

***ESTUDO DE EMENDAS DENTADAS EM MADEIRA
LAMINADA COLADA (MLC): AVALIAÇÃO DE
MÉTODO DE ENSAIO***

ALCEBÍADES NEGRÃO MACÊDO

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Estruturas.

ORIENTADOR: Prof. Titular Carlito Calil Junior

São Carlos

1996

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

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 20-9-1996
pela Comissão Julgadora:



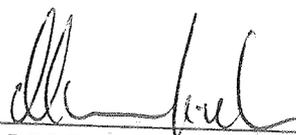
Prof. Doutor **CARLITO CALIL JUNIOR (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



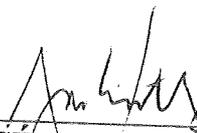
Prof. Doutor **ADRIANO WAGNER BALLARIN**
(UNESP - Campus de Botucatu)



Prof. Doutor **MAXIMILIANO MALITE**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade São Paulo)



Prof. Dr. **MOUNIR KHALIL EL DEBS**
Coordenador da área - Engenharia de Estruturas



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

Aos meus pais Admir e Georgina

aos meus irmãos Márcia, Admir, Georgette,
Emanuel, Georgemir, Wilson e George

aos meus filhos Júnior e Eduardo e à minha
esposa Lêda.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Carlito Calil Júnior pela orientação e amizade durante a elaboração deste trabalho.

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa de estudos concedida.

Ao professor Alfredo Américo Hamar pela valiosa orientação na revisão bibliográfica.

A Cynara T. Bono, Dener Prata, Guilherme Stamato, Lívio Túlio Baraldi e Roberto Galindo pela amizade e colaboração no desenvolvimento do trabalho.

A todos os funcionários, professores e colegas do LaMEM pelo apoio e agradável convívio durante o desenvolvimento deste trabalho.

SUMÁRIO

<i>LISTA DE FIGURAS</i>	i
<i>LISTA DE TABELAS</i>	iii
<i>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS</i>	iv
<i>LISTA DE SÍMBOLOS</i>	v
<i>RESUMO</i>	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
1 <i>INTRODUÇÃO</i>	1
1.1 <i>Generalidades</i>	1
1.2 <i>Principais tipos de emendas longitudinais</i>	2
1.2.1 <i>Emendas de topo</i>	2
1.2.2 <i>Emendas biseladas</i>	3
1.2.3 <i>Emendas dentadas</i>	4
1.3 <i>Objetivos e justificativas</i>	5
2 <i>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</i>	7
2.1 <i>Fatores que afetam a resistência da emenda dentada</i>	7
2.1.1 <i>Qualidade e condicionamento da madeira</i>	8
2.1.1.1 <i>Qualidade da madeira</i>	8
2.1.1.2 <i>Densidade e espécie</i>	11
2.1.1.3 <i>Teor de umidade</i>	13
2.1.1.4 <i>Tratamento</i>	16
2.1.1.5 <i>Temperatura</i>	17
2.1.2 <i>A geometria da emenda</i>	17
2.1.2.1 <i>Investigações analíticas e experimentais</i>	21
2.1.2.2 <i>Orientações dos dentes</i>	24
2.1.2.3 <i>Indicações para geometria das emendas dentadas</i>	25
2.1.2.4 <i>A geometria ideal</i>	26

2.1.3 <i>A operação de usinagem</i>	29
2.1.3.1 <i>Tipos de usinagem</i>	29
2.1.3.2 <i>Qualidade das superfícies de colagem</i>	35
2.1.3.3 <i>Os moldadores versus cortadores</i>	39
2.1.4 <i>A seleção do adesivo</i>	40
2.1.5 <i>A aplicação do adesivo</i>	42
2.1.6 <i>A pressão de colagem</i>	44
2.1.6.1 <i>O alinhamento das tábuas</i>	44
2.1.6.2 <i>A intensidade da pressão</i>	45
2.1.6.3 <i>O período de prensagem</i>	46
2.1.6.4 <i>Limites para as fissuras</i>	47
2.1.7 <i>A secagem da linha de cola</i>	47
2.1.7.1 <i>Chapas quentes</i>	47
2.1.7.2 <i>Aquecimento na etapa de pressão usando radiofrequência</i>	48
2.1.7.3 <i>Túnel de radiofrequência</i>	48
2.1.7.4 <i>Pré-quecimento da madeira usando radiofrequência</i>	49
2.1.7.5 <i>Pré-aquecimento da madeira com radiação infravermelha</i>	49
2.1.7.6 <i>Pré-aquecimento da madeira usando circulação de ar quente e seco</i>	50
2.1.7.7 <i>Pré-aquecimento da madeira usando vapor superaquecido</i>	50
2.2 <i>Controle de qualidade</i>	51
2.2.1 <i>A escolha do teste adequado</i>	51
2.2.2 <i>Tipos de testes realizados em emendas dentadas</i>	52
2.2.2.1 <i>O método da amostragem</i>	52
2.2.2.2 <i>O método da prova de carga</i>	52
2.2.3 <i>Teste de flexão versus testes de tração</i>	54
2.3 <i>Influência das emendas dentadas na resistência da MLC</i>	55
2.3.1 <i>Espaçamento e posicionamento</i>	56
2.4 <i>Considerações finais sobre a revisão bibliográfica</i>	58

3	<i>MATERIAIS E MÉTODOS</i>	59
3.1	<i>A madeira</i>	59
3.2	<i>O adesivo</i>	60
3.2.1	<i>Especificações da resina</i>	60
3.2.2	<i>Espalhamento da cola</i>	61
3.2.3	<i>Tempo de montagem</i>	61
3.2.4	<i>Umidade da madeira</i>	62
3.2.5	<i>Temperatura de trabalho</i>	62
3.2.6	<i>Armazenagem</i>	62
3.3	<i>Dimensões dos corpos-de-prova</i>	63
3.3.1	<i>Cisalhamento na lâmina de cola</i>	63
3.3.2	<i>Tração normal à lâmina de cola</i>	64
3.3.3	<i>Resistência das emendas dentadas a tração paralela às fibras</i>	64
3.4	<i>Confeção dos corpos-de-prova</i>	65
3.4.1	<i>Extração das peças para a confecção dos corpos-de-prova</i>	65
3.4.2	<i>Preparação das peças para a produção dos corpos-de-prova de madeira colada</i>	66
3.4.2.1	<i>Corpos-de-prova de cisalhamento na linha de cola</i>	67
3.4.2.2	<i>Corpos-de-prova de tração normal à linha de cola</i>	68
3.4.2.3	<i>Corpos-de-prova de resistência a tração das emendas dentadas</i>	69
3.4.3	<i>Usinagem final dos corpos-de-prova</i>	70
3.5	<i>Quantidade de corpos de prova</i>	71
3.6	<i>Execução dos ensaios</i>	71
3.6.1	<i>Ensaio de cisalhamento</i>	72
3.6.2	<i>Ensaio de tração normal</i>	72
3.6.3	<i>Ensaio de tração paralela</i>	73
4	<i>ANÁLISE DOS RESULTADOS</i>	75
4.1	<i>Cisalhamento na lâmina de cola</i>	75
4.2	<i>Tração normal à linha de cola</i>	79
4.3	<i>Resistência a tração das emendas dentada</i>	82

5 CONCLUSÕES.....	87
ANEXO A.....	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Esquema geral de uma peça de MLC.....	1
FIGURA 2 - Tipos mais comuns de emendas longitudinais.....	2
FIGURA 3 - Distância mínima do corte transversal para remover um nó.....	10
FIGURA 4 - Distância mínima entre a extremidade do dente e a emenda.....	11
FIGURA 5 - Seção transversal da madeira com esmoado.....	11
FIGURA 6 - Nomenclatura para geometria das emendas dentadas.....	18
FIGURA 7 - Tipos de orientação das emendas dentadas.....	24
FIGURA 8 - Arranjo de serras circulares para o corte das emendas dentadas.....	30
FIGURA 9 - Cortador tipo asa em peça única com rebaixo reto.....	31
FIGURA 10 - Peça individual para a composição de cortadores tipo asa.....	31
FIGURA 11 - Sistema de discos fixos a um eixo giratório.....	32
FIGURA 12 - Esquema de moldagem de emendas dentadas.....	33
FIGURA 13 - Geometrias de moldagem Tipo 1 e 2.....	33
FIGURA 14 - Esquema do método de impressão Tipo 2.....	35
FIGURA 15 - Esquema da pulverização da mistura adesiva.....	43
FIGURA 16 - Método proposto de aplicação de pressão nas emendas dentadas.....	44
FIGURA 17 - Dois tipos de arranjo de emendas dentadas na zona crítica de tração.....	56
FIGURA 18 - Corpo-de-prova de cisalhamento na lâmina de cola.....	63
FIGURA 19 - Corpo-de-prova de tração normal à lâmina de cola.....	64
FIGURA 20 - Corpo-de-prova de resistência à tração das emendas dentadas.....	65
FIGURA 21 - Esquema da disposição das peças retiradas para a confecção dos corpo-de-prova.....	66
FIGURA 22 - Esquema de montagem das peças para a confecção das amostras de cisalhamento na lâmina de cola.....	67
FIGURA 23 - Dispositivo de pressão montado no LaMEM.....	68
FIGURA 24 - Esquema de montagem das peças para a confecção das amostras de tração normal à linha de cola.....	68

FIGURA 25 - Esquema de montagem das peças para a confecção das amostras de resistência a tração das emendas dentadas.....	69
FIGURA 26 - Cortador tipo asa de peças individuais.....	70
FIGURA 27 - Aplicação de pressão e alâminamento das emendas dentadas.....	70
FIGURA 28 - Arranjo dos ensaios de cisalhamento.....	72
FIGURA 29 - Arranjo dos ensaios de tração normal.....	73
FIGURA 30 - Arranjo dos ensaios de tração paralela.....	74
FIGURA 31 - Pinus elliottii: resistência ao cisalhamento.....	76
FIGURA 32 - Eucalipto grandis: resistência ao cisalhamento.....	76
FIGURA 33 - Cisalhamento: ruptura na lâmina de cola.....	77
FIGURA 34 - Cisalhamento: ruptura parte na lâmina de cola e parte na madeira....	78
FIGURA 35 - Cisalhamento: ruptura na madeira.....	78
FIGURA 36 - Pinus elliottii: resistência à tração normal.....	79
FIGURA 37 - Eucalipto grandis: resistência à tração normal.....	80
FIGURA 38 - Tração normal: ruptura na lâmina de cola.....	81
FIGURA 39 - Tração normal: ruptura parte na lâmina de cola e parte na madeira..	81
FIGURA 40 - Tração normal: ruptura na madeira.....	82
FIGURA 41 - Pinus elliottii: resistência à tração paralela.....	83
FIGURA 42 - Eucalipto grandis: resistência à tração paralela.....	83
FIGURA 43 - Emenda dentada: ruptura na cola.....	84
FIGURA 44 - Emenda dentada: ruptura na emenda e na madeira.....	85
FIGURA 45 - Emenda dentada: ruptura na madeira fora da região da emenda.....	85
FIGURA 46 - Emenda dentada: ruptura parte na madeira e parte na emenda.....	86

LISTA DE TABELAS.

TABELA 1 - Inglaterra: geometrias recomendadas.....	27
TABELA 2 - República Federal da Alemanha: principais geometrias.....	28
TABELA 3 - Escandinávia: geometrias recomendadas.....	28
TABELA 4 - Geometrias recomendadas pelo Comitê Europeu de Normalização...	28
TABELA 5 - Características da madeira das espécies de madeira usadas nos ensaios.....	60
TABELA 6 - Quantidade de corpos-de-prova usados nos ensaios.....	71
TABELA 7 - Eficiência dos corpos-de-prova de cisalhamento na lâmina de cola....	75
TABELA 8 - Cisalhamento na lâmina de cola: análise qualitativa.....	77
TABELA 9 - Eficiência dos corpos-de-prova de tração normal à lâmina de cola....	79
TABELA 10 - Tração normal à lâmina de cola: análise qualitativa.....	80
TABELA 11 - Eficiência dos corpos-de-prova de resistência a tração das emendas dentadas.....	82
TABELA 12 - Tração da emenda dentada: análise qualitativa.....	84

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.

AITC -	American Institute of Timber Construction.
ASCE -	American Society of Civil Engineering.
ASTM -	American Society for Testing Materials.
AWPA -	American Wood-Preserver' Association.
BT -	Boletim Técnico.
CEN -	European Committee for Standardization.
CSRI -	Council for Scientific and Industrial Research.
DIN -	Deutsche Institut für Normung.
EESC -	Escola de Engenharia de São Carlos.
FPL -	Forest Products Laboratory.
FS -	Forest Service.
GLULAM -	Glued Laminated Timber.
LaMEM -	Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira.
MLC -	Madeira Laminada Colada.
PEF -	Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, Escola Politécnica.
PNBR -	Projeto da Nova Norma Brasileira.
SET -	Departamento de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos.
TRADA -	Timber Research and Development Association.
USDA -	United States Department of Agriculture.
USP -	Universidade de São Paulo.
WFPL -	Western Forest Products Laboratory.

LISTA DE SÍMBOLOS

- b - largura da ponta do dente.
- e - folga relativa.
- $f_{c0,k}$ - valor característico da resistência a compressão paralela às fibras da madeira.
- f_{gt0} - resistência da emenda dentada a tração paralela às fibras da madeira.
- $f_{gt0,k}$ - valor característico da resistência da emenda dentada a tração paralela às fibras da madeira.
- $f_{gt0,m}$ - valor médio da resistência da emenda dentada a tração paralela às fibras da madeira.
- f_{gt90} - resistência da lâmina de cola a tração normal às fibras da madeira.
- $f_{gt90,k}$ - valor característico da resistência da lâmina de cola a tração normal às fibras da madeira.
- $f_{gt90,m}$ - valor médio da resistência da lâmina de cola a tração normal às fibras da madeira.
- f_{gv} - resistência da lâmina de cola ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira.
- $f_{gv,k}$ - valor característico da resistência da lâmina de cola ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira.
- $f_{gv,m}$ - valor médio da resistência da lâmina de cola ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira.
- f_{i0} - resistência a tração paralela às fibras da madeira.
- $f_{i0,k}$ - valor característico da resistência a tração paralela às fibras da madeira.
- $f_{i0,m}$ - valor médio da resistência a tração paralela às fibras da madeira.
- f_{i90} - resistência a tração normal às fibras da madeira.
- $f_{i90,k}$ - valor característico da resistência a tração normal às fibras da madeira.
- $f_{i90,m}$ - valor médio da resistência a tração normal às fibras da madeira.
- f_v - resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira.
- $f_{v,k}$ - valor característico da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira.
- $f_{v,m}$ - valor médio da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira.
- g - largura da emenda dentada.
- l - comprimento da emenda dentada.

