m	b/2	b/2	b/2	b/2	25 mm
n	-	-	-	-	25 mm
o	-	-	19 mm	19 mm	19 mm

3.2.3 - Formas de Carregamentos e Obtenções de Dados

3.2.3.1 - Generalidades

Nos ensaios de compressão paralela ou normal às fibras, os corpos-de-prova deverão estar centrados e receber um carregamento uniforme.

Nos ensaios devem ser determinados as deformações das ligações, isto é, a deformação específica entre as peças de madeira. Para as medidas

das deformações das ligações, as leituras devem ser realizadas sem interrupção do carregamento.

3.2.3.2 - Procedimento geral de ensaio

a) Obter e registrar uma estimativa F_{est} do valor médio da carga máxima a ser obtida nos ensaios, para um tipo particular de modelo ensaiado. Para obter o valor do F_{est} , primeiramente realiza-se o ensaio para a determinação da resistência ao cisalhamento (f_{wv}) que é utilizada na equação seguinte:

$$F_{est.} = \frac{\pi\phi^2}{4} f_{wv}$$

b) Aplicar a carga a uma razão constante de $0,2F_{est.}$ por minuto, a fim de obter a ruptura em no mínimo 5 e no máximo 15 minutos após o início do ensaio. Para corpos-de-prova que apresentem mecanismo de adaptação, a velocidade de carregamento até se atingir o valor de $0,2F_{est.}$ deve ser mais lenta, para que haja a acomodação dos mecanismos. A partir desse valor limite pode-se adotar a razão de $0,2F_{est.}$ por minuto;

c) Deve-se fazer a leitura e registrar o deslizamento da ligação pelo menos a cada incremento de carga de $0,1F_{est.}$. As medidas das deformações devem ser feitas através de dois relógios comparadores instalados em lados opostos do corpo-de-prova, determinando-se os valores médios. A precisão dos relógios comparadores deve ser de 0,001 mm;

d) Se nos ensaios o valor médio da carga máxima lida (ruptura), variar mais de 20% em relação ao valor estimado ($F_{est.}$) deve-se adotar o novo valor estimado obtido pelos ensaios já realizados;

e) Deve-se fazer a leitura da carga máxima de cada ensaio e registrar.

3.2.4 - Relatório

- (1) Programa de ensaio:
 - Este item deve conter as seguintes informações:
 - a) Tamanho dos conectores;
 - b) Espécie de madeira;
 - c) Acabamento superficial da madeira.
- (2) Norma de referência;
- (3) Descrição detalhada dos materiais utilizados;
- (4) Descrição das máquinas de ensaio e acessórios utilizados;
- (5) Modelos dos corpos-de-prova empregados e quantidade de corpos-de-prova ensaiados;
- (6) Apresentação dos resultados dos ensaios com valores individuais e valores médios;
- (7) Observações importantes sobre os ensaios, tais como: tipos de ruptura apresentados, defeitos na madeira que interferiram nos ensaios, etc.;
- (8) Data e local da realização dos ensaios.

CAPÍTULO 4

4 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, inicialmente serão apresentados os resultados dos ensaios à tração dos anéis metálicos fechados, os resultados dos ensaios de algumas características físicas e mecânicas das cinco espécies de madeira escolhidas para realizar a pesquisa. Serão também apresentados os resultados relativos aos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados com carga nas direções paralela às fibras e perpendicular às fibras, utilizando anéis metálicos fechados de 64 mm e 102 mm. A seguir, serão feitas a análise dos resultados da experimentação realizada.

4.1 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO AÇO

Os anéis metálicos fechados utilizados na ligação das peças de madeira são da marca Apolo, de aço-carbono com revestimento protetor de zinco. Tal proteção é alcançada pelo processo de imersão a quente e o zinco utilizado deve seguir a qualidade estabelecida na Norma NBR-5580. Os demais dados sobre o anel estão descritos no capítulo 3.

Para a determinação da resistência à tração do aço, inicialmente foi feito um corte no sentido longitudinal de sua altura e, posteriormente, foi feita a abertura do anel na máquina universal, até que ele ficasse totalmente plano, para a realização do ensaio de tração. Foram feitas duas repetições de ensaios para os anéis de 64 mm e duas repetições para os anéis de 102 mm.

Os resultados dos ensaios estão apresentados na tabela 38 e na figura 28, a seguir.

TABELA 38 - Resultados da determinação da resistência à tração do aço

Diâmetro do anel (mm)	Comprimento (mm)	Espessura (mm)	Largura (mm)	Resistência ao Escoamento (daN/cm ²)	Resistência a Ruptura (daN/cm ²)
64	135	3,71	24,73	1800	2800
64	135	3,54	25,17	1800	2800
102	255	4,70	25,51	1800	2800
102	255	4,76	24,81	1800	3200

Quero deixar claro, nesses ensaios não foram adotados uma metodologia exigida pelas normas, apenas uma verificação dos valores obtidos nos ensaios experimentais descritos anteriormente com os valores obtidos na referência bibliográfica do MOLITERNO (1989).

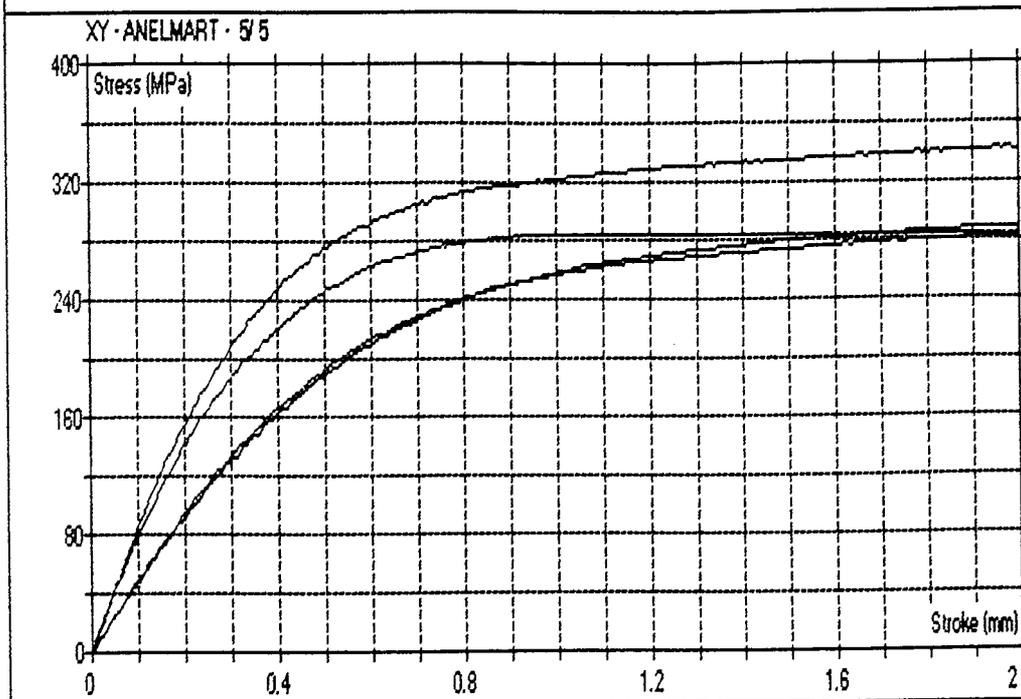


FIGURA 28 - Resultados experimentais da determinação da resistência à tração do aço

4.2 - DETERMINAÇÃO DE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DAS MADEIRAS UTILIZADAS

A análise dos resultados referentes aos ensaios das ligações entre peças de madeira por anéis metálicos requer o conhecimento de algumas propriedades físicas e mecânicas das cinco espécies de madeira utilizadas. Foram adotados, para tal, os procedimentos constantes da NBR 7190 (1996) - Projeto de Estruturas de Madeira. Tendo-se optado pela realização dos ensaios com a madeira na condição verde, as peças foram imersas em água até alcançarem tal situação.

Determinou-se a densidade de cada espécie com objetivo de se garantir que as mesmas representavam as diferentes classes de resistência propostas no texto normativo acima citado.

Os ensaios para a determinação das propriedades mecânicas objetivaram a geração de informações fundamentais para a determinação das velocidades de carregamento dos corpos-de-prova de ligações e para a estimativa da resistência das referidas ligações.

TABELA 39 - Classificação das espécies de madeiras estudadas em função das classes de resistência

Fonte: Projeto de revisão da NBR-7190 (1996)

ESPÉCIES	CLASSES DE RESISTÊNCIAS
Pinus Elliottii	C ₂₀
Cupiúba	C ₃₀
Garapa	C ₃₀
Eucalipto Citriodora	C ₄₀
Jatobá	C ₆₀

TABELA 40 - Dimensões nominais dos corpos-de-prova

ENSAIOS	DIMENSÕES
Umidade	2cm x 3cm x 5cm
Compressão Paralela às Fibras	5cm x 5cm x 20cm
Cisalhamento Paralelo às Fibras	5cm x 5cm x 6cm
Tração Paralela às Fibras	2cm x 5cm x 45cm
Tração Normal às Fibras	5cm x 5cm x 6,35cm
Compressão Normal às Fibras	5cm x 5cm x 10cm

Para facilitar a análise dos resultados, inicialmente foi feita uma tabela com todos os valores obtidos nos ensaios de caracterização para as cinco espécies estudadas. Ver tabela 41.

TABELA 41 - Ensaio de caracterização

ENSAIO:	Compressão Paralela	Compressão Normal	Cisalhamento	Tração Normal
Espécie:	Garapa			
Corpo-de-prova n°	Resistência (daN/cm²)	Resistência (daN/cm²)	Resistência (daN/cm²)	Resistência (daN/cm²)
G ₁₁	516	100	90	63
G ₁₅	531	90	101	56
G ₂₁	477	100	80	85
G ₂₂	485	100	73	88
Espécie	Cupiúba			
CU ₂	392	105	71	51
CU ₃	437	122	76	47
CU ₁₂	401	67	102	51
CU ₁₃	517	92	110	59
Espécie	Eucalipto Citriodora			
EU ₂	761	148	116	106
EU ₃	692	154	125	107
EU ₈	558	147	131	98
EU ₉	635	138	175	81
Espécie	Jatobá			
JA ₆	713	120	195	15
JA ₈	509	130	180	114
JA ₁₂	576	120	101	48
JA ₁₃	636	120	94	48
Espécie	Pinus Elliottii			
PI ₃	166	17	58	17
PI ₄	226	38	43	30
PI ₁₁	160	20	41	16
PI ₁₃	203	23	43	20

4.3 - DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS DE LIGAÇÕES - COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

As dimensões dos corpos-de-prova para os ensaios de compressão paralela às fibras das peças ligadas por anéis metálicos fechados nas dimensões de 64 mm e 102 mm, foram estabelecidos com base nos métodos de ensaios e critérios de dimensionamento das Normas Internacionais citadas no capítulo 2.