- s - folga da ponta dos dentes.
- t - largura do dente ou passo.
- A_{ef} - área efetiva da emenda ou área da superfície inclinada da emenda.
- A_{gt0} - área efetiva dos corpos-de-prova para ensaios de resistência das emendas dentadas.
- A_{gt90} - área efetiva dos corpos-de-prova de resistência a tração normal à lâmina de cola.
- A_{gv} - área efetiva dos corpos-de-prova de cisalhamento na lâmina de cola.
- A_s - área efetiva da seção (sem a área da ponta dos dentes).
- A_t - área de topo ou área da ponta dos dentes.
- A_{t0} - área efetiva dos corpos-de-prova de tração paralela às fibras da madeira.
- A_{t90} - área efetiva dos corpos-de-prova de tração normal às fibras da madeira.
- A_v - área efetiva dos corpos-de-prova de cisalhamento paralelo às fibras da madeira.
- F_{gt0} - máxima força aplicada ao corpo-de-prova de resistência a tração da emenda dentada.
- F_{gt90} - máxima força aplicada ao corpo-de-prova de tração normal à lâmina de cola.
- F_{gv} - máxima força aplicada ao corpo-de-prova de cisalhamento na lâmina de cola, no sentido paralelo às fibras da madeira.
- F_{t0} - máxima força aplicada ao corpo-de-prova de tração paralela às fibras da madeira.
- F_{t90} - máxima força aplicada ao corpo-de-prova de tração normal às fibras da madeira.
- F_v - máxima força aplicada ao corpo-de-prova de cisalhamento paralelo às fibras da madeira.
- P_b - pressão de borda.
- P_l - pressão longitudinal.
- P_v - pressão vertical.
- S - desvio padrão calculado.
- ρ_{apa} - densidade aparente.
- ρ_{bas} - densidade básica.
- v - grau de enfraquecimento da emenda dentada.

RESUMO

Este trabalho consiste no estudo teórico e experimental das emendas dentadas em madeira laminada colada (MLC), cujo objetivo principal é avaliar o método proposto no Projeto da Nova Norma Brasileira PNBR 7190 (1996) para a caracterização da MLC, com ênfase às emendas dentadas. As espécies de madeira estudadas foram o *Pinus elliottii* e o *Eucalypto grandis* e o adesivo utilizado foi o CASCOPHEN RS-216, à base de resorcinol, produzido pela Alba Química Indústria e Comércio Ltda. A emenda dentada usada no estudo foi a correspondente ao comprimento de 20mm da DIN 68140, geometria esta adotada pelo parque produtor de MLC no país. Nos ensaios são avaliadas as resistências ao cisalhamento na lâmina de cola, a tração normal à lâmina de cola e a resistência a tração das emendas dentadas. O desempenho das ligações foi avaliado em função da relação entre os valores obtidos nos ensaios com madeira colada e madeira maciça, bem como pelo modo de ruptura dos mesmos. Como conclusão obteve-se que o processo de colagem adotado foi bem sucedido para todos as amostras de caracterização da MLC, independente da espécie de madeira e do tipo de ruptura obtido. O método proposto no Projeto da Nova Norma Brasileira PNBR 7190 (1996) mostrou-se adequado para a caracterização das propriedades de resistência da MLC.

Palavras chaves: madeira laminada colada, emendas dentadas.

ABSTRACT

This work consist in the theoretical and experimental study of finger joints in glued laminated timber (GLULAM), with main objective to evaluate the method proposed in the New Brazilian Draft Code PNBR 7190 (1996) to characterization of GLULAM, with emphasis to finger joints. The species of wood studied were the *Pinus elliottii* and *Eucalipto grandis* and the adhesive was the CASCOPHEN RS-216, resorcinol-based, produced by Alba Química Indústria e Comércio Ltda. The geometry of finger joint used in the study was the correspondent to DIN 68140, this is the adopted by producer park of GLULAM in the country. In the tests were evaluated the shear resistance of glue lamina, the perpendicular tension resistance of glue lamina and parallel to grain tension resistance of finger joints. The performance of jointing was evaluated as a function of the relation between the values obtained in the tests with glued wood and clear wood, as well as rupture mode. Concluding remarks that gluing process adopted was well successful to all specimens of wood specie and rupture mode. The method proposed by New Brazilian Draft Code PNBR 7190 (1996) is adequate to characterization of the resistance properties of GLULAM.

Key words: glued laminated timber, finger joints.

1 INTRODUÇÃO.

1.1 Generalidades.

A crescente necessidade de utilizar elementos estruturais de qualidade, juntamente com o marcante avanço na tecnologia dos adesivos e o excelente potencial madeireiro gerado pelas espécies de reflorestamento, contribuíram para o surgimento de um novo material de construção, a Madeira Laminada Colada (MLC). Este material tornou-se um dos mais importantes elementos para a aplicação estrutural, sendo utilizado com muito sucesso em várias partes do mundo, nas mais variadas formas e dimensões.

A grande vantagem da técnica da MLC é que esta pode empregar, de forma racional, madeira de reflorestamento ou mesmo espécies nativas que não são ou são pouco utilizadas estruturalmente, tornando as estruturas de madeira cada vez mais competitivas, divulgadas e aceitas pelos projetistas. Entretanto, para a produção dos elementos estruturais de MLC é necessário o uso de lâminas de comprimento suficientemente grande, as quais são obtidas através da emenda longitudinal de tábuas, Figura 1.

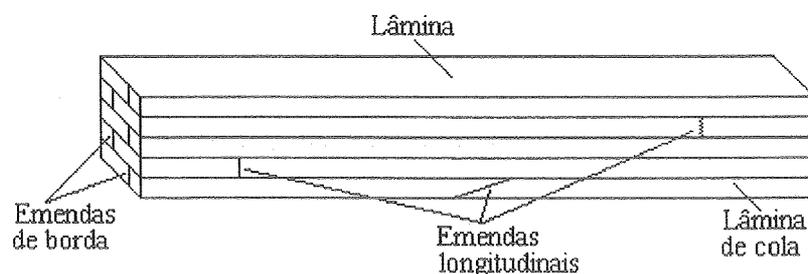


FIGURA 1 - Esquema geral de uma peça de MLC.

Estas emendas apresentam uma descontinuidade do material e conseqüentemente são regiões consideradas potencialmente fracas. Deste modo, as emendas em MLC representam, entre outros, um dos mais importantes fatores das características de resistência e elasticidade dos elementos estruturais de MLC. Três são os tipos mais comuns de emendas longitudinais em MLC, cada um dos quais apresentam suas intrínsecas vantagens e desvantagens. Alguns dos fatores que regem a utilidade destas emendas são a resistência, a facilidade e economia de produção, aparência e para o caso da MLC, principalmente, a uniformidade de desempenho.

1.2 Principais tipos de emendas longitudinais em MLC.

A revisão da literatura mostra que várias foram as configurações estudadas para as emendas longitudinais, sendo que os tipos mais comuns em MLC são: as emendas de topo (*butt joints*), as emendas biseladas (*scarf joints*) e as emendas dentadas (*finger joints*), Figura 2.

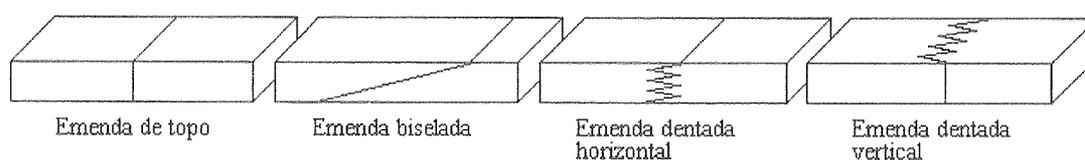


FIGURA 2 - Tipos mais comuns de emendas longitudinais em MLC.

1.2.1 Emendas de topo.

As emendas de topo são as mais simples emendas longitudinais e apesar de não desperdiçarem madeira apresentam baixíssima resistência mecânica. Alguns autores consideram até que este tipo de emenda praticamente não transmite esforços, não sendo recomendáveis.

FREAS & SELBO (1954), afirmam que as emendas de topo quando localizadas na parte externa do lado comprimido das vigas de MLC não afetam a eficiência das mesmas, mas quando situadas no lado tracionado, principalmente nas lâminas externas, a redução de resistência do elemento estrutural ultrapassa os 40%.

Devido a dificuldade de efetuar eficientemente a colagem da madeira nas fibras de ponta, as emendas de topo são, do ponto de vista de resistência, as emendas longitudinais menos eficientes. McSAWIN (1958), relata que mesmo sob condições especiais de produção estas emendas só atingem de 20% a 25% da resistência à tração da madeira maciça, e sob condições normais uma resistência de 10% a 12% já é difícil de ser encontrada.

As limitações de resistência das emendas de topo praticamente impedem seu uso em aplicações estruturais. A alta resistência destas emendas dependem, primeiramente, de um adesivo capaz de emendar as fibras de topo com a resistência a tração da ligação se aproximando da resistência da madeira original. Tal capacidade não é conhecida em nenhum adesivo para a colagem de madeira, STRICKLER (1967).

Vários outros pesquisadores se dedicaram ao estudo das emendas de topo, mas sempre constatando sua baixa resistência. Porém, com o avanço tecnológico tornou-se possível obter emendas de topo com boa resistência mecânica. GRAEFF (1995), por exemplo, apresenta resultados referentes ao comportamento mecânico de emendas de topo reforçadas com fibra de vidro, onde constata a boa eficiência deste tipo de ligação quando comparada às emendas dentadas.

1.2.2 *Emendas biseladas.*

As emendas biseladas surgiram como uma boa alternativa para suprir às limitações de resistência das emendas de topo, sendo consideradas as mais resistentes emendas longitudinais. Contudo, do ponto de vista de produção este tipo de emenda é muito dispendioso, uma vez que para atingir uma boa proporção da resistência da madeira

maciça é necessário que o corte do bisel apresente uma baixa inclinação, da ordem de 1:10. Isto faz com que este processo gere um consumo excessivo de madeira e adesivo, além das dificuldades inerentes ao corte do bisel e montagem das lâminas, como alinhamento e prensagem, prejudicando a velocidade de produção, FREAS & SELBO (1954) e LUXFORD & KRONE (1961).

As emendas biseladas tem um ótimo desempenho em elementos curvos, apresentando excelente resistência à tração, principalmente quando corretamente produzidas, CHUGG (1964). A grande desvantagem das emendas biseladas é o ônus imposto ao processo produtivo pela demora e pelo consumo excessivo de material.

1.2.3 *Emendas dentadas.*

O ônus imposto ao processo produtivo pela utilização das emendas biseladas, levaram os pesquisadores a buscarem uma nova modalidade de emenda longitudinal. As emendas dentadas surgiram como uma alternativa promissora para substituir as emendas biseladas. Este tipo de emenda é atualmente o mais utilizado na tecnologia da MLC, sendo considerada como uma emenda de resistência intermediária entre a emenda de topo e a emenda biselada.

O “pai” da emenda dentada é provavelmente o Dr. Karl Enger do Stuttgart Technischer Hochschule, e o método foi usado na Alemanha durante a 2ª Guerra Mundial para emendar as vigas de pontes destruídas pelos bombardeios Aliados, SERRY¹ apud LOUW (1964). Relata-se ainda que as emendas dentadas foram usadas nos Estados Unidos, durante a guerra, para a produção de hélices de avião.

O entusiasmo com que a emenda dentada foi aceita como uma solução para os problemas das emendas longitudinais, é refletido na quantidade de estudos que surgiram sobre o assunto, LOUW (1964). Pesquisadores de vários países dedicaram

¹ SERRY, V. (1959). *The production of continuous timber with finger-joints*. Modern technics take timber endless-2., Timber Technology, ago. LOWN, F. (1964). *Finger-jointing Techniques and Applications*. Timber Research Unit, CSRI, Pretoria, Nº RU 1.18.

seu tempo para investigar os diferentes aspectos que envolvem as emendas dentadas, tanto do ponto de vista teórico quanto prático.

A explicação para a grande aceitação das emendas dentadas, justifica-se pela sua adaptação ao processo industrial, além de sua boa resistência mecânica. Segundo EBY (1968), 90% das indústrias de MLC nos Estados Unidos já utilizavam as emendas dentadas na produção de seus elementos estruturais. O sucesso da emenda dentada se deve ao fato que este tipo de emenda, mesmo necessitando de equipamentos específicos para sua produção, facilita a retirada de defeitos da madeira, a aplicação de adesivo e a pressão de colagem, otimizando deste modo a produção dos elementos estruturais de MLC. Um outro ponto positivo das emendas dentadas é que estas apresentam resultados de resistência mais uniformes que as emendas biseladas.

1.3 Objetivos e justificativas.

Com o crescimento da Indústria da MLC, tornou-se prático o uso das emendas dentadas. Estas emendas encontram-se distribuídas em toda extensão dos elementos estruturais, influenciando de forma significativa na resistência mecânica dos mesmos, principalmente em relação aos critérios de dimensionamento no estado limite último. Por esta razão, o conhecimento dos fatores que influenciam na eficiência das emendas dentadas, bem como um método eficaz de avaliação destas emendas são imprescindíveis para um bom desempenho da MLC.

Muitas são as informações referentes às emendas dentadas disponíveis na literatura. Porém, grande parte destas informações, como diversos outros aspectos da tecnologia da MLC, necessitam ser reavaliados para as condições brasileiras. Assim sendo, este trabalho constitui-se de um estudo teórico e experimental, cujo objetivo é avaliar o método de ensaio de caracterização da MLC, proposto no Projeto da Nova Norma Brasileira PNBR 7190 (1996), com ênfase para as emendas dentadas.

Neste trabalho são avaliadas a resistência das emendas dentadas em ensaios de tração paralela, bem como a resistência a tração normal e cisalhamento na lâmina de cola, como uma porcentagem da resistência dos corpos-de-prova de madeira maciça ou controles² e também pelo modo de ruptura das ligações adesivas. A geometria adotada para as emendas dentadas é a correspondente ao comprimento de 20mm da DIN 68140 (1971) e as espécies de madeira utilizadas para a confecção dos corpos-de-prova são *Pinus elliottii* e o *Eucalipto grandis*.

² Controles - corpos-de-prova de madeira maciça, isento de defeitos, usados para estabelecer uma relação de resistência entre a emenda dentada e a madeira maciça.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

A revisão da literatura apresentada a seguir é composta por itens relacionados ao processo produtivo da MLC que influenciam na qualidade das emendas dentadas, e conseqüentemente, na resistência dos elementos estruturais de MLC. Na seqüência, apresentam-se também algumas considerações referentes ao controle de qualidade das emendas dentadas e ao posicionamento das mesmas nas peças estruturais de MLC. Como objetivo principal, este capítulo visa proporcionar o melhor entendimento da metodologia adotada para este estudo em particular.

2.1 Fatores que afetam a resistência da emenda dentada.

A colagem de topo é muito mais difícil de se obter do que a colagem de face ou de borda. Isto se deve, em parte, ao corte das cavidades das células expostas na superfície transversal da madeira, o que acaba gerando um maior potencial para o desperdício de adesivo na linha de cola. Outro problema é relativo às propriedades direcionais da madeira que exigem demandas excepcionalmente altas de resistência nas emendas, que é obtida somente se a resistência total do substrato for desenvolvida, FOREST PRODUCTS LABORATORY¹. A emenda biselada, dentada e outros tipos de emendas aumentam a área da superfície efetiva, aproximando-se deste modo das condições de colagem de fibras laterais.

¹FOREST PRODUCTS LABORATORY. (1978). *Wood Handbook: Adhesives in Building Construction*. Was., D. C, FPL-FS-USDA, Agriculture Handbook nº 72.

A emenda dentada é um método aceitável de emenda longitudinal de tábuas. Os estudos experimentais encontrados na literatura mostram que este tipo de ligação, bem executada, é um requisito necessário para o desempenho satisfatório de elementos estruturais de MLC. A eficiência das emendas dentadas é grandemente afetada pela geometria e usinagem da emenda, como também pelo adesivo e a técnica de colagem usada. Isto inclui a aplicação e secagem do adesivo, montagem da emenda e o teor de umidade da madeira. Outros aspectos da técnica de manufatura, tais como alinhamento, pressão de colagem e eliminação de defeitos da madeira também afetam as propriedades de resistência destas emendas.

2.1.1 Qualidade e condicionamento da madeira.

A qualidade e o condicionamento do material a ser emendado tem vital influência na resistência das emendas dentadas. Esta resistência dificilmente será maior que a menos resistente das duas partes da madeira a ser emendada. Na prática, a descontinuidade na estrutura das fibras da madeira conduz a uma inerente redução na resistência, comparada com a parte de menor resistência da emenda, MORKVED (1980). Qualquer falha no condicionamento da madeira próximo à região de emenda pode acentuar esta redução da resistência. Por esta razão, os fatores relativos à qualidade e condicionamento da madeira na região de emenda devem ser tratados com o cuidado necessário.

2.1.1.1 Qualidade da madeira.

As propriedades de resistência, especialmente a resistência à tração das emendas dentadas são significativamente afetadas pela presença de fibras irregulares na região de emenda. Isto é difícil de ser evitado, mas deve-se fazer todo esforço para reduzir a presença destas fibras próximo à região de emenda, LOUW (1964). Como muitas vezes as emendas dentadas são usadas para propósito de remoção de defeitos como os nós, por exemplo, deve-se tomar o devido cuidado para remover as fibras mais irregulares que circundam a região dos mesmos. O corte da emenda deve estar

afastado do nó pelo menos uma vez o seu diâmetro, RICHARDS² apud LOUW (1964). Entretanto, isto não deve ser seguido sem algumas restrições, pois existem casos em que as fibras irregulares se estendem a distâncias muito maiores que estas.

LOUW (1964) faz referência também sobre a influência da orientação dos anéis de crescimento na resistência das emendas dentadas. Como acontece em qualquer tipo de emenda longitudinal, mesmo que se tome todo cuidado, não se pode evitar que pelo menos parte do lenho tardio de uma peça seja emendado ao lenho inicial de outra, *latewood* e *earlywood*, respectivamente. E como a maior parte da resistência da madeira é desenvolvida no lenho tardio, isto gera uma conseqüente perda de resistência da emenda. Este efeito é mais notável na resistência à tração que na resistência à compressão.

Resultados de ensaios de grandes vigas de MLC, indicaram que a ruptura de um número significativo de vigas envolveram emendas dentadas fora das zonas mais solicitadas, BOHANNAN & MOODY (1969). Estas emendas foram confeccionadas em tábuas contendo medula ou uma quantia significativa de madeira não densa próxima à medula. A baixa resistência deste material, associado ao fato de que a madeira com emenda dentada é menos resistente que a madeira sólida, pode reduzir seriamente a resistência das lâminas. Assim sendo, a quantidade de madeira contendo medula deve ser restrita.

Tomando como base o exposto, MOODY (1970a) apresenta um estudo cujo objetivo foi avaliar a influência do material com medula na resistência à tração das emendas dentadas. Para isto, foram confeccionados e ensaiados corpos-de-prova com e sem a presença de medula na região da emenda. Um material sem emenda (corpos-de-prova de controle) foi incluído no estudo para avaliar a eficiência das emendas e obter a indicação da resistência à tração do material. Os resultados experimentais mostraram que a presença de medula afeta significativamente a resistência à tração das emendas

²RICHARDS, D. B. (1958). *End-Gluing lumber*. Forest Products Journal, Vol. 8, nº 3, p. 99-104. LOUW, F. (1964). *Finger-jointing Techniques and Applications*. Timber Research Unit, CSRI, Pretoria, Nº RU 1.18.

dentadas. A resistência à tração dos controles com medula foi em média 34% inferior a dos controles isentos de medula. Segundo MOODY, aproximadamente metade desta diferença pode ser atribuída aos efeitos da classe e do peso específico, e a outra metade à baixa resistência do material com medula. A principal conclusão deste estudo é que a resistência das emendas dentadas constituídas em madeira com medula foi em média 22% inferior às emendas produzidas em madeira isenta de medula.

Para RANKES (1980), os requisitos gerais de emendas dentadas é que estas não devem enfraquecer a madeira mais do que o maior defeito permitido para a referida classe. Assim sendo, a área próxima da emenda deve ser isenta de defeitos como nós e fibras irregulares, ou o enfraquecimento total (defeito + emenda) pode ser causa de ruptura prematura. Por esta razão, uma distância mínima de pelo menos três vezes o diâmetro do nó, entre o nó e o corte transversal é normalmente especificada (Figura 3). Isto deve ser lembrado durante a operação de corte para retirada de nós.

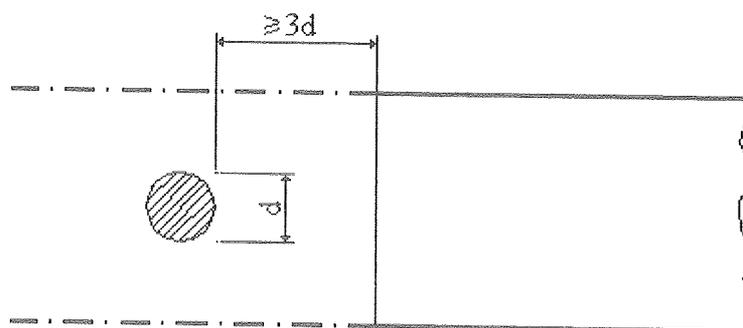


FIGURA 3 - Distância mínima do corte transversal para remover um nó.

O CEN (1995) recomenda que não deve haver nós, fibras irregulares ou fissuras na região das emendas dentadas. Em relação ao corte transversal para remoção de nós, o CEN indica que este seja feito de maneira similar ao recomendado por RANKES (1980). Para o caso de emendas dentadas em tábuas contendo nó, recomenda-se que a distância entre este e a extremidade da emenda seja pelo menos três vezes seu diâmetro mais o comprimento do dente, como mostra a Figura 4.

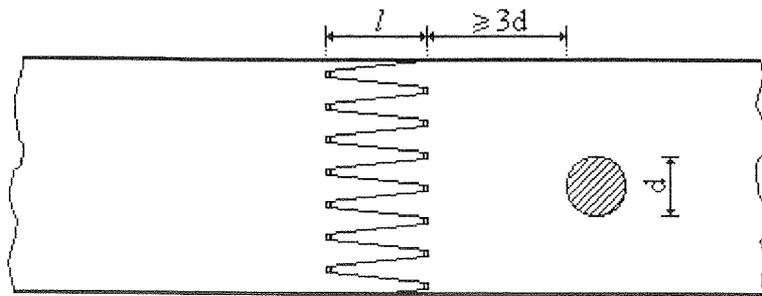


FIGURA 4 - Distância mínima entre a extremidade do dente e o nó.

Uma outra orientação do CEN, é que não deve haver na emenda mais que dois cantos esmoados³ dentro do comprimento das mesmas e nem dentro de uma distância de 75mm da base dos dentes. A área esmoada (A_w) de qualquer canto não deve exceder 1% da área da seção transversal (A), ver Figura 5.

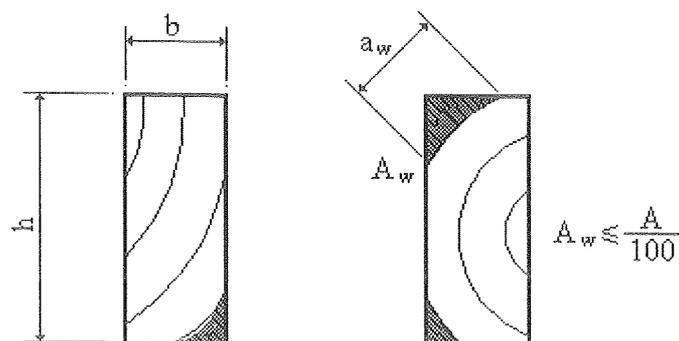


FIGURA 5 - Seção transversal da madeira com esmoado.

Os defeitos como encanoamento, curvatura e torceduras podem gerar emendas mal ajustadas, portanto deve-se tomar cuidado para manter as tábuas alinhadas tanto na operação de corte quanto na fase de colagem.

2.1.1.2 *Densidade e espécie.*

A densidade da madeira não pode ser considerada como um método perfeito para indicar a facilidade de colagem, mas geralmente é um bom indicador desta

³ Esmoado - presença de casca ou ausência de madeira na borda ou no canto de uma peça.

propriedade, FOREST PRODUCTS LABORATORY⁴. A alta qualidade da ligação é mais difícil de ser obtida com acréscimo da densidade (dicotiledôneas especialmente) pelos seguintes motivos:

- os extrativos que interferem no desenvolvimento da adesão são mais prováveis de estarem presentes;
- a interligação mecânica entre a madeira e o adesivo é reduzida;
- a superfície adequada de união é mais difícil de ser obtida, mesmo com aplicação de maiores pressões;
- as tensões de retração e inchamento nas ligações são maiores.

Após muitos anos de pesquisas práticas e através dos resultados de vários ensaios em laboratório, RUYSCH (1980) afirma que sob condições práticas é quase impossível produzir emendas dentadas confiáveis em madeiras com um peso específico superior a $0,65\text{g/cm}^3$ (medido a 14% de teor de umidade). Para as espécies de Iroko e Merbau, por exemplo, com um peso específico de aproximadamente $0,85\text{g/cm}^3$, a pressão de colagem da emenda dentada deve ser da ordem de $1,30\text{kN/cm}^2$ a $1,40\text{kN/cm}^2$ para um período de secagem de 8 horas, usando os adesivos a base de resorcinol formaldeído ou uma combinação deste com o acetato de polivinila.

MANBECK et al (1993) apresenta um estudo realizado para avaliar o desempenho de vigas de MLC de dicotiledôneas (*hardwoods*), em particular Red maple. O intuito deste estudo foi desenvolver vigas com resistência à flexão de $1,65\text{kN/cm}^2$ e módulo de elasticidade de 1.240kN/cm^2 . Para esta verificação foram produzidas e ensaiadas 45 vigas de MLC de Red maple. As propriedades das classes de madeira usadas e o seu posicionamento no interior das vigas foram estritamente monitorados durante a fabricação das vigas. Dados de ensaios de 166 tábuas com emendas dentadas foram coletados para relacionar a resistência à tração das emendas com o desempenho das vigas. Os resultados mostraram que tanto a avaliação das emendas dentadas quanto a

⁴FOREST PRODUCTS LABORATORY. (1987). *Wood Handbook: Wood as an engineering material*. Was., D.C., FPL-FS-USDA, Agriculture Handbook, nº 72, rev.

das vigas indicaram resultados de resistência e rigidez adequados para o propósito do estudo.

Um estudo com as mesmas características foi desenvolvido por MOODY et al (1993). Neste trabalho, a dicotiledônea analisada foi a Yellow poplar. Mais de 200 tábuas com emendas dentadas foram ensaiadas à tração e um total de 45 vigas foram avaliadas. Os resultados mostraram que esta espécie apresenta desempenho adequado para o desenvolvimento de vigas com $1,65\text{kN/cm}^2$ de resistência à flexão e 1.240kN/cm^2 de módulo de elasticidade; e portanto, é possível a produção de elementos estruturais de MLC com esta espécie.

Outro estudo visando avaliar o desempenho das *hardwoods* em MLC foi apresentado por JANOWIAK et al (1993). Neste estudo foram avaliados o desempenho de emendas dentadas usando dois tipos de adesivos, um à base de melanina formaldeído e o outro à base de resorcinol formaldeído e três espécies de *hardwoods*: Red oak, Red maple e Yellow poplar. As análises experimentais destes estudos, bem como ensaios de saturação sob pressão a vácuo para avaliar a durabilidade dos adesivos indicaram que ambas as colas foram praticamente equivalentes em comportamento. As ligações adesivas tiveram desempenho satisfatório, independente do adesivo e da espécie de madeira utilizada. Entretanto, estas conclusões não foram definitivas. Para JANOWIAK, as informações disponíveis na literatura referentes à colagem de *hardwoods* para uso em MLC é limitada.

2.1.1.3 *Teor de umidade.*

O teor de umidade da madeira no período de colagem é importante, pois pode afetar significativamente as propriedades das ligações adesivas e, conseqüentemente, os produtos de madeira colada, SELBO⁵. Por um lado, a adesão entre a cola e a madeira pode ser afetada negativamente se a madeira a ser colada estiver excessivamente seca; por outro, a umidade excessiva da madeira pode causar um fluxo do adesivo da linha

⁵ SELBO, M. L. (1975). *Adhesives bonding of Wood*. Was., D. C., FPL-FS-USDA, Thecnical Bulletin, nº 1512, , aug.

de cola para dentro da madeira, gerando ligações deficientes. Assim sendo, tanto os elevados quanto os baixos teores de umidade devem ser evitados.

Em 1960 CURRIER⁶ apud LOUW (1964), apresenta um estudo realizado para avaliar os efeitos dos altos teores de umidade na colagem de emendas dentadas em Douglas fir. Como resultado, constatou-se que é possível desenvolver emendas dentadas com boa proporção da resistência à tração da madeira maciça quando o teor de umidade da madeira, no momento da colagem, é da ordem de 20%. Esta proporção é dita como satisfatória, mesmo considerando um aumento na perda de resistência de 19% para 28% após a secagem das emendas. O autor relata ainda a possibilidade de produção de emendas dentadas de boa eficiência quando ambas as partes da ligação apresentam 14% e 20% de teor de umidade.

Como em qualquer ligação adesiva em madeira, deve-se estar atento para garantir que o material a ser emendado tenha o teor de umidade adequado no momento da colagem, LOUW (1964). Os produtores de adesivos, usualmente recomendam um intervalo admissível de teor de umidade, que geralmente varia entre 8% e 10% no mínimo e 15% a 18% no máximo. A diferença máxima de umidade entre as duas partes da emenda deve variar de 4% a 5%. Para o autor, em qualquer caso, o teor de umidade da emenda deve ser aproximadamente o mesmo que a madeira alcançará em serviço, isto sujeito às condições acima.

Para MORKVED (1980) os limites para o teor de umidade nas tábuas durante a produção de emendas dentadas devem estar entre 8% e 15%. No entanto, o autor relata que algumas investigações mostraram que o limite superior durante a produção das emendas não é tão crítico e pode ser ultrapassado. Segundo MORKVED, qualquer diferença de umidade entre as duas partes da emenda induzirá ao acréscimo de tensões na linha de cola devido ao movimento que ocorre na emenda quando o

⁶CURRIER, R. A. (1960). *Finger-jointing at high moisture content*. Forest Products Journal, Vol. 10, nº 6, p. 87-93, jun.
LOUW, F. (1964). *Finger-jointing Techniques and Applications*. Timber Research Unit, CSRI, Pretoria nº RU 1.18.

teor de umidade é nivelado. Assim, um limite admissível para a diferença de umidade das duas partes da emenda deve ser estabelecido.