A montagem para a experimentação foi realizada no LaMEM. Adotou-se o modelo do corpo-de-prova formado por uma peça central e duas cobrejuntas, já descrito no capítulo anterior.

Para fazer o encaixe do anel, utilizou-se uma ferramenta especial projetada e construída no LaMEM, formada por facas para fazer a ranhura (sulco) para o encaixe dos anéis. O corpo principal da ferramenta foi projetado para acoplar a broca para confeccionar o furo nas peças de madeira, por onde passará o parafuso.

A ranhura (sulco) para encaixar os anéis deve ser maior que a espessura dos anéis, devendo seguir as dimensões citadas na tabela 33 do capítulo 3. Sua colocação é feita com o auxílio de um martelo, cujo impacto não deve afetar nem prejudicar as peças.

Os parafusos e arruelas também obedeceram às dimensões citadas na tabela 33 do capítulo 3. O diâmetro do furo é sempre maior que o do parafuso, para evitar que ele colabore na capacidade de carga dos anéis. Adotaram-se as dimensões das arruelas, para evitar que ocorresse uma pressão elevada, com isso esmagando a madeira naquela região.

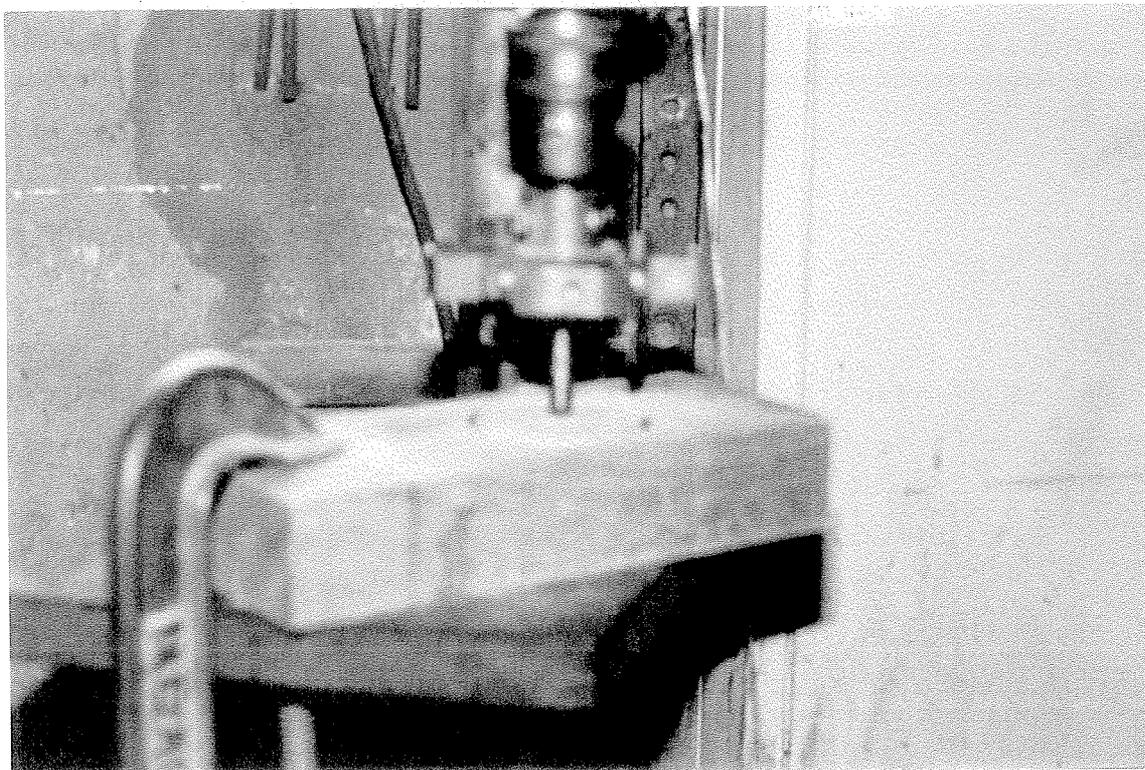


FIGURA 29 - Preparação dos corpos-de-prova

Após a montagem dos corpos-de-prova foi realizado o ensaio propriamente dito. De início, são colocados dois relógios comparadores de 0,001 mm para se fazerem as leituras das deformações (um em cada face do corpo-de-prova) e se obterem as deformações médias, como mostra a figura 30. Esses ensaios foram realizados na Máquina Universal Amsler, com capacidade máxima de 25000 daN. Foi controlada a velocidade de carregamento, juntamente com o intervalo de carregamento.

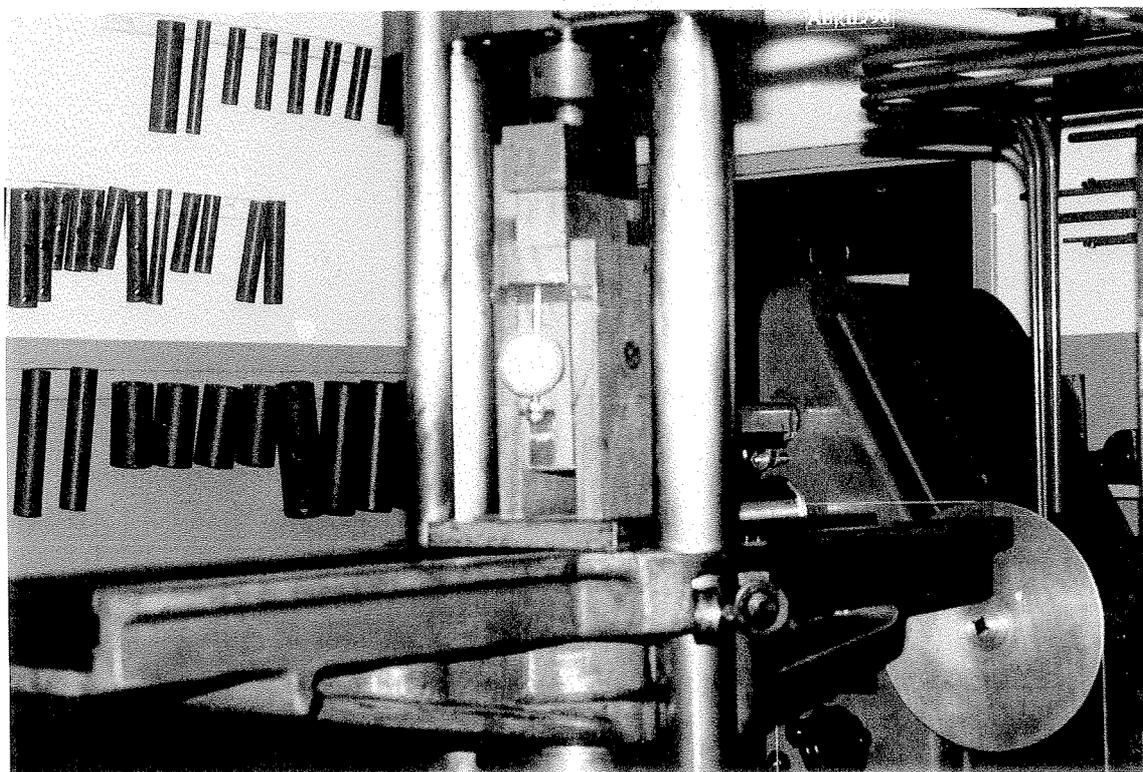


FIGURA 30 - Ensaio de compressão paralela às fibras

Nos ensaios de corpos-de-prova submetidos à compressão paralela às fibras com anéis metálicos fechados nas dimensões de 64 mm e de 102 mm, a ruptura ocorreu sempre por cisalhamento da parte interna do anel, de pelo menos uma das seções cisalhadas da peça principal e das cobrejuntas, como mostra a figura 31. Foram preparados e ensaiados dois corpos-de-prova por espécie, para cada diâmetro do anel.

Os resultados desses ensaios estão apresentados nos gráficos e tabelas em seqüência, de acordo com as espécies ensaiadas.

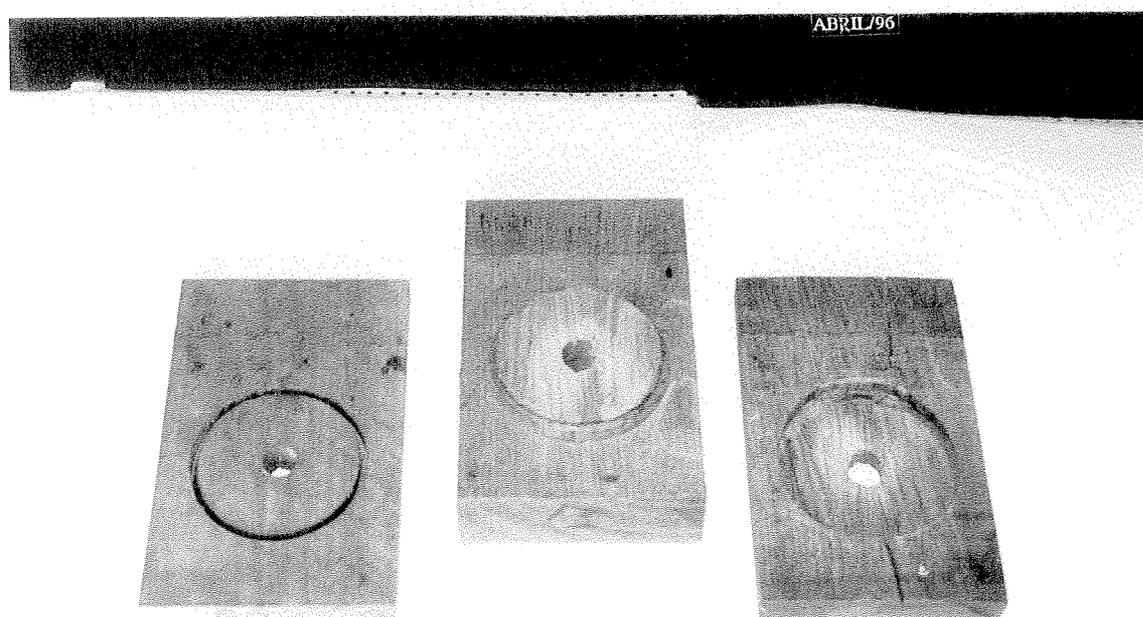


FIGURA 31 - Ruptura das peças ensaiadas

4.4 - DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS DE LIGAÇÕES - COMPRESSÃO NORMAL ÀS FIBRAS

As dimensões dos corpos-de-prova, para os ensaios de compressão normal às fibras das peças ligadas por anéis metálicos fechados nas dimensões de 64 mm e 102 mm, foram estabelecidos com base nos

métodos de ensaios e critérios de dimensionamento das Normas Internacionais citadas no capítulo 2.

A montagem para a experimentação foi realizada no LaMEM. Adotou-se o modelo do corpo-de-prova formado por uma peça central e duas cobrejuntas, já descrito no capítulo anterior.