RANKES (1980) afirma que tanto as experiências práticas quanto as pesquisas, indicaram que o teor de umidade até 25% não produz efeito adverso sobre a adesão ou sobre a resistência de colagem quando se usa adesivos à base de fenol resorcinol. O baixo teor de umidade (8% a 10%) aparenta ser mais prejudicial nas emendas dentadas executadas em *softwoods*. Porém, se a madeira é emendada com um teor de umidade mais elevado do que aquele de seu uso subsequente, ocorrerá a secagem e a retração, gerando tensões na linha de cola. RANKES cita ainda que em um experimento realizado por ele em 1969, as emendas dentadas produzidas em madeira com teor de umidade de 22% no período da colagem, apresentaram uma redução de resistência que variou de 5% a 7% quando comparadas às emendas produzidas em madeira com 14% de teor de umidade. Mais adiante, verificou-se que as emendas produzidas em madeira com 22% e 14% de teor de umidade, indicaram menores reduções se comparadas com emendas dentadas em que ambas as partes apresentavam 22% de teor de umidade. Contudo, estas reduções são consideradas muito pequenas, indicando que as tensões geradas durante a secagem não devem causar maiores problemas na resistência das emendas dentadas. Em vários países, são usadas colas à base de uréia e uréia melanina na produção de emendas dentadas, mas com estes adesivos o teor de umidade é mais crítico do que com os adesivos à base de resorcinol.

A madeira sem emenda deve apresentar um teor de umidade dentro do intervalo especificado pelo produtor do adesivo, de acordo com a formulação e o método de aplicação de adesivo, CEN (1995). A diferença de umidade entre as extremidades das peças a serem emendadas não devem exceder 5%. A madeira deve ter um teor de umidade entre 8% e 18%. Alguns adesivos tornam possível estender o limite superior para 23%.

2.1.1.4 *Tratamento.*

Dois tipos de tratamento são mais usuais em madeira estrutural: o tratamento sob pressão com preservativos hidrossolúveis e os óleo-solúveis, RANKES (1980). A combinação eficiência da emenda dentada e o tratamento sob pressão foi avaliada por IVANSSON⁷, apud RANKES (1980). A conclusão tirada deste estudo é que a emenda em madeira tratada ou o tratamento em madeira emendada pode ser feito sem restrições, exceto no caso da madeira tratada com preservativos à base de creosoto que não deve ser emendada, após o tratamento.

As recomendações encontradas na literatura referentes ao tratamento preservativo em MLC, geralmente são:

- quando se usando preservativos hidrossolúveis, a madeira deve ser tratada, seca, reaparelhada e colada;
- com os preservativos óleo-solúveis a madeira deve ser colada e o tratamento efetuado após a secagem do adesivo;
- sempre que os elementos estruturais de MLC necessitem de proteção contra a deterioração ou a ataque de fungos e insetos, é desejável que as tábuas sejam tratadas individualmente antes da colagem, AWPA (1992).

Quanto às emendas de borda e as emendas longitudinais, a AWPA (1992) recomenda que estas emendas só devem ser tratadas após a colagem se o adesivo utilizado for a prova d'água. O reaparelhamento das tábuas deve ser efetuado dentro de um período de 24 h antes da operação de colagem, caso o tratamento seja efetuado antes desta operação.

As recomendações dos produtores de preservativos e adesivos devem ser seguidas, levando em consideração a compatibilidade de qualquer tratamento proposto. A aplicação de preservativos, incluindo os retardantes de incêndio, deve ser feita, em

⁷ IVANSSON, B. O. (1976) *Tryckimpregnerin i samband med fingerskarving*. Svenska Träskyddsinst., n° 123. RANKES, E. (1980). *The Influence of Production Conditions on the Strength of Finger-joints*., Seminar on the Production, Marketing and Use of Finger-jointed Sawwood, Hamar, Norway, sep.

geral, após a emenda dentada ter sido manufaturada. Quando esta regra não puder ser seguida, deve-se tomar o cuidado para que a madeira fique com o teor de umidade adequado antes da colagem. Se a madeira é tratada antes da colagem, é necessário que seja comprovada a compatibilidade entre o adesivo e o preservativo, CEN (1995).

2.1.1.5 Temperatura.

Teoricamente é possível emendar tábuas independente da temperatura e do volume do material, desde que seja fornecido calor suficiente à região da emenda, de maneira a secar o adesivo, RANKES (1980). Mesmo as tábuas excessivamente frias podem ser emendadas, contanto que suas extremidades sejam devidamente aquecidas. O CEN (1995) recomenda que a temperatura da madeira na região da emenda dentada não seja inferior a 15°C.

2.1.2 A geometria da emenda.

Muitos são os fatores que afetam a resistência da emenda dentada. Alguns são referentes à madeira, tal como a espécie, densidade, defeitos naturais e aceitação de colagem; e outros, são referentes ao processo como condições de usinagem, montagem, intensidade e o período de aplicação de pressão. Embora todos estes fatores sejam importantes para o bom desempenho da emenda dentada, a geometria é considerada como um padrão para a eficiência deste tipo de ligação.

A geometria da emenda dentada foi estudada por diversos autores e no passado seus achados pareciam discordar, JORKEST (1980). No entanto, com a aplicação de certas considerações teóricas, seus estudos passaram a apresentar uma boa combinação. Em muitos casos os pesquisadores trabalharam com várias espécies de características diferentes, e mesmo assim seus resultados mantiveram boa correlação.

Antes de dar continuidade a qualquer consideração relativa a emenda dentada, é importante apresentar a terminologia usada para descrever os parâmetros geométricos

deste tipo de emenda longitudinal, que estão diretamente relacionados com sua resistência.

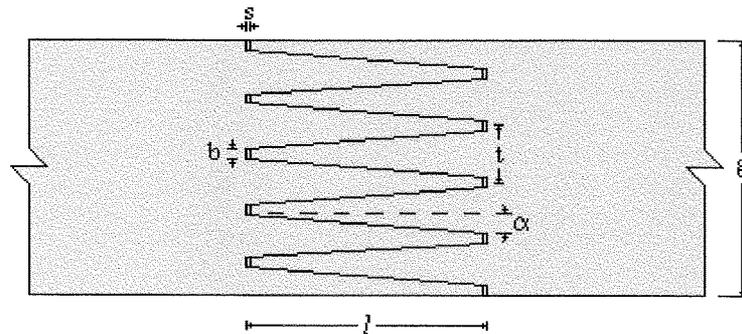


FIGURA 6 - Nomenclatura para geometria das emendas dentadas.

onde: l = comprimento da emenda

t = largura do dente ou passo

g = largura total da emenda

b = largura da ponta do dente

s = folga da ponta do dente

$e = s/l$ = folga relativa

$v = b/t$ = grau de enfraquecimento

$S = tg \alpha$

A_t = área de topo ou área da ponta dos dentes

A_s = área efetiva da seção (sem a área da ponta dos dentes)

A_{ef} = área efetiva de cola ou área da superfície inclinada da emenda (biselada)

Para uma seção unitária S , A_t , A_s e A_{ef} podem ser determinados como segue:

$$S = \frac{\frac{1}{2} \cdot t - b}{l} \quad (1)$$

$$A_t = \frac{b}{t} \quad (2)$$

$$A_s = 1 - \frac{b}{t} \quad (3)$$

$$A_{ef} = \frac{2\sqrt{l^2 + (\frac{1}{2} \cdot t - b)^2}}{t} \quad (4)$$

e substituindo (1) em (4) se obtém:

$$A_{ef} = \frac{2l\sqrt{1+S^2}}{t} \quad (5)$$

Como para baixas inclinações o termo $(\sqrt{1+S^2}) \rightarrow 1$:

$$A_{ef} = \frac{2l}{t} \quad (6)$$

Um ponto de consenso entre muitos pesquisadores são as considerações teóricas sobre a geometria da emenda dentada. Uma emenda dentada pode ser considerada como uma série de emendas biseladas separadas por uma pequena largura nas extremidades dos biséis, as pontas dos dentes (Figura 4). Estas pontas, por se comportarem como uma série de emendas de topo, são consideradas como regiões de enfraquecimento das emendas dentadas.

Para SELBO (1963), se uma seção contendo apenas uma superfície inclinada de um dente for analisada separadamente, esta vem a ser uma emenda biselada. Os ensaios sobre emenda biselada tem mostrado, dentro de certos limites, que a resistência à tração deste tipo de emenda geralmente cresce com o decréscimo da inclinação. Isto é lógico porque a área de cola da emenda cresce quando a inclinação decresce e é inversamente proporcional à inclinação do bisel. Assim sendo, reduzindo a inclinação da parte biselada do dente, mantendo comprimento e ponta constantes, resulta em uma maior área efetiva de cola ou área resistente ao cisalhamento. SELBO define a área de cola das superfícies laterais dos dentes como sendo a área efetiva de cola A_{ef} da emenda, visto que as áreas das pontas dos dentes nem sempre fazem o contato adequado com as áreas das bases dos mesmos (folga s), e provavelmente contribuirão com uma parcela desprezível para a resistência da emenda dentada.

O enfraquecimento de uma emenda dentada consiste no fato de que as pontas truncadas dos dentes formam pequenas emendas de topo, com suas inerentes fraquezas, LOWN (1964). Em adição, pela transferência de sua força para as porções inclinadas dos dentes, estas pontas causam indesejáveis concentrações de tensões na madeira das vizinhanças. A largura da ponta (b) deveria ser, portanto, tão pequena

quanto praticável. Como com as emendas biseladas, a inclinação das porções biseladas dos dentes influenciam diretamente a resistência da emenda dentada. Uma vez que a maior parte da resistência deste tipo de emenda longitudinal é desenvolvida principalmente nas partes biseladas dos dentes, um ajuste fechado das mesmas é necessário para se obter resultados ótimos de colagem. Isto segundo LOWN (1964) é melhor obtido através do corte de pontas um pouco mais largas do que as aberturas correspondentes (folgas), garantindo deste modo o ajuste total nos flancos quando a pressão de colagem é aplicada.

Pela natureza das emendas dentadas e limitações de equipamentos, as pontas dos dentes representam pequenas emendas de topo, MOODY (1970). Com os adesivos convencionais, estas áreas com emendas de topo praticamente não transmitem tensões de uma parte da emenda para outra. A força deve ser transferida principalmente por tensões de cisalhamento ao longo das regiões inclinadas ou biseladas. A resistência da emenda dentada é, por esta razão, um pouco menor que a resistência da emenda biselada com superfície inclinada similar, assumindo todos os outros fatores iguais.

Concordando com pesquisas anteriores DUTKO et al (1980), confirmam a consideração de que a resistência da emenda dentada é dada pelas partes biseladas dos dentes. As pontas dos dentes são fontes de concentrações de tensões e para as emendas com fins estruturais, como é o caso da MLC, estas devem ser tão pequenas quanto possível.

STRICKLER (1980) também relata que a inclinação da superfície lateral dos dentes tem aproximadamente o mesmo efeito na resistência da emenda quanto a inclinação das emendas biseladas. As pontas dos dentes são consideradas de resistência zero, mesmo se estes são espessos e devidamente colados. Além do mais, estas pontas desenvolvem indesejáveis concentrações de tensões que tem um efeito negativo sobre a resistência da emenda.

2.1.2.1 *Investigações analíticas e experimentais.*

Um dos trabalhos pioneiros para discutir o efeito da geometria na resistência da emenda dentada foi apresentado por PALVOV⁸ apud JORKEST (1959). Neste estudo foi relatado que com uma largura de ponta de 0,30mm (0,012”), largura do dente de 8mm (0,315”) e a inclinação variando de 1:8 a 1:16 obteve-se resultados aproximadamente iguais em termos de resistência. Quando a largura da ponta foi aumentada até próximo de 2mm (0,079”), foi necessário que a inclinação estivesse entre 1:14 e 1:16 para se manter o mesmo nível de resistência. Com o acréscimo da largura da ponta, a área efetiva de cola (A_{ef}) foi reduzida em torno de 46%, sendo necessário reduzir a inclinação (aumentar A_{ef}) para se obter uma resistência equivalente com esta largura de ponta.

Em 1959, PAGE⁹ apud JORKEST (1980) relata sobre o estudo realizado para avaliar o efeito da inclinação dos dentes na resistência da emenda dentada. Neste estudo, os experimentos em emendas dentadas com largura (t) e ponta (b) constantes mostraram: que para pequenas reduções na inclinação de 1:8 ou 1:9 houve um marcante incremento na resistência da emenda. As emendas com maiores reduções na inclinação, 1:12 por exemplo, foram apenas um pouco mais resistentes. Estes acréscimos de resistência eram esperados, uma vez que a redução da inclinação gera um acréscimo da área efetiva de cola da emenda, (A_{ef}).

Um outro estudo bastante citado na literatura foi apresentado por RICHARDS¹⁰ em 1963, cujo intuito foi mostrar o efeito da largura da ponta (b) do dente na resistência da emenda dentada. Nesta pesquisa, o procedimento adotado foi comparar duas geometrias da emenda dentada com versões modificadas de geometria similar. A primeira versão apresentava 1:9 de inclinação, 39,50mm de comprimento, 1,00mm de ponta e uma largura de aproximadamente 10,80mm. A segunda apresentava 1:7 de

⁸PALVOV, V. P. (1954). *Joining wood longitudinally with toothed tenons*. Transl. From Denoapenerabalyvaishrica I Les oknemicheskaia Promzehlennost, Wood Process. And Wood Chem. Ind., vol. 3, nº 10, p. 5-8.

⁹PAGE, M. W. (1959). *Finger jointing*. The Australian Timber Journal., vol. 25, nº 5, p. 82-95.

JORKEST, R. (1980). *The effect of geometry on the performance of structural finger joints*. Seminar on the Production Marketing and Use of Finger-jointed Sawnwood, Hamar, Norway, 11p., sep.

¹⁰RICHARDS, D. B. (1963) *Improved tips for finger joints*. Forest Products Journal, vol. 13, nº 6.

inclinação, 8,90mm de comprimento, 0,80mm de ponta e 4,10mm de largura. As emendas modificadas foram cortadas de modo que cada dente tivesse um afinamento na extremidade, e os fundos abertos por cunhas de aço de inclinação 1:10, constituindo emendas de pontas muito finas após a aplicação da pressão de colagem. Estas emendas, executadas em cinco diferentes espécies de madeira, foram coladas e ensaiadas à tração, mostrando um substancial incremento de resistência nas emendas modificadas. Para o autor, o tratamento da ponta gerou um aumento médio de resistência das emendas da ordem de 46% (36% desprezando os valores muito altos considerados como não típicos), o que vem a indicar uma considerável redução nas concentrações de tensões que ocorrem nas pontas dos dentes.

Talvez um dos trabalhos mais completos para avaliar o efeito da geometria na resistência à tração da emenda dentada foi apresentado por SELBO (1963). Neste estudo foram avaliados os efeitos de três larguras de ponta (0,045", 0,090" e 0,135"), seis inclinações (1:6, 1:8, 1:10, 1:12, 1:14 e 1:16), seis larguras de dente (3/16", 1/4", 5/16", 3/8", 7/16" e 1/2"), em três espécies de madeira. Das três espécies envolvidas no estudo duas eram *softwoods* (Sitka spruce e Douglas fir) e a terceira uma *hardwood* densa (White oak), sendo que nesta última apenas uma largura de ponta de 0,045" foi avaliada. Com base nos resultados desta investigação SELBO apresenta as seguintes conclusões:

- as emendas dentadas em geral têm aumento de resistência com o decréscimo da inclinação, mas esta relação de aumento decresce à medida que a inclinação é reduzida. Este ganho de resistência foi muito pequeno quando a inclinação foi reduzida de 1:12 até 1:16, sendo que a inclinação de 1:14 pareceu apresentar maior ganho de resistência;
- com a inclinação e a largura da ponta mantidas constantes, a resistência da emenda geralmente aumenta com acréscimo da largura dos dentes, fato este que já era esperado, pois o acréscimo da largura do dente implica em maior comprimento (l), e conseqüentemente maior área efetiva de cola (A_{ef});
- há uma boa correlação entre a resistência e a área efetiva de cola (A_{ef}) da emenda, indicando que para se obter a alta resistência da ligação os dentes devem ser

suficientemente longos e a inclinação baixa o bastante para gerar uma (A_{ef}) de magnitude adequada para resistir aos esforços que se aproximam da resistência à tração da área efetiva da seção (A_s);

- quando os requisitos prévios são encontrados (inclinação, área ou relação l/t) a largura da ponta vem a ser o fator decisivo na consideração da resistência da emenda. Quanto mais fina for a ponta maior será a resistência.

MILNER & YEOH (1991) avaliam o efeito da geometria da emenda dentada através de uma análise pelo método de elementos finitos. As linhas de cola são analisadas sob esforços de tração pura, usando o convencional elemento finito bilinear quadrilateral para a modelagem do aderente e o elemento de BARKER & HALT¹¹ para a modelagem da linha de cola. Baseados nesta investigação os autores apresentam as seguintes conclusões:

- os elementos finitos usados para analisar a linha de cola são consistentes com a teoria da elasticidade, desde que seja aceitável que a tensão de cisalhamento seja constante através da linha adesiva;
- a aplicação da análise de elementos finitos para emendas dentadas típicas, prediz a presença de concentrações de tensões de cisalhamento e de superfície nas linhas de cola próximo às pontas dos dentes;
- a magnitude do fator de concentração de tensões de cisalhamento e de superfície aumenta com o acréscimo da largura da ponta do dente. Este fator pode ser da ordem de nove para pontas de 1,52mm, reduzindo-se para cinco com dentes de 0.50mm. Como consequência, a largura da ponta tem maior efeito sobre a resistência da emenda dentada do que a área total colada;
- reduzindo-se o módulo de elasticidade da cola reduz-se as concentrações de tensões, desde que o adesivo possa preencher os espaços vazios e seja mais flexível do que a madeira, podendo ser vantajoso engrossar a linha de cola nas vizinhança das pontas dos dentes.

¹¹BARKER, R. M.; HATT, F. (1973) *Analysis of bonded joints in vehicular structures*. J. AIAA, vol. 11, nº 12, p. 1650-1654.

2.1.2.2 *Orientação dos dentes.*

Existem duas escolas de pensamento relativo à orientação dos dentes, LOUW (1964). Na Europa a “Alemã”, onde o perfil da emenda (geometria) é visível na face das tábuas, com uma linha fina nas bordas, sendo também conhecida como emenda dentada vertical. Nos Estados Unidos, Canadá e Austrália a “Americana” ou emenda dentada horizontal, com o perfil da emenda aparecendo nas bordas. Para LOUW a vantagem da emenda dentada horizontal em relação a vertical, é principalmente do ponto de vista estético (aparência), uma vez que a emenda dentada vertical (Alemã) oferece a vantagem de gerar uma maior área de linha de cola, aproximadamente 1,4% por cm de largura de face. PAGE¹² apud LOUW (1964), encontrou que as emendas dentadas verticais foram aproximadamente 9% mais resistentes que as emendas dentadas horizontais.

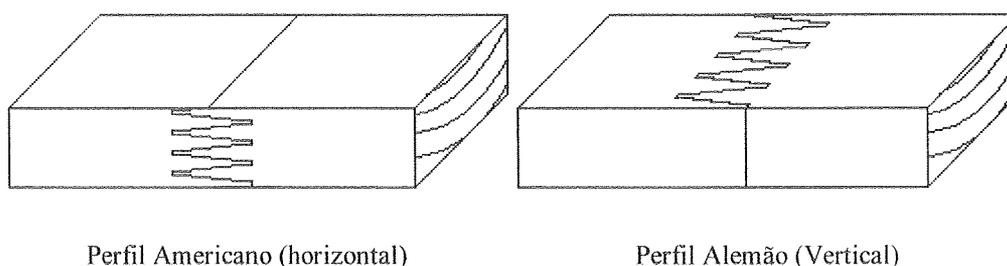


FIGURA 7 - Tipos de orientação das emendas dentadas.

DUTKO et al (1980) através de resultados de estudos experimentais, afirmam que a orientação do carregamento (ou orientação dos dentes) não influencia significativamente o valor médio da resistência à flexão e nem o módulo de elasticidade dos corpos-de-prova. No entanto, a variabilidade dos resultados para a resistência à flexão das emendas dentadas horizontais é maior do que para as verticais. Segundo LAMB-SHINE & WANDS (1980), os dados dos ensaios comparativos levando em conta as duas orientações são aproximados, mas geralmente em favor das emendas dentadas verticais.

¹²PAGE, M. W. *Finger jointing*. The Australian Timber Journal., vol. 25, nº 5, p. 82-95, 1959. LOUW, F. (1964). *Finger-jointing Techniques and Applications*. Timber Research Unit, C.S.R.I., Pretoria, nº RU 1.18.

A afirmação de RANKES (1980) é que as investigações têm mostrado que a diferença de resistência entre as duas orientações é muito pequena podendo ser desprezada. RANKES relata ainda que quando ensaiadas à flexão as emendas dentadas verticais são um pouco mais resistentes que as emendas dentadas horizontais. Para o autor, a razão para esta inferioridade das emendas dentadas horizontais quando ensaiadas à flexão é provavelmente a influência dos dentes externos do lado tracionado, especialmente se esta ligação é mal executada ou se a emenda acaba em uma ponta.

2.1.2.3 *Indicações para geometria das emendas dentadas.*

Com base nos estudos realizados para avaliar o efeito da geometria na resistência das emendas dentadas, alguns pesquisadores apresentaram uma série de conclusões que podem ser usadas como indicações para se obter o grau de eficiência adequado para as emendas dentadas. A indicação de SELBO (1963), é que para se atingir a mais alta resistência da emenda dentada, a ponta (b) dos dentes deve ser tão fina quanto possível, isto é, dentro dos limites práticos dos cortadores. A relação comprimento/largura (l/t) deve ser consideravelmente grande, de maneira a garantir uma adequada área de cola da emenda, desenvolvendo assim a resistência necessária ao cisalhamento.

Várias afinidades devem ser lembradas quando se trabalha com emendas dentadas. A primeira, é que a seção líquida (A_s) da emenda deve ser mantida tão grande quanto possível, pois é esta área que resiste às tensões aplicadas; e para que isto ocorra, a ponta (b) dos dentes deve ser mínima. Além do mais, a largura (t) da base dos dentes deve ser suficiente para resistir às concentrações geradas nas pontas dos mesmos. A segunda, é que a emenda dentada depende da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira. Esta resistência é aproximadamente um décimo da resistência à tração paralela às fibras da madeira. Portanto, para desenvolver uma proporção adequada da resistência à tração da madeira, é necessário que a área efetiva de cola (A_{ef}) seja de 8 a 10 vezes maior que a área efetiva da seção (A_s), principalmente no caso das coníferas (*softwoods*), JORKEST (1980), RANKES (1980) e FISSETTE (1988).

2.1.2.4 *A geometria ideal.*

São muitas as possibilidades de variações da geometria das emendas dentadas, todas as quais podem funcionar muito bem, indicando que nenhum perfil pode ser considerado como ideal, JORKEST (1980). O potencial de resistência ou desempenho de uma emenda dentada é função da inclinação, largura, comprimento e largura da ponta dos dentes. Estes quatro parâmetros são interdependentes, ou seja, mudando a dimensão de um, conseqüentemente resultará em mudanças dos outros. Isto torna possível prever se uma alteração influencia positivamente ou negativamente na eficiência da emenda dentada.

Uma melhor geometria pode ser obtida, tanto com um baixo grau de enfraquecimento (v) quanto com um baixo ângulo de inclinação (α) da porção biselada dos dentes, KOLB (1980) e RANKES (1980). O resultado em ambos os casos é um dente curto e um dente longo.

- *os dentes curtos* (7,50mm a 10mm) apresentam baixo desperdício de material e maior facilidade de mecanização que os dentes longos, permitindo a utilização de equipamentos de corte mais simples. A pressão de colagem pode ser mais elevada sem apresentar risco de fendilhamento, isto respeitando a resistência à compressão da madeira. Com este tipo de dente há pouca ligação de topo e folga na emenda (maior ajuste), fazendo com que o excesso de cola tenha dificuldade em escapar, especialmente com grandes seções transversais. Isto pode causar uma pressão hidráulica do adesivo na madeira, gerando o perigo de um pequeno “efeito de mola” se o período de prensagem é muito curto. Assim, a aplicação de cola deve ser corretamente controlada e a pressão mantida por alguns segundos, a não ser que adesivo seja seco sob pressão, RANKES (1980). O risco de emendas mal ajustadas é maior, havendo necessidade de fixação das peças para evitar o cruzamento dos dentes e a conseqüente perda de resistência. Os cortadores muito finos são vulneráveis a dano, e como eles são geralmente desenvolvidos como cabeçotes (Item 2.1.3), o conjunto deve ser repostos se um dente é danificado.

- *os dentes longos* (50mm a 60mm), geram considerável desperdício de material e exigem maior potencial para a mecanização. A deformação nos eixos de rotação e apoios dos cortadores é muito elevada, mesmo que um entalhe prévio seja executado. As altas pressões de colagem causam maior risco de fendilhamento nas bases dos dentes e, conseqüentemente, imediata perda de resistência da emenda. Os cortadores, por outro lado, são mais robustos e o posicionamento das peças durante a prensagem é razoavelmente mais fácil. Isto torna possível o corte e a prensagem das emendas em diferentes estágios, aumentando a velocidade global de produção, RANKES (1980).

Na prática, comprimentos de dentes de 7,50mm a 60mm são usados, mas segundo a literatura o intervalo mais comum varia de 15 a 35 mm. Nas tabelas a seguir, são apresentadas algumas geometrias de emendas recomendadas para uso estrutural em vários países. As correspondentes áreas efetivas de cola (A_{ef}) e os respectivos graus de enfraquecimento das seções transversais unitárias também são mostrados.

TABELA 1 - Inglaterra: geometrias recomendadas.

Efic. na flexão(%)	l (mm)	t (mm)	b (mm)	A_{ef} (mm ²)	v (%)
80	60	15,00	2,70	8,06	18
75	55	12,50	1,50	8,85	12
65	40	9,00	1,00	8,94	11
55	30	6,50	1,50	9,28	23
50	30	11,00	2,70	5,54	24
50	25	5,00	1,50	10,04	30

Fonte: RANKES (1980).

TABELA 2 - República Federal da Alemanha: Principais geometrias.

Classe	l (mm)	t (mm)	b (mm)	A_{ef} (mm ²)	v (%)
estrutural	7,5	2,50	0,20	6,10	8,60
	10	3,70	0,60	5,50	16,20
	20	6,20	1,00	6,50	16,10
	50	12,00	2,00	8,40	16,70
	60	15,00	2,70	8,10	18,00
não estrutural	4	1,60	0,40	5,10	25,00
	15	7,00	1,70	4,40	24,20
	30	10,00	2,00	6,10	20,00

Fonte: DIN 68140 (1971).

TABELA 3 - Escandinávia: geometrias recomendadas.

l (mm)	t (mm)	b (mm)	A_{ef} (mm ²)	v (%)
40	9,00	1,00	8,90	11,00
32	6,20	0,50	10,40	8,10
29	6,20	0,60	9,40	9,70
20	6,20	1,00	6,50	16,10
15	3,80	0,30	8,00	7,90
10	3,80	0,60	5,40	15,80
7,5	2,50	0,20	6,10	8,00

Fonte: RANKES (1980).

TABELA 4 - Geometrias recomendadas pelo Comitê Europeu de Normalização (CEN).

l (mm)	t (mm)	b (mm)	A_{ef} (mm ²)	v (%)
10	3,70	0,60	5,50	16,20
15	3,80	0,30	8,00	7,90
20	6,20	1,00	6,50	16,10
32	6,20	1,00	10,34	16,10

Fonte: CEN - EN 385-1995.

Todos os estudos referentes à geometria das emendas dentadas indicam que é praticamente impossível a produção de um perfil considerado ideal. Como alternativa, buscou-se uma geometria que unisse uma boa resistência de emenda aos limites

práticos de produção. Com base nisto, surgiram várias configurações para a geometria das emendas dentadas, como mostrado nas tabelas anteriores. Dentre estas, a geometria de 20 mm de comprimento correspondente a DIN 68140 (1971) é vista na bibliografia como uma das mais eficientes e usadas no contexto internacional, principalmente na Europa e África do Sul, sendo também a geometria adotada pelo parque produtor de MLC no país.

2.1.3 A operação de usinagem.

Como todos os outros artigos industrializados, a qualidade do produto final é totalmente dependente da técnica usada. A emenda dentada raramente alcançará o desempenho esperado se não for produzida adequadamente. Um dos aspectos mais importantes do processo de produção destas emendas é a operação de usinagem, a qual deve ser feita da melhor maneira possível. O tipo de equipamento usado para usinagem e a qualidade da superfície obtida tem fundamental influência sobre a resistência da emenda dentada.

2.1.3.1 Tipos de usinagem.

O estudo da literatura mostra que existem dois métodos básicos para usinagem das emendas dentadas: as ferramentas de corte convencionais e as matrizes de conformação ou moldadores.

a) As ferramentas convencionais de corte ou cortadores.

As ferramentas convencionais de corte, por sua vez, podem ser divididas em três grupos básicos que são: o sistema agrupado de serras circulares, o cortador tipo asa e o cortador tipo disco.

a.1) *O sistema agrupado de serras circulares:* é considerado o mais barato, e constitui-se de dois grupos de serras circulares distribuídas em dois eixos giratórios paralelos (Figura 8). As serras apresentam diâmetros gradativamente diferentes, de

largura mínima das pontas dos dentes é limitada pelo risco de aquecimento e desgaste que ocorre devido a inadequada dissipação da temperatura de corte. Para superar isto, são usadas velocidades de corte relativamente altas, as quais minimizam o problema de balanceamento, especialmente após a reafiação.

a.3) *O Cortador tipo disco*: pode ser definido como um conjunto de discos fixos ao eixo giratório de uma máquina, como mostrado na Figura 11. Esta categoria de cortador é pouco utilizado para produção das emendas dentadas estruturais, tendo sua maior utilidade no entalhe prévio dos dentes para o processo de conformação das emendas dentadas, STRICKLER (1967). A razão disto, é que a configuração deste equipamento dificulta a saída dos resíduos de madeira durante o corte das emendas dentadas, principalmente com dentes longos. Assim sendo, é mais utilizado para produção de dentes curtos ou não estruturais.

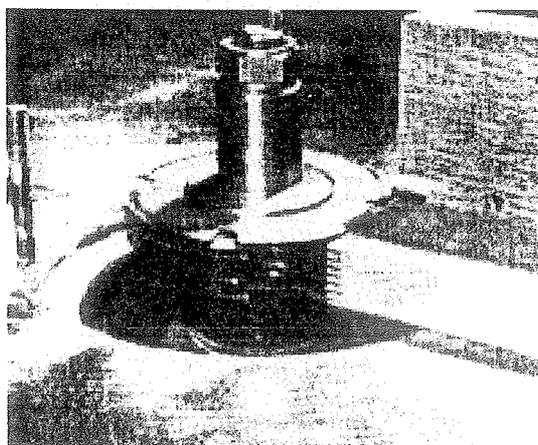


FIGURA 11 - Sistema de discos fixos a um eixo giratório

b) *As matrizes de conformação ou moldadores.*

Basicamente, este processo consiste no emprego de uma matriz aquecida ou molde de geração para formar uma emenda dentada padrão, LOUW (1967) e STRICKLER (1967), como mostrado esquematicamente na Figura 12. As pontas dos dentes da matriz penetram na madeira ao longo das fibras e, deste modo, desenvolvem superfícies de colagem paralela às mesmas. A madeira situada entre o moldador e a

emenda é comprimida e densificada pela ação da conformação (encunhamento). O calor serve para plastificar a madeira densificada na configuração da matriz. Isto permite que sejam formados dentes de pontas muito finas com a mesma precisão da geometria do molde, possibilitando a produção de emendas altamente eficientes.