Para fazer o encaixe do anel utilizou-se uma ferramenta especial projetada e construída no LaMEM, formada por facas para fazer a ranhura (sulco) para o encaixe dos anéis. O corpo principal da ferramenta foi projetado para acoplar a broca, para confeccionar o furo nas peças de madeira, por onde passará o parafuso.

A ranhura (sulco) para encaixar os anéis deve ser maior que a espessura dos anéis, devendo seguir as dimensões citadas na tabela 33 do capítulo 3. Sua colocação é feita com o auxílio de um martelo, cujo impacto não deve afetar e nem prejudicar as peças.

Os parafusos e arruelas também obedeceram às dimensões citadas na tabela 33 do capítulo 3. O diâmetro do furo é sempre maior que o do parafuso, para evitar que ele colabore na capacidade de carga dos anéis. Adotaram-se as dimensões das arruelas, para evitar que ocorresse uma pressão elevada, com isso esmagando a madeira naquela região.

Após a montagem dos corpos-de-prova foi realizado o ensaio propriamente dito. De início, são colocados dois relógios comparadores de 0,01 mm (um em cada face do corpo-de-prova) para se fazerem as leituras das deformações e se obterem as deformações médias, como mostra a figura 32. Esses ensaios foram realizados na Máquina Universal Amsler, com capacidade máxima de 25000 daN. Foi controlada a velocidade de carregamento, juntamente com o intervalo de carregamento.

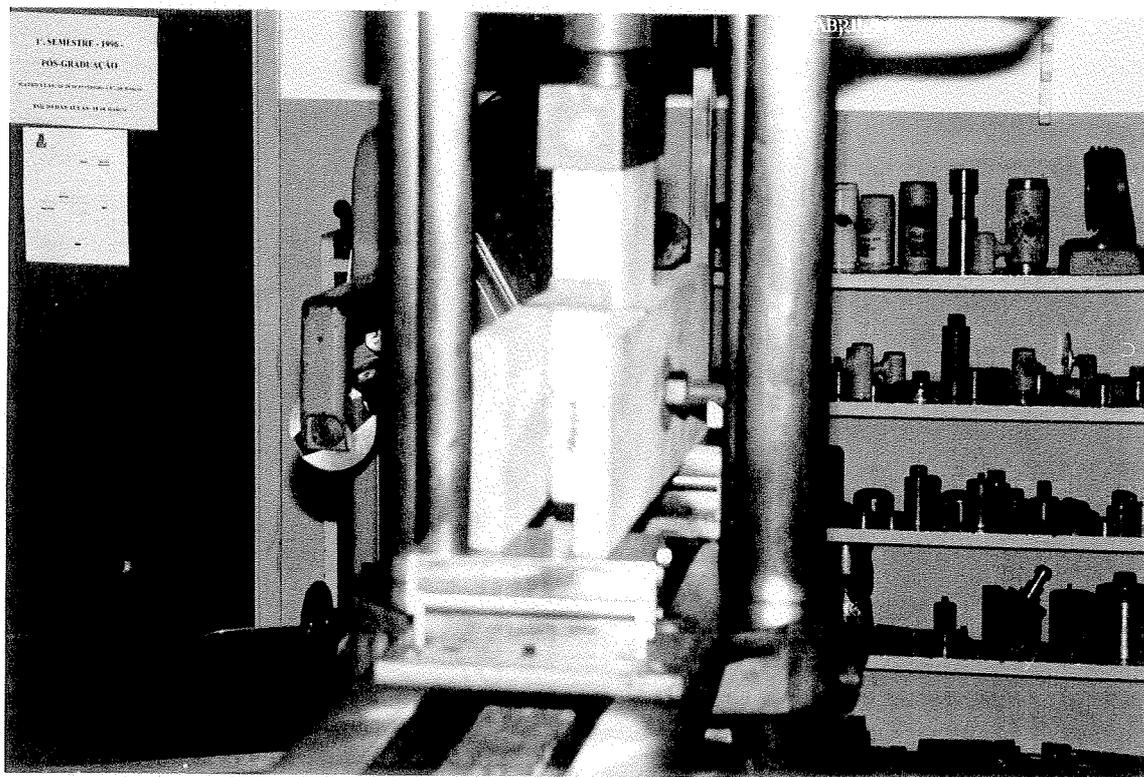


FIGURA 32 - Ensaio de compressão normal às fibras

Nos ensaios de corpos-de-prova submetidos à compressão normal às fibras com anéis metálicos fechados nas dimensões de 64 mm e de 102 mm, a ruptura ocorreu por cisalhamento acompanhada da ruptura por tração normal da parte interna do anel, de pelo menos uma das seções cisalhadas da peça principal e das cobrejuntas, como mostra a figura 33. Foram preparados e ensaiados dois corpos-de-prova por espécie, para cada diâmetro do anel.

Os resultados desses ensaios estão apresentados nos gráficos e tabelas em seqüência, de acordo com as espécies ensaiadas.

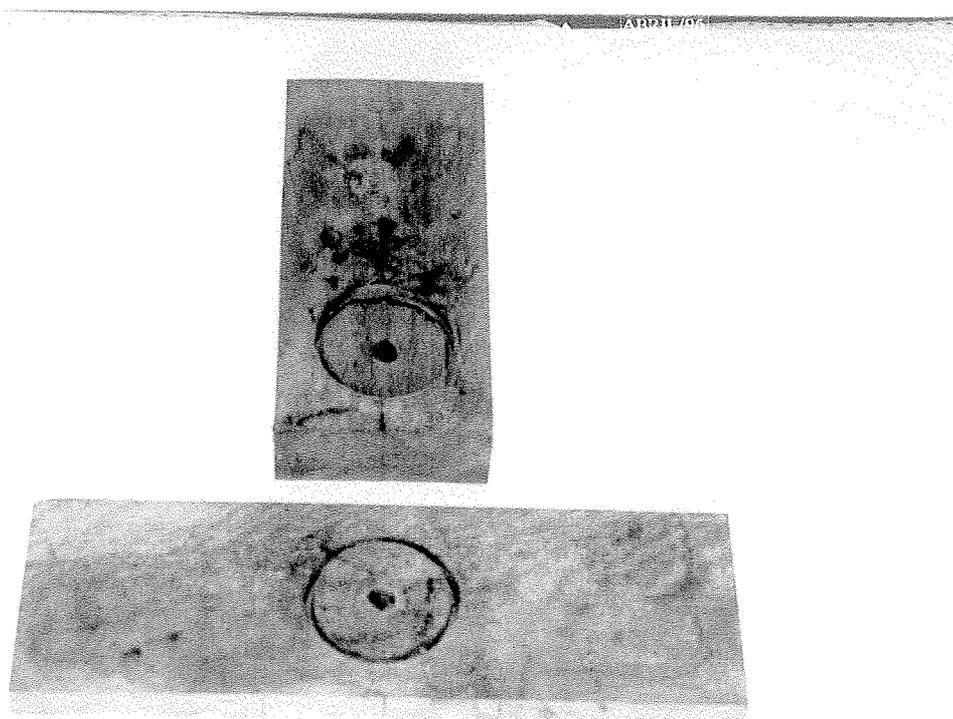
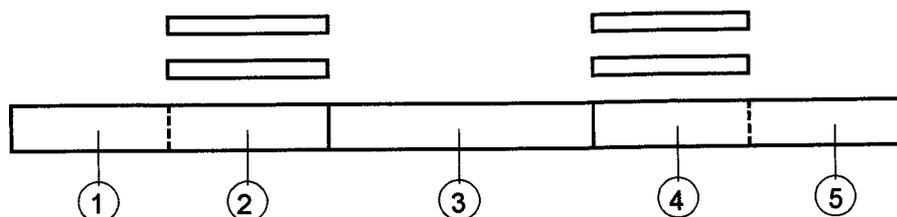


FIGURA 33 - Ruptura das peças ensaiadas

A figura 34 mostra um esquema da retirada dos corpos-de-prova para os ensaios de compressão paralela às fibras, compressão normal às fibras e caracterização das espécies estudadas.



- 1 - Peça principal do ensaio de compressão paralela às fibras;
- 2 - Peça das cobrejuntas do ensaio de compressão paralela às fibras;
- 3 - Peça para ensaio de caracterização física e mecânica;
- 4 - Peça das cobrejuntas do ensaio de compressão normal às fibras;
- 5 - Peça principal do ensaio de compressão normal às fibras.

FIGURA 34 - Esquema de corte das vigas para montagem dos corpos-de-prova para ensaios de compressão paralela às fibras e normal às fibras.

4.5 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Foram realizados ensaios de peças de madeiras ligadas por anéis metálicos fechados, nas dimensões de 64 mm e 102 mm.

No eixo "x" apresentam valores das deformações específicas e no eixo "y" apresentam valores das cargas. A deformação específica é a média das deformações dividida pela distância nominal entre as duas linhas de pregação das cantoneiras de fixação dos relógios comparadores. São apresentadas duas repetições por espécie e por dimensões dos anéis metálicos fechados, mostrados a seguir.

Foi utilizada simbologia a seguir exemplificada, para identificar cada peça ensaiada: Ex: ANC12CN1

AN = serve para indicar o tipo de conector utilizado, no caso os anéis metálicos fechados;

C = indica a espécie de madeira utilizada, neste exemplo foi a Cupiúba;

12 = é o número da viga da qual foram retiradas as peças para montar o corpo-de-prova de ligação;

CN1 = indica o tipo de ensaio a que a peça estará sendo submetida, neste exemplo compressão normal às fibras.

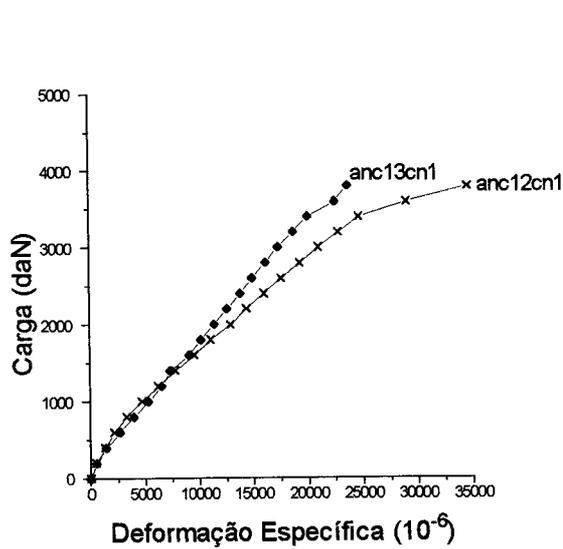


FIGURA 35 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão normal às fibras - Cupiúba.