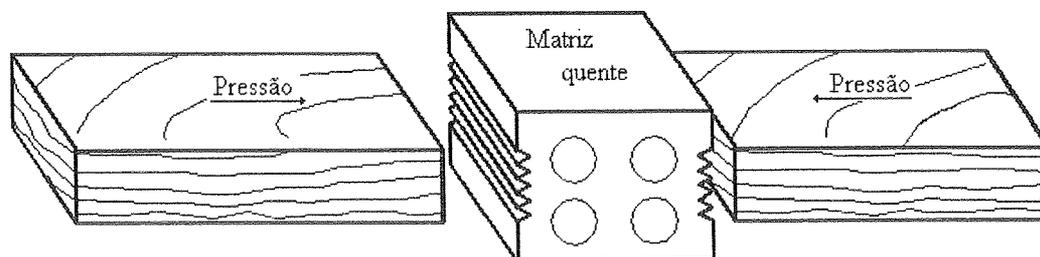


FIGURA 12 - Esquema de moldagem de emendas dentadas.

De acordo com a literatura, dois são os tipos de moldagem de emendas dentadas. No primeiro ou Tipo 1, a moldagem é realizada na superfície de topo da madeira tal como mostrado na figura acima. No segundo ou Tipo 2, a moldagem é realizada após uma usinagem prévia da emenda. Em ambos os casos as emendas dentadas podem ser verticais ou horizontais

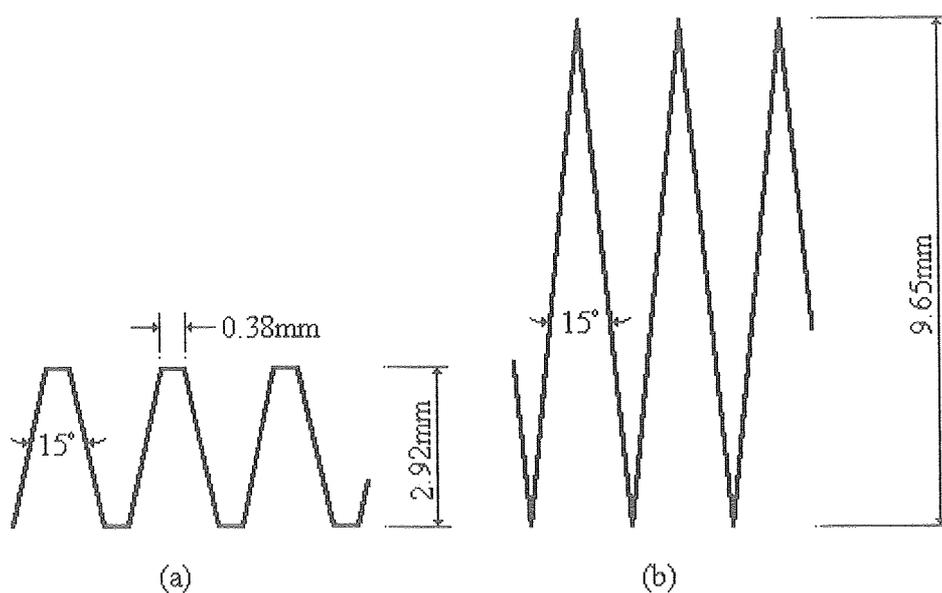


FIGURA 13 - Geometrias de moldagem Tipo 1 e 2.

b.1) *A moldagem Tipo 1*: é consideravelmente afetada pelo peso específico da madeira, e geralmente só é realizada com espécies de baixa densidade, STRICKLER (1967). A densidade real da madeira, substância da parede celular (aproximadamente $1,53\text{g/cm}^3$) representa o limite superior de compactação obtível com métodos ordinários de pressão e o moldador não compacta a madeira acima deste valor. Assim, se a relação de compressão da ponta do dente (relação de largura entre a ponta e a base do dente do impressor) é 3:1, a conformação satisfatória não pode ser obtida com o Tipo 1 quando a densidade da madeira excede $1/3$ da densidade da parede celular ou $0,50\text{g/cm}^3$. A moldagem de madeira de mais alta densidade em uma matriz com relação de compressão 3:1 pode resultar em impressão de emendas deficientes em aparência e resistência.

Segundo STRICKLER, para este tipo de impressão são preferidas as matrizes com pontas cegas (Figura 13a), pois a madeira imediatamente à frente das pontas é esmagada longitudinalmente durante a moldagem. Embora estas fibras sejam idealmente indesejadas, o volume de madeira que deve ser comprimido lateralmente é reduzido. Isto torna possível a obtenção de dentes mais longos e, conseqüentemente, melhor encaixe e resistência das emendas dentadas. Apesar disto, o Tipo 1 é considerado adequado apenas para o molde de emendas dentadas usadas em produtos que não são altamente tensionados. A resistência da emenda neste caso é aproximadamente metade da resistência da madeira maciça, para as espécies de baixa densidade.

b.2) *A impressão Tipo 2*: emprega uma operação de usinagem prévia, e é muito menos afetada pela densidade quando comparada ao Tipo 1. O corte prévio remove o excesso de madeira que deveria ser comprimida lateralmente ou distorcida longitudinalmente, tornando possível a eliminação das fibras danificadas. Este método ilustrado na Figura 14, é utilizado para desenvolver emendas dentadas de alta resistência mecânica.

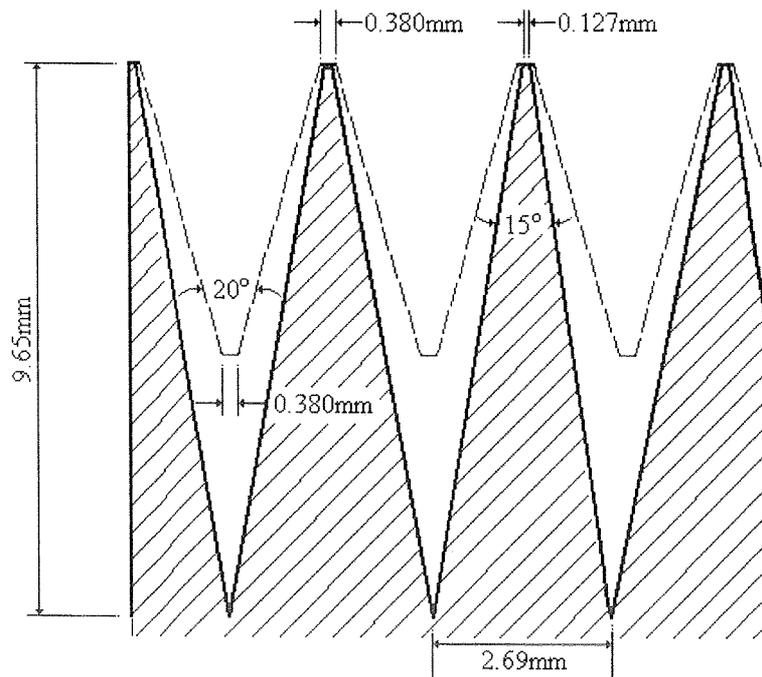


FIGURA 14 - Esquema do método de impressão Tipo 2.

Na Figura 14 as linhas tracejadas representam a usinagem prévia da emenda e a linha contínua o perfil final da emenda após o molde. A geometria da emenda pré-usinada é executada com cortadores convencionais tipo disco (Figura 10), apresentando metade da altura e um ângulo maior que a configuração final da emenda.

2.1.3.2 *Qualidade das superfícies de colagem.*

Para se obter emendas dentadas de boa resistência, uma das condições necessárias é que as superfícies dos dentes sejam razoavelmente lisas, secas e sem danos. Assim, para satisfazer esta condição é fundamental que o processo de corte ou de moldagem seja feito adequadamente.

a) *A qualidade do corte.*

O corte dos dentes pode representar uma das piores condições na produção das emendas dentadas. As fibras irregulares podem influenciar a qualidade da superfície de corte, mas o estado do cortador é considerado, pela maioria dos autores, como crítico na produção de emendas dentadas de superfícies adequadas.

Os cortadores, quando bem afiados, produzem superfícies limpas e excessivamente lisas, afetando a resistência das emendas dentadas. Segundo o relato de RANKES (1980), os operadores alegam que tais superfícies são difíceis de colar. Isto gera um problema de adesão e a razão desta dificuldade pode ser que o atrito na linha de cola é muito reduzido quando as superfícies são muito lisas. Esta situação pode causar um desajuste das emendas (tranco), devido ao efeito combinado do escorregamento da linha de cola e a pressão hidráulica gerada pelo excesso de adesivo na emenda. De acordo com o autor, um ligeiro acréscimo no período de prensagem pode ajudar a evitar este efeito. Um outro método é fazer dentes ligeiramente convexos, usando ferramentas de corte com um perfil côncavo.

Após o desgaste inicial, os cortadores passam a apresentar perfil de corte mais ou menos constante por um longo período. As superfícies de colagem tornam-se mais rugosas e retas, produzindo maior atrito na linha de cola, melhor encaixe e, conseqüentemente, emendas mais resistentes. Conforme desgastados, os cortadores apresentarão superfícies progressivamente rugosas que podem gerar arrancamento excessivo, especialmente se a madeira estiver úmida ou pré-aquecida, LOUW (1964) e RANKES (1980). Os cortadores devem ser reafiados em períodos tais que estes problemas sejam evitados, caso contrário produzirão superfícies de colagem deficientes, gerando emendas dentadas de baixa resistência, principalmente à tração. Estes períodos devem ser estabelecidos na própria fábrica (checagem da aparência das emendas, potência consumida na operação de corte, etc).

Quando o corte dos dentes e a aplicação de adesivo são realizados no mesmo local, deve-se usar aparelhos de sucção com capacidade suficiente para garantir que os restos provenientes do corte (serragem ou cavacos) sejam totalmente removidos, evitando que os mesmos se acumulem na cola. Neste caso, uma blindagem do equipamento de colagem durante a operação de corte ajudará a manter o adesivo limpo. Se a operação de corte e a colagem das emendas são realizadas em ambientes diferentes, os resíduos podem ser removidos por meio de jatos de ar se necessário, RANKES (1980).

Um outro aspecto que deve ser levado em consideração durante o processo de produção das emendas dentadas, é o período entre a operação de corte e a colagem. Para CHUGG (1964) e RANKES (1980) este período deve ser satisfatório, caso contrário ocorrerá uma redução da eficiência das ligações adesivas. RANKES cita ainda que em um experimento sueco, as emendas dentadas coladas uma semana após ao corte foram aproximadamente 50% menos resistentes que as emendas coladas imediatamente após ao corte.

b) A qualidade da moldagem.

Em adição as considerações de geometria das emendas e o tipo de moldagem, algumas variáveis do processo afetam a qualidade do molde das emendas dentadas. Estas variáveis discutidas abaixo, parecem interagir com as espécies, STRICKLER (1967).

b.1) *A pressão* : deve ser suficiente para moldar as peças de madeira no formato da matriz, mas o avanço do dispositivo de conformação deve ser interrompido quando a moldagem encontrar a altura total, pois pode ocorrer ruptura à compressão paralela nas fibras da madeira situadas na base dos dentes. Uma pressão de conformação insuficiente, por outro lado, desenvolve emendas incompletas. A resistência e aparência da emenda dependem do controle preciso da altura de moldagem.

STRICKLER relata que uma pressão de aproximadamente $0,70\text{kN/cm}^2$ a $0,84\text{kN/cm}^2$ foi suficiente para a formação de emendas dentadas em coníferas de baixa densidade. A pressão para formação de emendas Tipo 2, depende da espécie e da proporção de material removido na operação de usinagem prévia. Uma pressão variando de $1,05\text{kN/cm}^2$ a $1,26\text{kN/cm}^2$ mostrou-se satisfatória para a moldagem de coníferas densas, enquanto que para as coníferas de baixa densidade a pressão de $0,56\text{kN/cm}^2$ foi suficiente.

b.2) *O calor e a umidade*: especialmente a combinação dos dois, tende a amolecer a madeira; assim sendo, a matriz de conformação deve ser aquecida. Com a combinação da alta temperatura e algum teor de umidade, a madeira é amolecida facilmente, permitindo que a matriz penetre e comprima a madeira com o mínimo de perturbação das fibras e um mínimo de pressão. O efeito do amolecimento persiste passageiramente durante a moldagem devido à umidade migrar rapidamente para longe da fonte de calor ao longo das fibras da madeira. Quando a umidade migra da região dos dentes no estado comprimido, os dentes são formados na configuração da matriz.

Na transformação da madeira, da condição amolecida para a condição densificada, a lignina pode fluir momentaneamente e resultar em uma reação de densificação permanente da madeira na emenda dentada. A condição de madeira densificada obtida no corpo do dente, todavia, é similar à condição da madeira encurvada usando vapor (*steam bending*). Assim, parte da densificação dos dentes não é permanente se a madeira for umedecida (molhada).

Alguma movimentação é verificada quando as emendas são coladas, mas apenas uma expansão externa ocorre em uma emenda dentada colada quando esta for saturada. Somente os dentes com as superfícies expostas podem expandir sem restrição. As emendas expandem apenas na direção a qual as fibras da madeira foram compactadas pela ação da moldagem da matriz, não havendo nenhuma movimentação na superfície onde aparece o perfil da emenda.

A máxima temperatura da matriz deve ser um pouco menor que a temperatura que queima a madeira durante o período requerido para a formação dos dentes. Uma temperatura da matriz de aproximadamente 260°C é adequada para moldagem de emendas dentadas. Embora o período adequado para um molde completo dependa de fatores tais como pressão, espécie, densidade da madeira e a temperatura da matriz, este geralmente não ultrapassa 5 segundos.

2.1.3.3 *Os moldadores versus cortadores.*

No processo de produção, as emendas dentadas moldadas tem várias vantagens quando comparadas com as emendas dentadas convencionais correntemente manufaturadas. Segundo os estudos apresentados por LOUW (1967) e STRICKLER (1967), algumas destas vantagens são:

- a perda de madeira e o consumo de adesivo são consideravelmente menores para os moldadores do que para as emendas dentadas convencionais;
- um aspecto inerente à produção de emendas dentadas por meio de uma matriz de conformação, é que o adesivo pode ser suficientemente seco dentro de segundos após a moldagem (calor residual da matriz de conformação usado vantajosamente no processo de cura do adesivo), enquanto que as emendas convencionais tem que ser corretamente empilhadas e estocadas. A vantagem óbvia é uma linha de produção mais fluente, além da mais eficiente utilização do espaço da fábrica. Esta vantagem é eliminada se a secagem das emendas dentadas convencionais usando radiofrequência puder ser desenvolvida sucessivamente;
- o moldador das emendas dentadas é consideravelmente menor e mais fácil de operar que as máquinas para o corte das emendas dentadas convencionais, podendo reduzir o número de operadores;
- as emendas dentadas moldadas são mais fortes que as emendas dentadas convencionais. Os corpos-de-prova testados por LOUW (1967), por exemplo, indicaram que as emendas dentadas moldadas foram mais resistentes em módulo de resistência à e na resistência à tração, aproximadamente 30% e 60% respectivamente. Os resultados dos testes das emendas dentadas moldadas também são mais uniformes do que os das emendas dentadas convencionais (baixo coeficiente de variação);
- esteticamente as emendas dentadas produzidas pelo processo de conformação são mais agradáveis que as emendas dentadas convencionais.

2.1.4 *A seleção do adesivo.*

O rápido avanço na tecnologia dos adesivos provavelmente foi um dos principais responsáveis pela utilização das emendas longitudinais como um método de produção. Assim, os adesivos permanecem como um dos mais importantes aspectos da manufatura das emendas dentadas, LOUW (1964). Estes devem ser capazes de produzir emendas com resistência e durabilidade tal que a integridade da ligação seja mantida por toda a vida útil desejada da estrutura. Deste modo, os adesivos para laminação devem ser de uma classe que conformará os requisitos de condição de utilização dos elementos estruturais de MLC.

Vários tipos de adesivo desenvolvem resistência adequada para o uso em emendas dentadas estruturais, mas poucos deles são duráveis o bastante para serem usados em ambientes exteriores. Segundo o AITC (1974), não é prático o uso de dois tipos de adesivo no interior de um mesmo elemento estrutural. Se parte de uma peça necessita de uso de adesivo a prova d'água, então todo este elemento deve ser produzido com este tipo de adesivo. No momento não pretende-se entrar em discussão dos adesivos e das ligações adesivas, mas algumas observações referentes aos grupos de adesivos para madeira, encontradas na literatura são citadas a seguir.

É prática corrente classificar a durabilidade das ligações em termos de sua resistência ao descolamento sob várias condições de exposição natural; dados sobre esta resistência foram obtidos por meio de experimentos sob longos períodos de exposição. Os resultados destes ensaios foram relacionados com o comportamento dos ensaios normais das ligações adesivas, isto é, quando as ligações são submetidas ao frio, calor, água fervente ou vapor, sendo que tais testes são requisitos de distinção destas especificações, METTEM (1986) e TRADA (1991). Quatro classes de resistência da ligação adesiva e as características de cada uma são apresentadas a seguir:

- *a prova de intempérie e a prova de fervura*: são adesivos que pela sistemática de ensaios e pelo registro de seu desempenho em serviço após muitos anos de exposição, provaram ser capazes de produzir ligações altamente resistentes a

intempérie, microorganismos, frio, água fervente e calor seco. Somente alguns adesivos do tipo fenol formaldeído e resorcinol formaldeído, e as misturas destes tipos têm demonstrado satisfazer tais requisitos;

- *resistentes a fervura*: as ligações feitas com estes tipos de adesivos têm boa resistência a intempérie e aos testes de resistência a água fervente, mais falham sob condições de exposição muito prolongada. As ligações resistem a água fria por muitos anos e são altamente resistentes ao ataque de microorganismos. Os adesivos do tipo melanina formaldeído e uréia formaldeído podem satisfazer estes requisitos;
- *resistente a umidade e moderadamente resistente a intempérie*: as emendas feitas com estes adesivos resistem somente por poucos anos a exposição total a intempérie. Resistem a água fria por um longo período e a água quente por um período limitado, mas falham nos testes com água fervente. São resistentes ao ataque de microorganismos. Os adesivos do tipo uréia formaldeído podem satisfazer estes requisitos;
- *grupo interior*: as ligações feitas com estes adesivos são resistentes a água fria, mas não são requeridos para resistir ao ataque de microorganismos. Os adesivos do tipo uréia formaldeído e caseína normalmente satisfazem tais requisitos.

OZELTON & BAIRD (1976), METTEM (1986) e a TRADA (1991), apresentam algumas recomendações relativas a escolha do adesivo e classificam as condições de serviço dos elementos estruturais de madeira em cinco categorias:

- *intempérie exterior, alto risco*: neste grupo são incluídas as estruturas marinhas e exteriores, em geral onde a linha de cola é totalmente exposta a umidade. Para este grupo recomenda-se o uso dos adesivos totalmente à prova de intempérie como a resorcina formaldeído, fenol formaldeído e o fenol resorcinol formaldeído;
- *intempérie exterior, baixo risco*: encontram-se as estruturas de cobertura e pórticos de galpões, depósitos e outras estruturas abertas. Recomenda-se o uso dos adesivos do grupo anterior ou a melanina uréia formaldeído;
- *intempérie interior, alto risco*: nesta categoria são incluídas as estruturas interiores onde o teor de umidade da madeira pode superar 18% e a temperatura exceder os

50°C, como lavanderias, telhados sem espaço para ventilação, ambientes quimicamente poluídos e piscinas. Recomenda-se para tais estruturas os mesmos adesivos do segundo grupo;

- *intempérie interior, baixo risco*: neste grupo incluem-se as estruturas onde o teor de umidade da madeira não ultrapassa 18% e a temperatura da linha de cola não excede 50°C, como por exemplo, no interior de casas e edifícios. Estes elementos estruturais não requerem grandes restrições quanto ao tipo de adesivo, podendo ser além dos adesivos do segundo grupo a uréia formaldeído e a caseína;
- *especial*: atmosferas quimicamente poluídas. Nesta categoria incluem-se as estruturas nas vizinhanças de fábricas de produtos químicos ou associadas com a produção de baterias elétricas, e as coberturas de piscinas e tinturarias. Recomenda-se para estas estruturas usar os mesmos adesivos do primeiro grupo.

2.1.5 *A aplicação do adesivo.*

Vários são os métodos empregados para aplicação do adesivo nas emendas dentadas. Nas máquinas especialmente projetadas para a produção destas emendas, o adesivo geralmente é espalhado por meio de roletes ou pistolas de pressão, enquanto a madeira permanece na máquina. Alguma dificuldade de aplicação é encontrada com certos tipos de adesivos por causa do entupimento gerado pelo acúmulo de cola na pistola, LOUW (1964). Em certos casos esta aplicação é realizada molhando-se uma ou ambas as partes da emenda no adesivo. Porém, este método conduz a um considerável desperdício da cola. Uma aproximação desejável neste caso é a aplicação do adesivo usando uma espátula com o perfil da emenda dentada.

De acordo com RANKES (1980), a aplicação do adesivo deve ser realizada de maneira que haja o mínimo de perdas, uma vez que isto é de curso bastante dispendioso. Uma outra situação que pode ser evitada com a aplicação eficaz de adesivo, é a pressão hidrostática que pode surgir devido ao excesso de cola entre os dentes, causando um enfraquecimento da emenda. Para o autor os adesivos podem ser aplicados de diversas maneiras, sendo que as principais são:

- *manual, usando um equipamento de dente perfilado*: este método geralmente gasta muito adesivo, sendo bastante dispendioso. É considerado seguro, todavia cada emenda deve ser inspecionada pelo aplicador de cola, o que gera uma redução na velocidade de produção. Um exemplo deste tipo de aplicação pôde ser observado na ESMARA¹³, onde a aplicação do adesivo é realizada por elemento perfilado de madeira;
- *roletes ou escovas giratórias*: este método garante um eficiente desempenho na aplicação do adesivo, mas para isto é necessário que os espalhadores (escovas ou roletes) sejam mantidos limpos para garantirem seu bom funcionamento. A inspeção deve ser regular, evitando que os resíduos provenientes da serragem se acumulem na cola, produzindo emendas deficientes. Isto torna-se mais importante quando o corte e colagem das emendas dentadas são realizadas em uma unidade incorporada;
- *pulverização da mistura adesiva*: este método é muito utilizado na Escandinávia. Os componentes de pulverização são usualmente dois bocais de cola e um de endurecedor, Figura 15. O endurecedor deve estar na forma líquida, o que pode exigir algumas precauções especiais para garantir que a concentração de formaldeído no ar fique em nível aceitável durante a aplicação. Com esta técnica as colas rápidas podem ser usadas, o tempo de armazenamento não é grande problema e a limpeza do equipamento é muito simples. O adesivo e também o endurecedor podem ser previamente aquecidos, reduzindo a viscosidade e permitindo a utilização de colas com alto teor de sólidos.

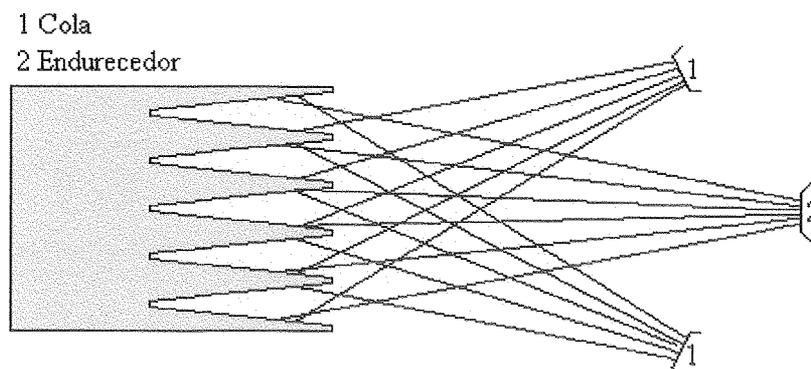


FIGURA 15 - Esquema da pulverização da mistura adesiva.

¹³ Estrutura de Madeira Ltda., Via-Mão - RS. Visita Técnica realizada em agosto de 1995.

2.1.6 *A pressão de colagem.*

A força ou pressão de colagem tem fundamental importância no desempenho das emendas dentadas. Segundo a bibliografia, duas são as principais finalidades da pressão de colagem. A primeira, é promover o contato imediato entre as superfícies de união correspondentes, de maneira que o adesivo penetre adequadamente na madeira formando um filme fino e contínuo. A segunda, é obter um ganho imediato da resistência, permitindo que as lâminas sejam removidas com razoável segurança para o local de secagem, a não ser que sejam secas sob pressão ou outro processo que permita um acréscimo imediato de resistência. A seguir são apresentados alguns fatores relacionados à pressão de colagem que podem ter influência significativa na resistência das emendas.

2.1.6.1 *O alinhamento das tábuas.*

Quando as tábuas a serem emendadas não são devidamente posicionadas, poderá ocorrer a produção de emendas dentadas mal ajustadas com marcante redução da seção transversal efetiva do material e, conseqüentemente, emendas menos resistentes, LOUW (1964) e RANKES (1980). Isto sempre que possível deve ser evitado, mesmo que o processo de produção tolere um determinado grau de desajuste. Para RANKES, um bom alinhamento pode ser obtido colocando-se em prática a operação de corte, a aplicação do adesivo e a prensagem em um mesmo estágio (procedimento recomendado para dentes curtos com a desvantagem de reduzir a velocidade de produção). Antes da prensagem, a fixação de ambas as tábuas com a mesma pressão vertical (P_v) e de borda (P_b), como mostra a Figura 16, pode ser outra alternativa.

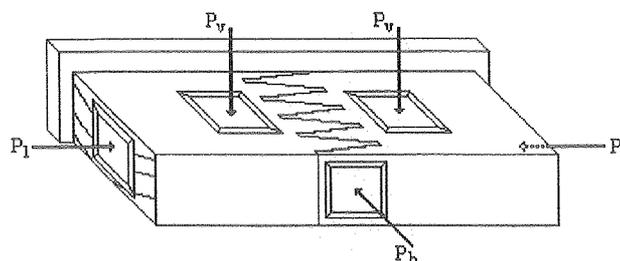


FIGURA 16 - Método proposto de aplicação de pressão (P) nas emendas dentadas.

Uma terceira solução é forçar levemente a união das peças, admitindo que as mesmas se encaixem adequadamente antes que a pressão final seja aplicada. Este procedimento pode ser considerado como adequado se as tábuas são razoavelmente retas, com poucos defeitos de curvatura e empenamento, além de que os dentes não devem ser curtos.

2.1.6.2 *A intensidade da pressão.*

Como uma regra geral, a mais alta pressão corresponde a mais alta ação de fixação, havendo assim uma tendência de utilização de pressões tão altas quando a madeira possa suportar, sem causar danos às emendas dentadas, MORKVED (1980), RANKES (1980) e STRICKLER (1980). A pressão de colagem deve ser uma função da geometria da emenda, da espécie e do teor de umidade da madeira. Os principais danos causados às emendas dentadas citados na literatura são apresentados a seguir:

a) *Fendilhamento na base dos dentes:* durante a prensagem de um material razoavelmente seco, à temperatura ambiente, isto se torna um fator limitante. Pode ser demonstrado que quanto maior o comprimento do dente menor será a pressão de colagem, evitando assim o fendilhamento na base dos dentes, MORKVED (1980) e RANKES (1980). Esta situação é refletida na DIN 68140 que recomenda uma pressão de colagem da ordem de 1,20 kN/cm² e 0,20kN/cm² para os dentes de 10mm e 60mm, respectivamente, não sendo em nenhum caso inferior a 0,10kN/cm².

Estas pressões são recomendadas para as coníferas. Para as dicotiledôneas a DIN recomenda um acréscimo de 30% nestes valores. O CEN (1995) indica que para a maior parte das *softwoods*, uma pressão da ordem de 0,20kN/cm² a 0,50kN/cm² é suficiente para as emendas com dentes de comprimento superior a 25mm, para os dentes mais curtos uma pressão entre 0,50kN/cm² e 1,00kN/cm² é necessária. A empresa BATTISTELLA¹⁴, por exemplo, aplica para os *Pinus elliottii* e *taeda* uma

¹⁴ BATTISTELLA Ind. e Com. Ltda., Lages - SC. visita técnica realizada em agosto de 1995.

pressão de colagem de $0,80\text{kN/cm}^2$ correspondente a geometria de 20 mm da DIN 68140.

b) *Ruptura à compressão da madeira*: a mais elevada pressão de colagem não deve causar nenhum risco de ruptura à compressão da madeira. O que tem de ser lembrado é que pela utilização de dentes curtos (em torno de 10 mm) a pressão específica fica muito próxima da resistência à compressão paralela às fibras da madeira. Se a madeira a ser emendada apresentar baixa densidade, ou se tiver alto teor de umidade, ou ainda se a região da emenda for aquecida, poderá ocorrer ruptura à compressão, MORKVED (1980). Se houver uma combinação dos fatores acima mencionados o risco de ruptura obviamente será muito maior.

c) *Escoamento da cola*: as pressões quando muito elevadas podem conduzir a um fluxo excessivo de adesivo para fora da superfície de união gerando emendas deficientes, especialmente se o teor de umidade da madeira é elevado e a solução adesiva apresenta baixa viscosidade, RANKES (1980). Segundo o autor, o efeito do calor é mais incerto, por um lado pode causar uma “redução térmica” na viscosidade, por outro lado pode acelerar o processo de secagem através de um aumento na viscosidade. Assim, o acréscimo da temperatura algumas vezes ajudará e algumas vezes prejudicará a eficiência das emendas dentadas, sendo necessário em certos casos reduzir a temperatura. Os adesivos devem estar sob medida, evitando o escoamento ou a penetração excessiva que prejudicam a qualidade da emenda.

2.1.6.3 *O período de prensagem.*

Pouco se comenta na literatura a respeito da influência do período de prensagem na resistência das emendas dentadas. O que fica aparente é que geralmente estes períodos limitam-se a intervalos de tempo muito curtos. O CEN (1995) indica que o período de prensagem das emendas dentadas não deve ser inferior a 2 segundos.