ANC12CN1	
X	Y
0	0
500	200
1330	400
2160	600
3330	800
4750	1000
6250	1200
7830	1400
9580	1600
11080	1800
12910	2000
14410	2200
16000	2400
17600	2600
19300	2800
21000	3000
22800	3200
24700	3400
29000	3600
34600	3800

ANC13CN1	
X	Y
0	0
500	200
1410	400
2660	600
4000	800
5330	1000
6580	1200
7330	1400
9080	1600
10160	1800
11400	2000
12600	2200
13830	2400
14910	2600
16160	2800
17300	3000
18660	3200
20000	3400
22500	3600
23660	3800
24830	4000

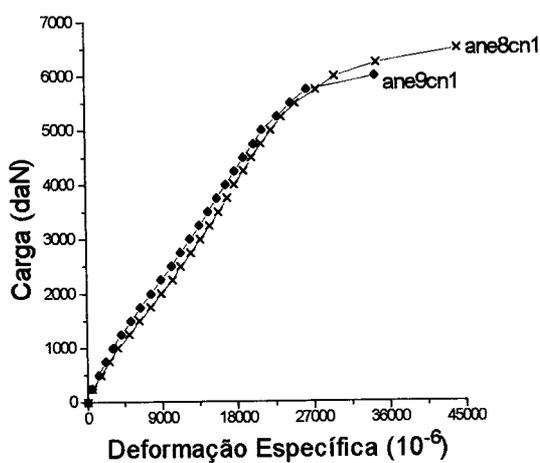


FIGURA 36 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão normal às fibras - Eucalipto Citriodora

ANE8CN1	
X	Y
0	0
583	250
1583	500
2583	750
3666	1000
5083	1250
6250	1500
7666	1750
8916	2000
10333	2250
11333	2500
12500	2750
13666	3000
14833	3250
15833	3500
16916	3750
17750	4000
18916	4250
19833	4500
21000	4750
22166	5000
23416	5250
25083	5500
27500	5750
29750	6000
34666	6250
44333	6500

ANE9CN1	
X	Y
0	0
500	250
1333	500
2166	750
3000	1000
4083	1250
5250	1500
6416	1750
7666	2000
8916	2250
10166	2500
11250	2750
12416	3000
13583	3250
14583	3500
15666	3750
16750	4000
17833	4250
18916	4500
20083	4750
21083	5000
22916	5250
24500	5500
26416	5750
34500	6000

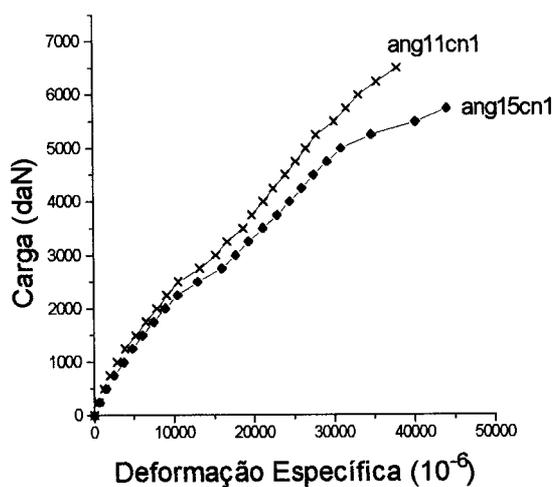


FIGURA 37 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão normal às fibras - Garapa.

ANG11CN1	
X	Y
0	0
583	250
1300	500
2000	750
2900	1000
3900	1250
5250	1500
6500	1750
7920	2000
9160	2250
10580	2500
13250	2750
15250	3000
16660	3250
18660	3500
19800	3750
21250	4000
22500	4250
24000	4500
25300	4750
26600	5000
27920	5250
30160	5500
31660	5750
33250	6000
35416	6250
38000	6500

ANG15CN1	
X	Y
0	0
666	250
1500	500
2500	750
3750	1000
4830	1250
6060	1500
7500	1750
8920	2000
10500	2250
13000	2500
16000	2750
17750	3000
19330	3250
21160	3500
23000	3750
24500	4000
26060	4250
27500	4500
29250	4750
31000	5000
34750	5250
40250	5500
44166	5750

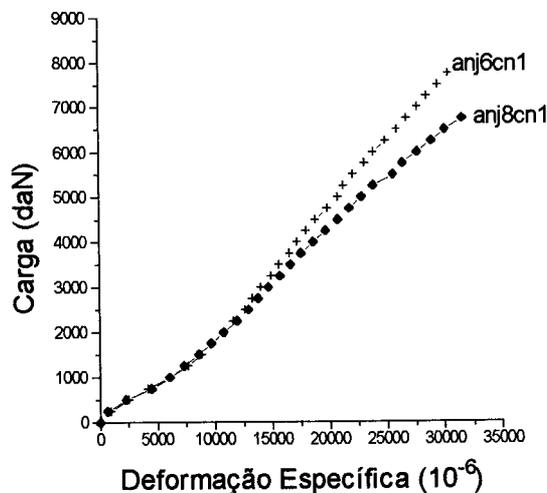


FIGURA 38 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão normal às fibras - Jatobá

ANJ6CN1	
X	Y
0	0
916	250
2500	500
4166	750
6000	1000
7660	1250
8833	1500
9750	1750
10750	2000
11583	2250
12583	2500
13250	2750
14000	3000
14916	3250
15583	3500
16500	3750
17166	4000
17916	4250
18750	4500
19833	4750
20750	5000
21250	5250
22083	5500
23083	5750
23833	6000
24916	6250
25916	6500
26750	6750
27666	7000
28500	7250
29500	7500
30416	7750

ANJ8CN1	
X	Y
0	0
666	250
2250	500
4500	750
6063	1000
7333	1250
8583	1500
9666	1750
10750	2000
11916	2250
12916	2500
13750	2750
14666	3000
15666	3250
16583	3500
17500	3750
18583	4000
19666	4250
20750	4500
21750	4750
22833	5000
23833	5250
25583	5500
26416	5750
27666	6000
28916	6250
30063	6500
31583	6750

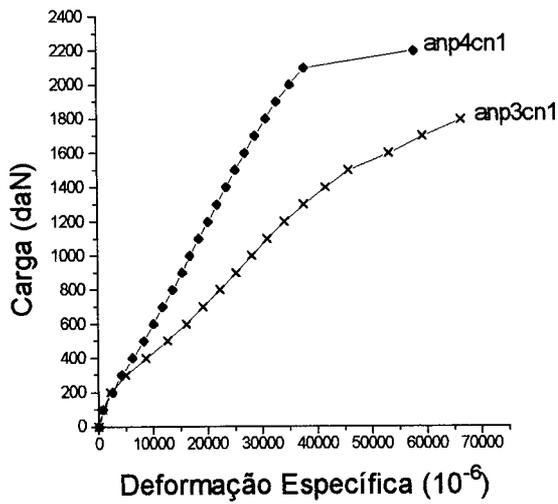


FIGURA 39 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão normal às fibras -Pinus Elliottii

ANP3CN1	
X	Y
0	0
666	100
2166	200
5000	300
8750	400
12660	500
16166	600
19166	700
22330	800
25330	900
28250	1000
31080	1100
34250	1200
37750	1300
41750	1400
45830	1500
53250	1600
59410	1700
66500	1800

ANP4CN1	
X	Y
0	0
750	100
2500	200
4250	300
6250	400
8333	500
10166	600
11833	700
13660	800
15416	900
16916	1000
18500	1100
20166	1200
21916	1300
23583	1400
25250	1500
27083	1600
28916	1700
30833	1800
32833	1900
35250	2000
37916	2100
57916	2200

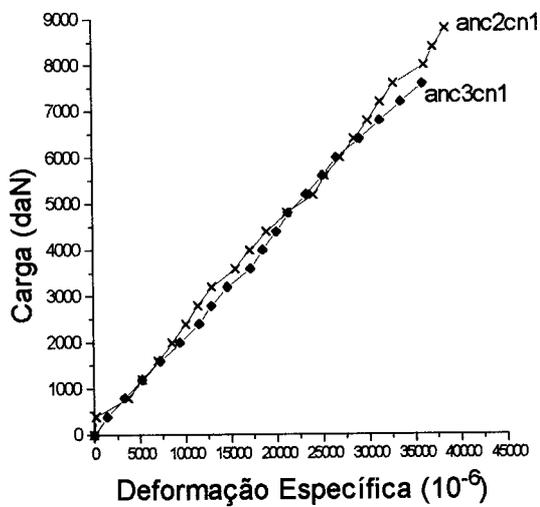


FIGURA 40 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão normal às fibras -Cupiúba

ANC2CN1	
X	Y
0	0
156	400
3750	800
5310	1200
7000	1600
8560	2000
10060	2400
11430	2800
12930	3200
15500	3600
17120	4000
18940	4400
21190	4800
24000	5200
25300	5600
26990	6000
28490	6400
29990	6800
31360	7200
32890	7600
36170	8000
37160	8400
38460	8800

ANC3CN1	
X	Y
0	0
1370	400
3310	800
5250	1200
7250	1600
9430	2000
11560	2400
12870	2800
14620	3200
17180	3600
18500	4000
19990	4400
21300	4800
23240	5200
25070	5600
26560	6000
29120	6400
31270	6600
33620	7000
35980	7400

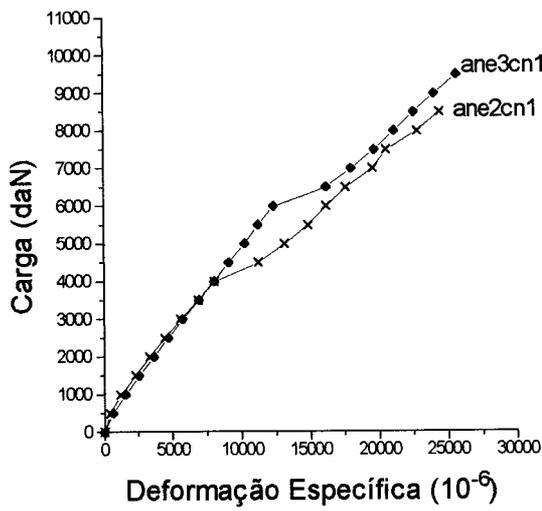


FIGURA 41 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão normal às fibras -Eucalipto Citriodora

ANE2CN1	
X	Y
0	0
437	500
1187	1000
2312	1500
3312	2000
4437	2500
5625	3000
6875	3500
8062	4000
11250	4500
13187	5000
14875	5500
16187	6000
17625	6500
19562	7000
20562	7500
22812	8000
24437	8500

ANE3CN1	
X	Y
0	0
625	500
1562	1000
2562	1500
3625	2000
4687	2500
5750	3000
6937	3500
8062	4000
9125	4500
10250	5000
11250	5500
12375	6000
16187	6500
18000	7000
19687	7500
21125	8000
22562	8500
24062	9000
25687	9500

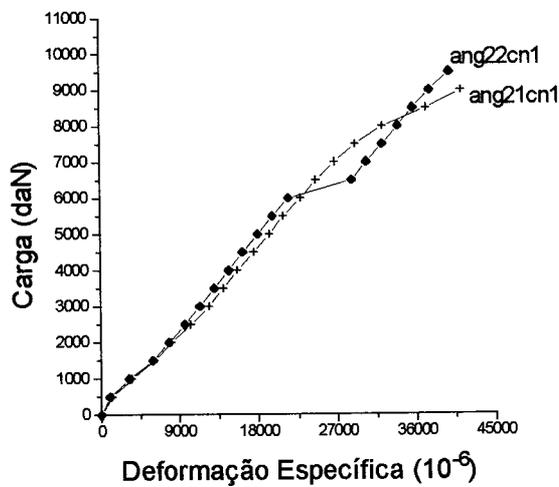
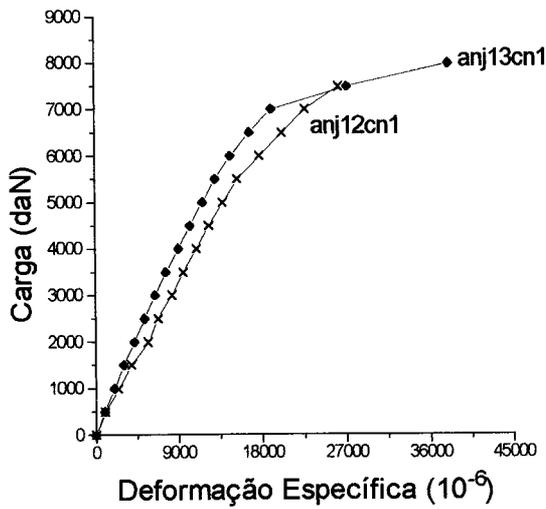


FIGURA 42 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão normal às fibras -Garapa

ANG21CN1	
X	Y
0	0
1250	500
3500	1000
6125	1500
8125	2000
10310	2500
12370	3000
14000	3500
15620	4000
17500	4500
19250	5000
20870	5500
22810	6000
24620	6500
26750	7000
29120	7500
32250	8000
37190	8500
41190	9000

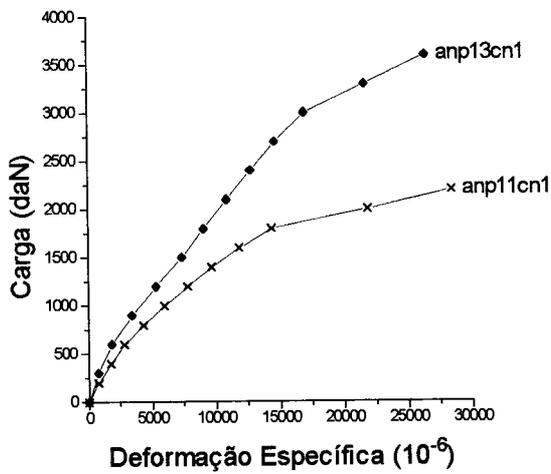
ANG22CN1	
X	Y
0	0
1000	500
3250	1000
5937	1500
7812	2000
9625	2500
11370	3000
13000	3500
14620	4000
16250	4500
17930	5000
19620	5500
21440	6000
28690	6500
30370	7000
32190	7500
34000	8000
35690	8500
37620	9000
39870	9500



ANJ12CN1	
X	Y
0	0
1000	500
2437	1000
3875	1500
5687	2000
6750	2500
8250	3000
9500	3500
10937	4000
12312	4500
13812	5000
15375	5500
17812	6000
20187	6500
22680	7000
26250	7500
48680	8000

ANJ13CN1	
X	Y
0	0
937	500
2000	1000
3000	1500
4187	2000
5250	2500
6437	3000
7625	3500
9000	4000
10250	4500
11625	5000
13000	5500
14625	6000
16687	6500
19062	7000
27180	7500
38060	8000

FIGURA 43 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão normal às fibras -Jatobá



ANP11CN1	
X	Y
0	0
750	200
1750	400
2812	600
4312	800
6000	1000
7812	1200
9687	1400
11875	1600
14375	1800
21875	2000
28430	2200

ANP13CN1	
X	Y
0	0
750	300
1812	600
3437	900
5312	1200
7375	1500
9062	1800
10875	2100
12750	2400
14625	2700
16937	3000
21625	3300
26375	3600

FIGURA 44 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão normal às fibras -Pinus Elliottii

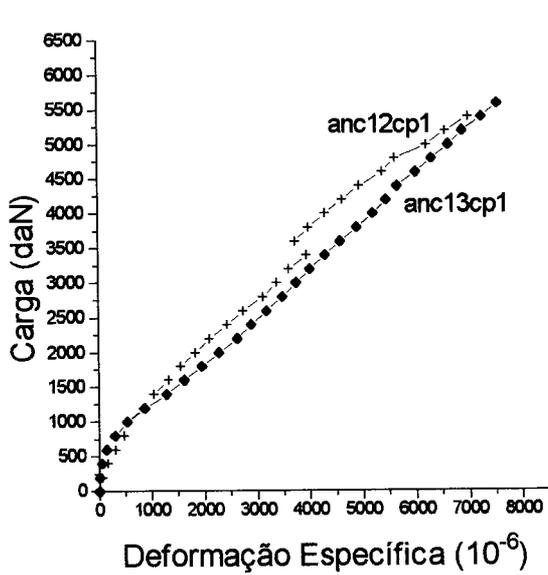


FIGURA 45 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão paralela às fibras - Cupiúba

ANC12CP1

X	Y
0	0
50	200
155	400
310	600
475	800
530	1000
840	1200
1045	1400
1315	1600
1545	1800
1835	2000
2100	2200
2435	2400
2745	2600
3110	2800
3385	3000
3610	3200
3950	3400
3725	3600
3985	3800
4300	4000
4620	4200
4950	4400
5380	4600
5625	4800
6215	5000
6575	5200
7000	5400
7550	5600

ANC13CP1

X	Y
0	0
5	200
50	400
140	600
305	800
540	1000
870	1200
1285	1400
1620	1600
1955	1800
2280	2000
2625	2200
2890	2400
3190	2600
3490	2800
3750	3000
4010	3200
4295	3400
4585	3600
4900	3800
5210	4000
5465	4200
5675	4400
6015	4600
6320	4800
6635	5000
6895	5200
7260	5400
7560	5600

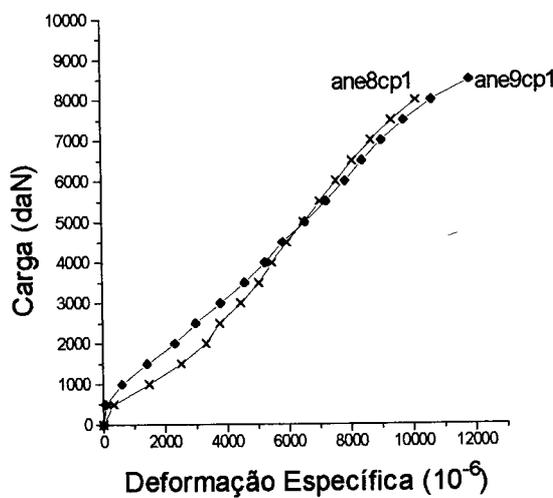


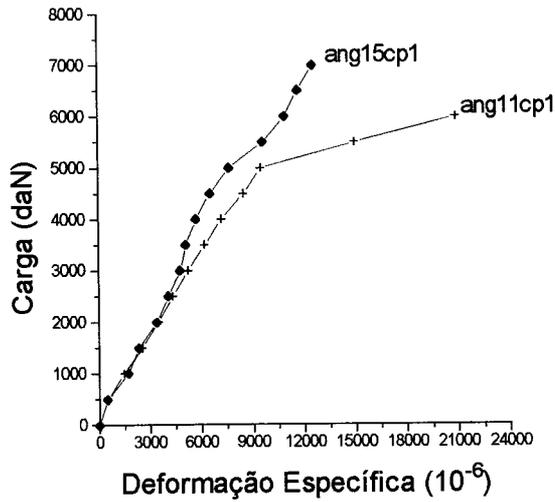
FIGURA 46 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão paralela às fibras - Eucalipto Citriodora.

ANE8CP1

X	Y
0	0
335	500
1485	1000
2525	1500
3325	2000
3765	2500
4445	3000
5050	3500
5460	4000
5950	4500
6520	5000
7025	5500
7550	6000
8075	6500
8690	7000
9350	7500
10135	8000

ANE9CP1

X	y
0	0
65	500
595	1000
1425	1500
2320	2000
2995	2500
3800	3000
4575	3500
5235	4000
5825	4500
6550	5000
7225	5500
7845	6000
8400	6500
9025	7000
9750	7500
10645	8000
11850	8500



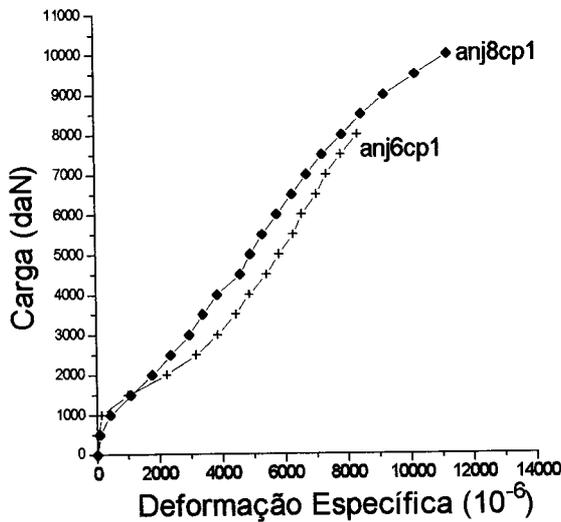
ANG11CP1

X	Y
0	0
515	500
1490	1000
2550	1500
3500	2000
4375	2500
5265	3000
6225	3500
7200	4000
8500	4500
9500	5000
15000	5500
20900	6000

ANG15CP1

X	Y
0	0
480	500
1725	1000
2350	1500
3415	2000
4100	2500
4775	3000
5115	3500
5725	4000
6550	4500
7650	5000
9625	5500
10915	6000
11675	6500
12550	7000

FIGURA 47 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão paralela às fibras - Garapa



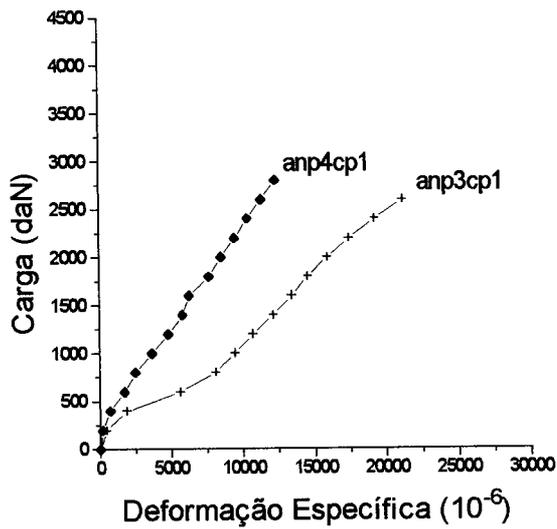
ANJ6CP1

X	Y
0	0
45	500
140	1000
1000	1500
2245	2000
3180	2500
3860	3000
4450	3500
4875	4000
5425	4500
5840	5000
6295	5500
6575	6000
7040	6500
7375	7000
7840	7500
8375	8000

ANJ8CP1

X	Y
0	0
85	500
430	1000
1085	1500
1785	2000
2375	2500
2965	3000
3400	3500
3850	4000
4590	4500
4925	5000
5305	5500
5790	6000
6275	6500
6740	7000
7245	7500
7880	8000
8500	8500
9240	9000
10225	9500
11250	10000

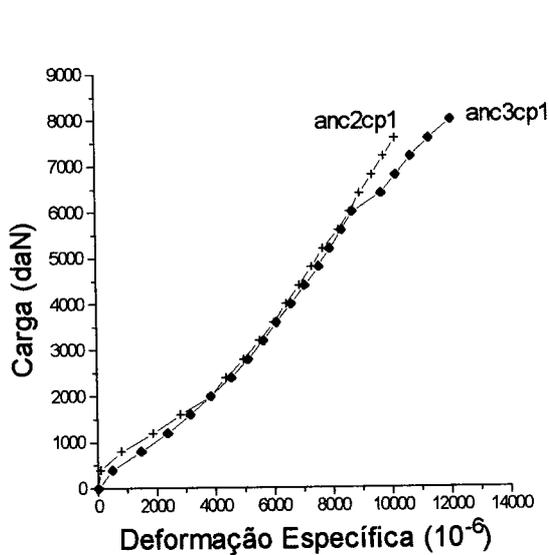
FIGURA 48 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão paralela às fibras - Jatobá



ANP3CP1	
X	Y
0	0
440	200
1870	400
5625	600
8100	800
9445	1000
10695	1200
12150	1400
13400	1600
14545	1800
15900	2000
17425	2200
19225	2400
21150	2600

ANP4CP1	
X	Y
0	0
185	200
705	400
1725	600
2525	800
3670	1000
4825	1200
5810	1400
6270	1600
7675	1800
8500	2000
9475	2200
10375	2400
11320	2600
12300	2800

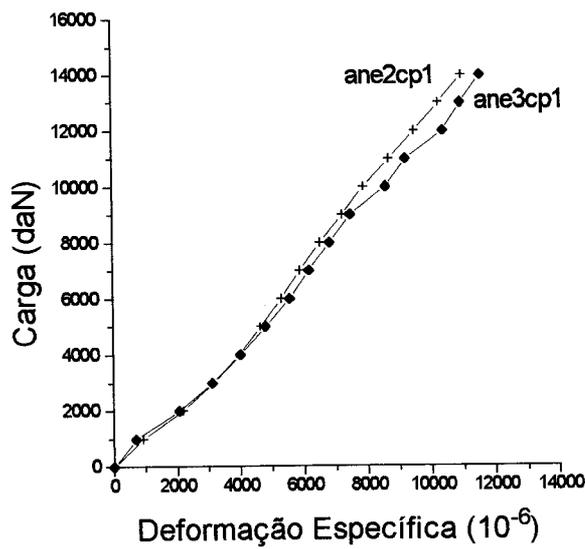
FIGURA 49 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 64 mm - compressão paralela às fibras - Pinus Elliottii



ANC2CP1	
X	Y
0	0
70	400
800	800
1875	1200
2825	1600
3850	2000
4375	2400
4975	2800
5520	3200
6025	3600
6435	4000
6885	4400
7300	4800
7700	5200
8240	5600
8625	6000
8960	6400
9385	6800
9775	7200
10175	7600
10580	7800

ANC3CP1	
X	Y
0	0
490	400
1475	800
2385	1200
3150	1600
3850	2000
4550	2400
5125	2800
5650	3200
6100	3600
6600	4000
7075	4400
7550	4800
7925	5200
8350	5600
8700	6000
9700	6400
10200	6800
10700	7200
11325	7600
12050	8000

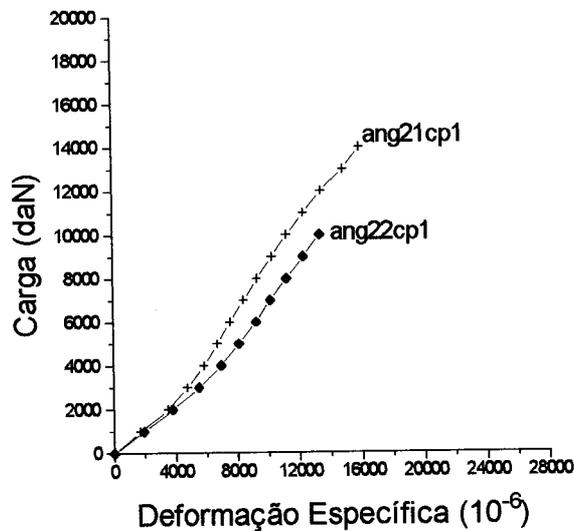
FIGURA 50 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão paralela às fibras - Cupiúba



ANE2CP1	
X	Y
0	0
920	1000
2185	2000
3150	3000
3975	4000
4645	5000
5300	6000
5875	7000
6530	8000
7225	9000
7900	10000
8700	11000
9605	12000
10270	13000
10975	14000
11835	15000

ANE3CP1	
X	Y
0	0
710	1000
2080	2000
3120	3000
4010	4000
4800	5000
5570	6000
6175	7000
6825	8000
7475	9000
8595	10000
9225	11000
10400	12000
10940	13000
11555	14000
12900	15000

FIGURA 51 -- Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão paralela às fibras - Eucalypto Citriodora



ANG21CP1	
X	Y
0	0
1675	1000
3500	2000
4750	3000
5825	4000
6700	5000
7525	6000
8410	7000
9300	8000
10250	9000
11185	10000
12275	11000
13415	12000
14850	13000
15900	14000

ANG22CP1	
X	Y
0	0
1925	1000
3800	2000
5500	3000
6950	4000
8100	5000
9225	6000
10150	7000
11200	8000
12270	9000
13325	10000

FIGURA 52 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão paralela às fibras - Garapa

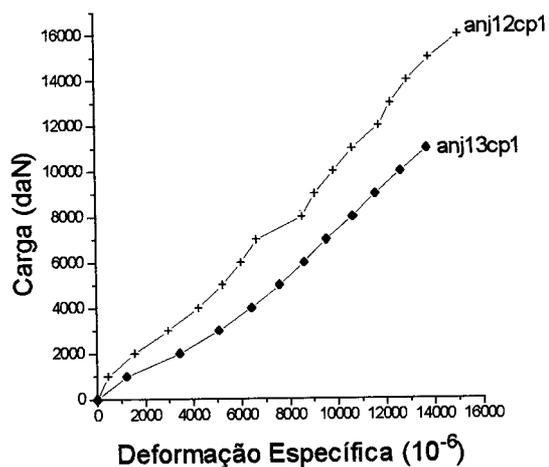


FIGURA 53 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão paralela às fibras - Jatobá

ANJ12CP1	
X	Y
0	0
440	1000
1550	2000
2950	3000
4225	4000
5225	5000
6000	6000
6650	7000
8550	8000
9075	9000
9875	10000
10650	11000
11750	12000
12250	13000
12950	14000
13850	15000
15050	16000

ANJ13CP1	
X	Y
0	0
1225	1000
3445	2000
5085	3000
6420	4000
7800	5000
8640	6000
9560	7000
10650	8000
11585	9000
12650	10000
13735	11000

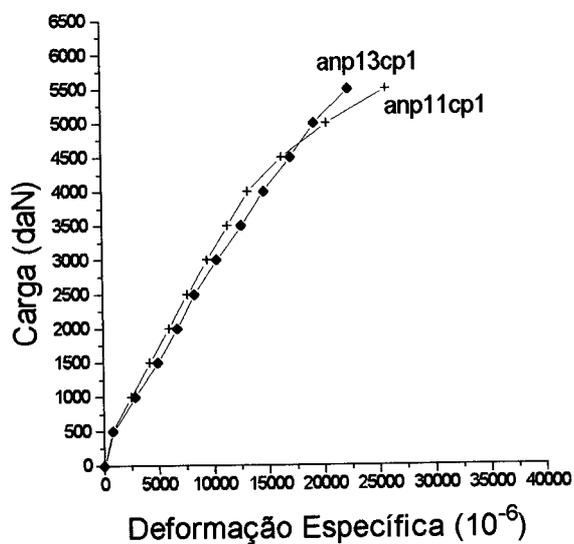


FIGURA 54 - Resultados dos ensaios de ligações com anéis metálicos fechados para anéis de 102 mm - compressão paralela às fibras -Pinus Elliottii

ANP11CP1	
X	Y
0	0
745	500
2500	1000
4250	1500
6000	2000
7700	2500
9475	3000
11350	3500
13225	4000
16275	4500
20400	5000
25800	5500

ANP13CP1	
X	Y
0	0
800	500
2870	1000
4975	1500
6750	2000
8325	2500
10350	3000
12600	3500
14670	4000
17105	4500
19275	5000
22400	5500

Nas tabelas 42, 43, 44, 45 e 46, a seguir, estão apresentados os resultados obtidos na experimentação realizada.

Nas linhas denominadas 1 constam os valores das forças correspondentes à ruptura dos corpos-de-prova, isto é, as forças máximas resistidas pelos corpos-de-prova nos ensaios.

Nas linhas denominadas 2 estão apresentados os valores estimados teoricamente F_t das forças que levam o corpo-de-prova à ruptura:

$$F_t = 2 \left(\frac{\pi \phi^2}{4} \right) f_{ww}$$

Sendo:

ϕ = diâmetro interno do anel;

f_{ww} = resistência da madeira ao cisalhamento.

TABELA 42 - Resultados: Garapa

ESPÉCIE: GARAPA - UNIDADE: daN								
	Compressão Paralela				Compressão Normal			
	Anel de 64mm		Anel de 102mm		Anel de 64mm		Anel de 102mm	
	CP n		CP n		CP n		CP n	
	Anel _{G11}	Anel _{G15}	Anel _{G21}	Anel _{G22}	Anel _{G11}	Anel _{G15}	Anel _{G21}	Anel _{G22}
1	8000	7500	15300	12200	6870	5800	11400	9600
2	5791	6498	13074	11930	5791	6498	13074	11930

TABELA 43 - Resultados: Cupiúba

ESPÉCIE: CUPÍUBA - UNIDADE: daN								
	Compressão Paralela				Compressão Normal			
	Anel de 64mm		Anel de 102mm		Anel de 64mm		Anel de 102mm	
	CP n		CP n		CP n		CP n	
	Anel _{C12}	Anel _{C13}	Anel _{C2}	Anel _{C3}	Anel _{C12}	Anel _{C13}	Anel _{C2}	Anel _{C3}
1	8200	8950	11300	14650	4300	4740	8950	10680
2	6563	7077	11604	12497	6563	7077	11604	12497

TABELA 44 - Resultados: Eucalipto Citriodora

ESPÉCIE: EUCALIPTO CITRIODORA - UNIDADE: daN								
	Compressão Paralela				Compressão Normal			
	Anel de 64mm		Anel de 102mm		Anel de 64mm		Anel de 102mm	
	CP n		CP n		CP n		CP n	
	Anel _{E8}	Anel _{E9}	Anel _{E2}	Anel _{E3}	Anel _{E8}	Anel _{E9}	Anel _{E2}	Anel _{E3}
1	9600	10150	20500	20300	8020	9230	18300	19500
2	8429	11230	18958	20429	8429	11230	18958	20429

TABELA - 45 - Resultados: Jatobá

ESPÉCIE: JATOBA - UNIDADE: daN								
	Compressão Paralela				Compressão Normal			
	Anel de 64mm		Anel de 102mm		Anel de 64mm		Anel de 102mm	
	CP n		CP n		CP n		CP n	
	Anel _{J8}	Anel _{J8}	Anel _{J12}	Anel _{J13}	Anel _{J8}	Anel _{J8}	Anel _{J12}	Anel _{J13}
1	12900	12650	18950	17000	11000	11300	18200	16700
2	12546	11581	16506	15362	12546	11581	16506	15362

TABELA 46 - Resultados: Pinus Elliottii

ESPÉCIE: PINUS ELLIOTTII - UNIDADE: daN								
	Compressão Paralela				Compressão Normal			
	Anel de 64mm		Anel de 102mm		Anel de 64mm		Anel de 102mm	
	CP n		CP n		CP n		CP n	
	Anel _{P3}	Anel _{P4}	Anel _{P11}	Anel _{P13}	Anel _{P3}	Anel _{P4}	Anel _{P11}	Anel _{P13}
1	2920	3090	6130	6050	2870	3610	5440	5600
2	3732	2766	6742	7027	3732	2766	6742	7027

4.6 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

A análise estatística foi conduzida a partir dos resultados da experimentação anteriormente descrita.

Essencialmente foi adotado o procedimento conhecido por comparações de pares. Em linhas gerais, é feita a determinação do intervalo de confiança da média das diferenças entre valores individuais "pareados". Foi adotado nível de 95% de confiança, usual em problemas de engenharia. Quando o intervalo de confiança contém o zero, os conjuntos de resultados comparados podem ser considerados "estatisticamente equivalentes", e o modelo teórico é admitido como adequado para representar o fenômeno estudado.

Na análise em questão foi feita a comparação entre os conjuntos de valores constantes das linhas 1 e 2 das tabelas 42, 43, 44, 45 e 46, constantes do item 4.5.

Nas tabelas 47 a 50 a seguir, são apresentadas as mencionadas comparações de valores.

TABELA 47 - Compressão Normal - Anel com diâmetro de 64 mm. Unidade: daN.

Espécie	Ruptura (1)	F_t (2)	Diferença (1) - (2)
Cupiúba 12	4300	6563	-2263
Cupiúba 13	4740	7077	-2337
Garapa 11	6870	5791	1079
Garapa 15	5800	6498	-698
Eucalipto citriodora 8	8020	8429	-409
Eucalipto citriodora 9	9230	11230	-2000
Jatobá 6	11000	12546	-1546
Jatobá 8	11300	11581	-281
Pinus elliottii 3	2870	3732	-862
Pinus elliottii 4	3610	2766	844
Soma das diferenças			8473
Média das diferenças			-847
Desvio padrão das diferenças			1209
Int. de confiança da média das diferenças			$-1712 \leq \mu \leq 18$

TABELA 48 - Compressão Normal - Anel com diâmetro de 102 mm.
Unidade: daN

Espécie	Ruptura (1)	P_t (2)	Diferença (1) - (2)
Cupiúba 2	8950	11604	-2654
Cupiúba 3	10680	12497	-1817
Garapa 21	11400	13074	-1674
Garapa 22	9600	11930	-2330
Eucalipto citriodora 2	18300	18958	-658
Eucalipto citriodora 3	19500	20429	-929
Jatobá 12	18200	16506	1694
Jatobá 13	16700	15362	1338
Pinus elliottii 11	5440	6742	-1302
Pinus elliottii 13	5600	7027	-1427
Soma das diferenças			-9759
Média das diferenças			-976
Desvio padrão das diferenças			1443
Int. de confiança da média das diferenças			$-2007 \leq \mu \leq 56$

TABELA 49 - Compressão Paralela - Anel com diâmetro de 64 mm.
Unidade: daN.

Espécie	Ruptura (1)	P_t (2)	Diferença (1) - (2)
Cupiúba 12	8200	6563	1637
Cupiúba 13	8950	7077	1873
Garapa 11	8000	5791	2209
Garapa 15	7500	6498	1002
Eucalipto citriodora 8	9600	8429	1171
Eucalipto citriodora 9	10150	11230	-1080
Jatobá 6	12900	12546	354
Jatobá 8	12650	11581	1069
Pinus elliottii 3	2920	3732	-812
Pinus elliottii 4	3090	2766	324
Soma das diferenças			7747
Média das diferenças			775
Desvio padrão das diferenças			1087
Int. de confiança da média das diferenças			$-3 \leq \mu \leq 1553$

TABELA 50 - Compressão Paralela - Anel com diâmetro de 102 mm.
Unidade: daN.

Espécie	Ruptura (1)	P_t (2)	Diferença (1) - (2)
Cupiúba 2	11300	11604	-304
Cupiúba 3	14650	12497	2153
Garapa 21	15300	13074	2226
Garapa 22	12200	11930	270
Eucalipto citriodora 2	20500	18958	1542
Eucalipto citriodora 3	20300	20429	-129
Jatobá 12	18950	16506	2444
Jatobá 13	17000	15362	1638
Pinus elliottii 11	6130	6742	-612
Pinus elliottii 13	6050	7027	-977
Soma das diferenças			8251
Média das diferenças			825
Desvio padrão das diferenças			1305
Int. de confiança da média das diferenças			$-108 \leq \mu \leq 1758$

Diante dos resultados obtidos, conclui-se que o modelo teórico que considera a ruptura por cisalhamento da madeira na região interna aos anéis, pode ser admitido satisfatório para representar o fenômeno estudado.

CAPÍTULO 5

5 - CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente trabalho proporcionou as seguintes conclusões:

- * O método de ensaio proposto, conforme descrição contida no capítulo 3, conduz a resultados que permitem sugerir sua adoção no âmbito da proposta de revisão do texto da NBR - 7190;
- * O modelo teórico baseado na resistência da madeira ao cisalhamento é adequado para a estimativa da resistência da ligação entre peças de madeira através de anéis metálicos;
- * O valor de projeto da força transmitida por um anel metálico fechado (F_d) na ligação entre peças estruturais de madeira, pode ser expresso por:

$$F_d = \frac{\pi\phi^2}{4} f_{wvd} \text{ onde } \phi \text{ é o diâmetro interno do anel, e } f_{wvd} \text{ é o valor de projeto}$$

da resistência da madeira ao cisalhamento;

- * Com a adoção das “classes de resistência” para a madeira, os valores de f_{wvd} poderão ser os correspondentes às referidas classes.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA CITADA

ALMEIDA, P. A. O. & FUSCO, P. B. (1989). Fundamentos para o estabelecimento de um método de ensaio de compressão normal das madeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3, 1989, São Carlos, SP. Anais. São Carlos: USP/EESC/SET/LaMEM, 1989. vol. 4, p. 19 - 26.

ALMEIDA, P. A. O. (1990). Estruturas de grande porte de madeira composta. São Paulo, 1990. 277p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (1981). ASTM D 143 - 52 - Standard methods of testing - small clear specimens of timber. Philadelphia, PA.

ANSI/ASME. (1981). Standard B 18. 2. 1. - 1981, square and hex bolts and screws (inchseries). American Society of Mechanical Engineers. New York, NY.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1982). NBR 7190 - Cálculo e execução de estruturas de madeira : procedimento. Rio de Janeiro.

_____. (1993). NBR 5580 - Tubos de aço - carbono para rosca Whitworth gás para usos comuns na condução de fluidos. Rio de Janeiro.

BENEVENTE, V. A. (1994). Durabilidade em construções de madeira - uma questão de projeto. São Carlos, 1994. 231p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

BLASS, H. J. ; EHLBECK, J. ; SCHALAGER, M. (1992). Characteristic strength of split-ring and shear-plate connections. Working commission W18 - Timber Structures - CIB - W18 / 25 - 7 - 6. Sweden, p.1 - 14, august.

BODIG, G. J. & JAYNE, B. A. (1982). Mechanics of wood and wood composites. New York, Van Nostrand Reinhold, 1982.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. (1989). BS 6948 - British standard methods of test for mechanically fastened joints in timber and wood - based materials. London.

CALIL JR, C. (1988). Análise experimental de materiais e de estruturas. São Carlos, SP, 1988. 227p. (Apostila).

CALIL JR, C. (1994). Treliças de madeira para coberturas. São Carlos, USP/EESC/SET/LaMEM, 1994. 79p. Notas de aula - SET 406 - Estruturas de madeira.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. (1993). CAN/CSA - 086.1 - M89 - engineering design in wood (Limit states design) - structures (design). Canadá.

- CARLOS, V. J. (1995). Preservação de madeiras: o conceito de classes de risco de biodeterioração. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 5, Belo Horizonte, 1995. Anais. Belo Horizonte : UFMG - Departamento de Engenharia de Estruturas, 1995. p.21 - 29.
- CAVALCANTE, M. S. (1975/76). Corrosão em metais causada por preservativos de madeira. Preservação de Madeiras, v.6/7, nº1, 1975/76 p.21-28.
- _____. (1982). Deterioração biológica e preservação de madeiras. Pesquisa & Desenvolvimento 8, São Paulo, IPT, 40p.
- COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS PANAMERICAN STANDARDS COMMISSION. (1972). COPANT 463 - Método de determinación del cizallamiento paralelo al grano. Buenos Aires, Argentina.
- _____. (1972). COPANT 464 - Método de determinación de la compresión axial o paralela al grano. Buenos Aires, Argentina.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. (1987). EUROCODE N° 5 - Common unified rules for timber structures. Luxemburgo.
- DIAS, A. A. (1994). Estudo da solicitação de compressão normal às fibras da madeira. São Carlos, 1994. 144p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. (1988). DIN 1052 parte 2 - Structural use of timber - Mechanically fastened joints. Alemanha.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (1992). EN 912 - Timber fasteners - Specifications for connectors for timber. Bélgica.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (1992). EN - 335 - 2 - Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - définition des classes de risque d'attaque biologique. Partie 2: Application au bois massif. Bélgica.

_____. (1993). EN 383 - Timber structures - Test methods - Determination of embedding strength and foundation values for dowel type fasteners. Bélgica.

FUSCO, P. B. (1992). O estabelecimento de valores de cálculo para o dimensionamento das estruturas de madeira pelo método dos estados limites. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4. 1992, São Carlos. Anais. São Carlos: USP/EESC/SET/LaMEM, 1992. v.2, p.139-151.

FUSCO, P. B.; CALIL JR, C.; ALMEIDA, P. A. O. (1996). NBR 7190 - Projeto da nova norma brasileira NBR 7190 - "Projeto de Estruturas de Madeira". São Paulo.

GALVÃO, A. P. M. (1975) Processos práticos para preservar a madeira. Piracicaba, ESALQ/USP, 1975, 28p.

GALVÃO, A. P. M & JANKOWSKY, I. P. (1985) Secagem racional da madeira. Nobel, São Paulo, SP, 1985.

HELLMEISTER, J. C. (1973). Sobre a determinação das características físicas da madeira. São Carlos, 1973. 161p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

_____. (1983). Madeiras e suas características. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1, São Carlos, 1983. Anais. São Carlos: USP/EESC/SET/LaMEM, 1983. p.1 - 37.

- HILSON, B. O. (1968). The ultimate strength of timber joints with split-ring connectors when loaded parallel to the grain. University of London. p. 6 - 26.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (1983). ISO 6891 - Timber structures - Joints made with mechanical fasteners - General principles for the determination of strength and deformation characteristics.
- JANKOWSKY, I. P. (1986). Os creosotos na preservação de madeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2. 1986, São Carlos. Anais. São Carlos: USP/EESC/SET/LaMEM, 1986. p.40-49.
- KOLLMANN, F. (1959). Tecnologia de la madera y sus aplicaciones. Madrid, 1959. v.1.
- KOLLMANN, F. & CÔTE, W. A. (1968). Principles of wood science and technology. Germany, Springer-Verlag, p.293. 1968
- LABORATÓRIO DE MADEIRAS E DE ESTRUTURAS DE MADEIRA. (1988). Madeiras-Determinação de suas características. São Carlos, SP.
- LEPAGE, E. S. (1986). Manual de preservação de madeiras. São Paulo, IPT, v.1, 342p. 1986.
- MAINIERI, C. (1958). Identificação das principais madeiras de comércio no Brasil. São Paulo, IPT, 1958.
- MASSON, D. & BITTENCOURT, R. M. (1992) Proteção superficial da madeira: três espécies brasileiras - base teórica: 1ª parte. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4. 1992,

São Carlos. Anais. São Carlos: USP/EESC/SET/LaMEM, 1992. v.1, p.227-235.

MATTHIESEN, J. A. (1981). Ligações de peças estruturais de madeira por anéis metálicos. São Carlos, 1981. 138p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MENDES, A. P. (1984). Resistência da madeira ao cisalhamento. São Carlos, 1984. 170p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MILANO, S. (1986). Deterioração de madeiras e acabamentos fora do contacto com o solo. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS, 2, 1986, São Paulo. Anais. São Paulo. ABPM/IPT/IBDF, 1986. p. 151-163.

MOLITERNO, A. (1989). Elementos para projetos em perfis leves de aço. São Paulo, Edgard Blücher Ltda.

NATIONAL DESIGN SPECIFICATION. (1991). NDS - National design specification for wood construction. Washington.

PIGOZZO, J. C. (1982). Influência da umidade e da densidade na resistência à compressão da madeira. São Carlos, 1982. 146p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

PRATA, D. G. (1989). Compressão paralela às fibras em peças de madeira. São Carlos, 1989. 130p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

- QUENNEVILLE, J. H. P. & DALEN, K. V. (1991). The enhanced performance of split - ring connections through prestressing. Canadian Journal of Civil Engineering, Canadá, v.18, n° 5, p. 830 - 838, out.
- QUENNEVILLE, J. H. P. ; DALEN, K.V. ; CHARRON, A. (1993). Effect of end distance on the resistance of split - ring connectors in timber joints loaded in compression. Canadian Journal of Civil Engineering, Canadá, v. 20, n° 5, p. 863 -871, out.
- ROCCO LAHR, F. A. (1990). Considerações a respeito da variabilidade de propriedades de resistência e de elasticidade da madeira. São Carlos, 1990. 175p. Tese (Livre - Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- SAE J412. (1989). General characteristics and heat treatment of steels. Society of Automotive Engineers. Warrendale, PA.
- SCHOLTEN, J. A. (1944). Timber - connector joints: their strength and design. Forest Product Laboratory, Technical Bulletin n° 865. United States Department of Agriculture, Washington, p. 1 - 106, march.
- STANDARDS ASSOCIATION OF AUSTRALIA. (1994). Australian standard - Timber structures part 1: design methods. Austrália.
- TAYLOR, G. (1976). La madera. Barcelona, Blume, 1976.
- UJVARI, W. Z. & SCHON, R. H. (1986). Utilização de madeira tratadas na construção industrial. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS, 2, 1986, São Paulo. Anais. São Paulo. ABPM/IPT/IBDF, 1986. p.151-162.

ZAGOTTIS, D. (1981). Pontes e grandes estruturas: IV - Introdução da segurança no projeto estrutural. São Paulo, SP, 1981. 102p. (Apostila).

ZURITA, C. E. ; DI BERNARDO, L. ; RIZZO, S. A.(1971).Ligações entre peças estruturais de madeira-Anéis metálicos. São Carlos, EESC. (Trabalho de formatura-LaMEM-SET-EESC-USP).

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AÇOMETAL comércio de aços e metais Ltda. São Paulo, SP, 1989. /catálogos/

AÇO INOXIDÁVEL ITAÚ inox. Diadema, SP. /sem data/ /catálogos/

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (1988). ASTM D 1761 - 88 - Standard test methods for mechanical fasteners in wood. Philadelphia, PA.

BAKER, A. J. (1974). Degradation of wood by products of metal corrosion. Technical bulletin, p. 1-5, 1974. USDA Forest Service - Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, 1974.

_____ (1988). Corrosion of metals in preservative-treated wood. Technical bulletin, p. 99-101, 1988. USDA Forest Service - Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, 1988.

_____ (1991). Corrosion of nails in CCA and ACA treated wood: 17 years buried in soil. Technical bulletin, p. 1-4, 1991. USDA Forest Service - Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, 1991.

BARNES, H. M.; NICHOLAS, D. D. ; LANDERS, R. W. (1984). Corrosion of metals in contact with wood treated with water borne preservatives. Technical bulletin, p. 1-15, 1984. American Wood Preservers Association - Mississippi Forest Products Laboratory, Mississippi, 1984.

BLASS, H. J. (1994). Ring and shear - plate connector joints. Timber Engineering STEP 1. 1.ed. Holanda, 1994. p.1-8.

- CARLING, O. (1991). Fire behaviour of metal connectors in wood structures. In: INTERNATIONAL TIMBER ENGINEERING CONFERENCE LONDON, 1., London. Anais. London, United Kingdom, 1991. p.4.106 -4.113.
- CARRASCO, E. V. M. ; OLIVEIRA, L. I. de (1995). Ligações estruturais de madeira e aço inox. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 5, 1995, Belo Horizonte, MG. Anais. Belo Horizonte: UFMG - Departamento de Engenharia de Estruturas, 1995. p. 1-6.
- CHAHUD, E. (1989). Aspectos do comportamento da madeira submetida a solicitação mecânica. São Carlos. 145p. Tese (Doutorado)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- DYER, D. B. Van ; MALHOTRA. S. K. (1985). Strength of spaced timber columns. Canadian Journal of Civil Engineering, Canada, v. 12, nº1, p. 36 - 42, march.
- ENGSTROM, D.; KLIGER, R.; JOHANSSON, G. (1994). Timber joints-philosophy and tests. In: PACIFIC TIMBER ENGINEERING CONFERENCE, 2., Australia. Anais. Australia, Gold Coast Australia, 1994. p.701-708.
- FU, H.C. ; SECKIN, M. (1991). Behavior of new and forty year old member connections in timber Warren Truss. In: INTERNATIONAL TIMBER ENGINEERING CONFERENCE LONDON, 1. London. Anais. London, United Kingdom, 1991. p. 3.135 - 3.142.
- GENTIL, V. (1982). Corrosão. Rio de Janeiro, Guanabara Dois S.A.
- HIRASHIMA, Y. (1991). Material resistance of timber connector joints-perpendicular to grain direction. In: INTERNATIONAL TIMBER ENGINEERING CONFERENCE LONDON, 1. London. Anais. London, United Kingdom, 1991. p.3.127-3.134.

- JOHANSEN, K. W. (1950). Theory of timber connections. International Association for Bridge and Structural Engineering. Publication n° 9, (1950). p.249-262.
- KRETSCHMANN, D. & GREEN, D. (1994). Strength properties of low moisture content southern pine. In: PACIFIC TIMBER ENGINEERING CONFERENCE, 2., Australia. Anais. Australia, Gold Coast Australia, 1994. p.731-739.
- KUILEN, J. W. Van de (1994). Mechano - sorptive effects in toothed plate and split-ring joints. In: PACIFIC TIMBER ENGINEERING CONFERENCE, 2, Australia. Anais. Australia, Gold Coast Australia, 1994. p.97 - 105.
- LARSEN, H. J. (1991). An introduction to eurocode 5. In: INTERNATIONAL TIMBER ENGINEERING CONFERENCE LONDON. 1., London. Anais. London, United Kingdom, 1991. p.1.41-1.57.
- MORTENSEN, N.; KLOCH, S.; NIELSEN, J. (1994). Punched metal plate fasteners and steel gussets for moment resistant joints in timber. In: PACIFIC TIMBER ENGINEERING CONFERENCE, 2., Australia. Anais. Australia, Gold Coast Australia, 1994. p.1-8.
- PELLICANE, P. (1994). Strength and load-slip characteristics of wood joints with elastomeric construction adhesives. In: PACIFIC TIMBER ENGINEERING CONFERENCE, 2., Australia. Anais. Australia, Gold Coast Australia, 1994. p.334-348.
- VASIC, S. (1991). Elastic and mechanical properties of wood as a relevant factor in economy of timber structures. In: INTERNATIONAL TIMBER ENGINEERING CONFERENCE LONDON, 1. London. Anais. London, United Kingdom, 1991. p.4.479 - 4.485.

WHALE, L. R. J. (1991). Eurocode 5 - Joint design. In: INTERNATIONAL TIMBER ENGINEERING CONFERENCE LONDON, 1. London. Anais. London, United Kingdom, 1991. p. 1.97 - 1.106.

WILKINSON, T. L. ; ROWLANDS, R. E. (1981). Analysis of mechanical joints in wood. Technical bulletin, v. 21, n° 11, p. 408 - 414, 1981. USDA Forest Service - Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, nov.

WINISTORFER, S. G. (1992). Mechanical fasteners in wood. . Technical bulletin, v 15, n° 6 p. 39 - 41, 1992. USDA Forest Service - Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, dec.