2.1.6.4 *Limites para as fissuras.*

Usualmente, as pressões de colagem recomendadas por norma são ajustadas para minimizar os riscos de fendilhamento nos dentes ou a ruptura à compressão da madeira. Para RANKES (1980) estas pressões geralmente não causam danos às emendas dentadas. Contudo, o CEN (1995) indica que se ocorrer o surgimento de fissuras devido à pressão de colagem, estas não devem exceder 0,50mm de largura em qualquer ponto da emenda e nem penetrar de uma face a outra. O comprimento total das fissuras em qualquer largura de face de 30mm não deve exceder 10mm. As fissuras que ocorrerem em estágio posterior como uma consequência de secagem futura devem estar dentro dos limites admissíveis para as classes de madeira.

2.1.7 *A secagem da linha de cola.*

Em muitos casos, as lâminas com emendas dentadas são simplesmente empilhadas para secar à temperatura ambiente, após a aplicação do adesivo e a pressão de colagem. Isto naturalmente envolve o manuseio de lâminas com emendas não secas, o que gera um risco de perturbação da linha de cola e desenvolvimento de emendas mais vulneráveis. Para este tipo de secagem é importante que a emenda adquira alguma resistência sem a cura completa do adesivo, LOUW (1964), CARROLL (1980) e RANKES (1980). A secagem das emendas dentadas à temperatura ambiente exige períodos de tempo muito longos até o processamento subsequente, reduzindo significativamente a velocidade de produção da MLC. Um processo de produção mais rápido e seguro é obtido pelo fornecimento de calor à região da emenda com eventual secagem do adesivo. Para isto vários métodos podem ser usados:

2.1.7.1 *Chapas quentes (pressão a quente).*

Este método é usado principalmente para secar a cola dos dentes mais externos gerando um razoável ganho imediato de resistência, sendo que a secagem do restante da emenda é realizada à temperatura ambiente, LOUW (1964) e RANKES (1980). Para as emendas que apresentam um bom encaixe, este método se aplica

razoavelmente, mas para as emendas com encaixe deficiente, haverá o risco de separação de alguns biseis internos quando a pressão lateral for liberada, reduzindo a resistência da emenda. Em adição, os períodos de fixação são mais longos que a prensagem a frio, porém é mais seguro. Este método dificilmente é usado em práticas que exigem maiores velocidades de produção exceto em combinação com outros métodos de aquecimento.

2.1.7.2 Aquecimento na etapa de pressão usando radiofrequência.

As tábuas são prensadas com as emendas situadas entre dois eletrodos de radiofrequência, RANKES (1980). O aquecimento é muito rápido e a cola pode ser completamente seca em 8 a 10 segundos, mesmo se a madeira apresentar um alto teor de umidade. O método gera emendas eficientes e é completamente seguro, mas torna-se um pouco vagaroso quando o fluxo de material é interrompido durante a prensagem. Este processo apresenta duas dificuldades inerentes:

- o correto posicionamento das emendas entre os eletrodos pode ser problemático, especialmente se as tábuas apresentarem grandes dimensões;
- a cola derramada pode causar contaminação e tende a se acumular nos eletrodos, levando ao risco de curto circuito.

2.1.7.3 Túnel de radiofrequência.

As emendas são conduzidas sob pressão entre eletrodos de radiofrequência em um túnel de 12m a 15m de comprimento. A cola é aquecida continuamente e fica praticamente seca quando a emenda emerge do túnel. Dependendo da potência disponível, a velocidade de alimentação pode variar de 40 a 70m/min (40kw a 70kw). Os dentes de preferência não devem ser curtos (superiores a 10mm) e as tábuas devem ser razoavelmente retas para evitar a produção de emendas mal ajustadas. O teor de umidade muito acima de 12% conduzirá a maior parte do calor para o aquecimento da madeira, fazendo com que a temperatura na linha de cola seja baixa.

2.1.7.4 *Pré-aquecimento da madeira usando radiofrequência.*

As extremidades das tábuas são movimentadas transversalmente em um campo de radiofrequência durante 50 a 70 segundos antes do corte e colagem. A temperatura da madeira é conduzida a aproximadamente 60°C a 90°C. O período de secagem para as colas à base de resorcinol nestas temperaturas variam de 12 a 2 minutos, respectivamente, indicando que o processo subsequente pode ser iniciado após 15 minutos (um pouco maior a favor da segurança), RANKES (1980). O método é considerado rápido e seguro, mas segundo RANKES algumas precauções devem ser observadas:

- durante as paradas de produção, a energia do campo de radiofrequência deve ser desligada, e de preferência, automaticamente para evitar superaquecimento. Uma duplicação no período de aquecimento, por exemplo, pode elevar a temperatura da madeira acima de 120°C reduzindo seu teor de umidade de 23% para 7%. Para o autor isto causa uma redução no desempenho de colagem da madeira, aumentando o risco de secagem precoce e fendilhamento na base dos dentes;
- se os períodos de parada de produção são muito longos, 8 a 10 minutos sob condições normais, as tábuas devem ser reaquecidas. Isto reduz o teor de umidade da madeira, mas não para níveis críticos;
- as emendas cobertas com cola devem ser cortadas se a parada de produção for demorada. O período crítico dependerá da reatividade da cola.

2.1.7.5 *Pré-aquecimento da madeira com radiação infravermelha.*

Segundo RANKES (1980), os experimentos envolvendo a radiação infravermelha indicaram que este é um método promissor para o pré-aquecimento da madeira. Como acontece com pré-aquecimento usando radiofrequência, algumas precauções devem ser tomadas para que a madeira não venha a ser superaquecida. Quanto maior a radiação maior o risco de redução da eficiência de colagem da superfície.

2.1.7.6 Pré-aquecimento da madeira usando circulação de ar quente e seco.

Este método é usado para a produção de emendas dentadas em madeira seca e madeira úmida, e foi desenvolvido pelo Dr. CHOW¹⁵ no Western Forest Products Laboratory (WFPL), Canadá. O processo é simplesmente baseado na exposição dos dentes a um fluxo de ar quente e seco. Após um período curto de secagem, as emendas adquirem um teor de umidade e temperatura adequados para as reações de secagem da cola, principalmente com os adesivos à base fenol resorcinol formaldeído CARROL (1980) e TROUGHTON & CHOW (1980). Ao mesmo tempo, o excesso de umidade da madeira age como um dissipador de calor dos dentes durante a secagem. A cola é então espalhada e a prensagem da emenda ocorre dentro de um curto intervalo de tempo.

Um importante requisito desta técnica é sua capacidade de conduzir o material até o processo de secagem sem causar dano mecânico aos dentes usinados, TROUGHTON & CHOW (1980). Para o material seco artificialmente, um intervalo programado da relação tempo/temperatura no forno (exposição ao ar quente e seco) pode ser 10 minutos a uma temperatura de 150°C, enquanto que para a madeira úmida 15 minutos a 150°C pode ser suficiente; porém recomenda-se que esta temperatura não ultrapasse os 170°C.

2.1.7.2 Pré-aquecimento da madeira usando vapor superaquecido.

Este método foi bastante utilizado na Noruega, apresentando excelentes resultados. Contudo, aumenta consideravelmente o risco de ruptura a compressão da madeira, e não se encontra mais em utilização, RANKES (1980).

¹⁵ CHOW, S. *Method of joining Bodies of Green Lumber by Finger Joints*. U.S Patent 3.985.169, 1976.

2.2 Controle de qualidade.

Como visto anteriormente, as emendas dentadas representam uma descontinuidade na estrutura da madeira, sendo assim regiões potencialmente fracas. Estas emendas entram nos elementos estruturais em zonas onde é de vital importância que o material apresente uma qualidade conhecida, uniforme e confiável. Isto sugere que estas emendas sejam de alta qualidade, principalmente nas peças que são altamente solicitadas à tração, LOUW (1966), STRICKLER & PELLERIN (1971) e EBY (1980).

A emenda dentada é, sem dúvida, um produto de engenharia e como tal deve estar de acordo com as especificações normativas correspondentes. O caminho correto para a fabricação de um produto de alta eficiência é seguir alguma norma de prática de produção. Porém, o único meio de garantir que estas normas sejam respeitadas é pela adoção de um sistema de controle de qualidade adequado. Como são muitas as variáveis que afetam a qualidade dos produtos de madeira colada, não é suficiente para qualquer fabricante confiar na boa reputação do adesivo que usa. Um controle de qualidade regular é fundamental para detectar os pequenos desvios da condição de produção que prejudicam a qualidade de uma ligação adesiva.

2.2.1 A escolha do teste adequado.

Os adesivos são normalmente avaliados em laboratórios por meio de ensaio de corpos-de-prova de cisalhamento ou de tração normal, mas somente as propriedades intrínsecas da ligação adesiva são determinadas desta maneira, LOUW (1966). Para se controlar a qualidade das emendas dentadas, devem ser testadas as linhas de cola de um número representativo do material com emenda tirado da produção diária, salvo no caso de utilização de prova de carga. Os principais requisitos destes testes são: a determinação das propriedades dos adesivos e a simplicidade e rapidez dos testes para permitir que as emendas sejam freqüentemente avaliadas durante a produção. A determinação da resistência absoluta é apenas de importância secundária.

2.2.2 Tipos de testes realizados em emendas dentadas.

Dois são os métodos básicos de testes realizados para avaliar a qualidade das emendas dentadas. O primeiro é o ensaio de uma amostragem tirada aleatoriamente do processo de produção. O segundo é o teste não destrutivo ou prova de carga da madeira emendada, que ocorre continuamente durante o processo de produção. Em ambos os casos estes testes podem ser de tração ou flexão.

2.2.2.1 O método da amostragem.

O método consiste no ensaio geralmente destrutivo de corpos-de-prova de tração ou flexão. Estes corpos-de-prova são obtidos a partir de peças de madeira emendada tiradas aleatoriamente do processo de produção, LOUW (1966). Quanto a dimensão o estudo da literatura indica, que para as amostras de tração esta variação vai desde as dimensões normais dos corpos-de-prova para a caracterização da madeira maciça até aquelas com seção transversal total da madeira emendada. Para os corpos-de-prova de flexão as indicações são que, sempre que possível, deve-se usar amostras com seção total da madeira emendada.

O critério para o ensaio das emendas dentadas é uma carga mínima de ruptura que estas terão de atingir mesmo que o rompimento ocorra na própria madeira. As cargas de ruptura mais baixas que o valor mínimo requerido, quando a ruptura ocorrer na madeira, indicam que os ensaios não podem ser considerados como testes da ligação adesiva. Acima deste valor os resultados serão avaliados na porcentagem de ruptura na madeira. Assim sendo, uma carga mínima de ruptura pode ser determinada e para valores acima destes a resistência do adesivo pode ser considerada como adequada para a madeira usada, independente do tipo de ruptura.

2.2.2.2 O método da prova de carga.

A prova de prova de carga é um método não destrutivo de estimar a capacidade de resistência das lâminas de MLC, fazendo com que todas as emendas dentadas

encontrem os requisitos mínimos de resistência, sendo assim um notável mecanismo de controle de qualidade. Pelo que se tem conhecimento uma das primeiras pesquisas sobre a prova de carga foi realizada por STRICKLER (1970). Este estudo trata de um sistema de prova de carga à flexão e a principal conclusão deste estudo é que as peças solicitadas à tração devem ser ensaiadas à tração.

STRICKLER & PELLERIN (1971a) e STRICKLER & PELLERIN (1971b), realizaram estudos com o objetivo de verificar se a prova de carga à tração poderia indicar uma maior confiabilidade das emendas dentadas e assim permitir com o mínimo de risco, maiores solicitações de trabalho. Os resultados mostraram que a prova de carga à tração constitui um método aperfeiçoado de controle de qualidade e oferece um excelente potencial para o maior desempenho e confiabilidade das emendas dentadas, permitindo inclusive um acréscimo das tensões admissíveis das vigas de MLC.

O espaçamento entre as emendas de lâminas adjacentes representa um custo adicional de produção. Este fator associado ao desejo de melhorar a credibilidade do produto foram responsáveis para que a Companhia Weyerhaeuser iniciasse, em 1973, um estudo sobre a prova de carga das emendas dentadas, EBY (1980). A finalidade deste estudo foi, selecionar um sistema de prova de carga que testasse as emendas dentadas a um nível de tensão significativo, rejeitando as emendas que não atingissem os níveis mínimos de resistência. Tal procedimento eliminaria as emendas de resistência inadequada, estabelecendo uma maior confiança no produto, podendo assim reduzir as limitações quanto ao espaçamento das emendas.

A Weyerhaeuser desenvolveu um sistema de prova de carga à flexão, que constitui-se na aplicação de uma carga pontual, em um sistema de laminação contínua, na saída de um túnel de radiofrequência. Para a leitura do carregamento aplicado foi usada uma célula de carga, que variou para cada seção de lâmina, com o objetivo de manter um nível de tensão próximo de $2,80\text{kN/cm}^2$. Dois requisitos foram estabelecidos para a aceitação do sistema:

- a tensão aplicada na emenda durante a prova de carga deve ser suficientemente alta para assegurar que a resistência da emenda esteja em equilíbrio com a tensão admissível de cálculo da classe de madeira emendada;
- as emendas não devem ser danificadas pela prova de carga.

Um extensivo número de ensaios foi realizado para assegurar a funcionalidade do sistema para produtos de engenharia. Em 1977, transformou-se no primeiro sistema de prova de carga aprovado e utilizado pela indústria de MLC dos Estados Unidos, EBY (1980). Atualmente, o sistema de prova de carga é considerado como uma das ferramentas mais importantes no controle de qualidade das emendas dentadas para MLC.

2.2.3 Testes de flexão versus testes de tração.

Se os testes de flexão e de tração forem comparados do ponto de vista de simplicidade, é óbvio que os testes de flexão serão considerados os mais adequados para o propósito de controle de qualidade das emendas dentadas, LOUW (1966). Os dispositivos simples e baratos necessários para tais testes fazem com que eles sejam particularmente atrativos. Outras considerações provam que este não é completamente adequado para a determinação das propriedades das ligações adesivas. Nos ensaios de flexão as tensões variam de máximas de tração na parte inferior do corpo-de-prova a máximas de compressão na parte superior do mesmo. Em uma emenda dentada, esta distribuição de tensão submeterá a linha de cola a várias combinações de tração, compressão e cisalhamento, que podem variar consideravelmente com as mudanças na propriedade da madeira.

Em um ensaio de tração todos os dentes são igualmente solicitados indicando que a linha de cola é mais uniformemente tensionada e menos influenciada pelas variações nas propriedades básicas da madeira. Para a avaliação das emendas dentadas um ensaio de tração é muito mais crítico que o de flexão, e portanto é mais adequado,

LOUW (1966). Para STRICKLER et al (1970) e STRICKLER & PELLERIN (1971a), as peças solicitadas à tração devem ser ensaiadas à tração.

2.3 Influência das emendas dentadas na resistência da MLC.

É consenso que as emendas dentadas têm fundamental influência no desempenho dos elementos estruturais de MLC, principalmente no que se diz respeito a sua resistência à ruptura. O módulo de elasticidade da MLC praticamente não se altera com a presença das emendas, sendo este uma função das classes de resistência das tábuas usadas na produção das lâminas. As rupturas dos elementos de MLC freqüentemente iniciam nas emendas dentadas da zona de tração, BURK & BENDER (1989). Estas rupturas se tornam críticas à medida que o espaçamento entre as emendas de lâminas adjacentes são reduzidos.

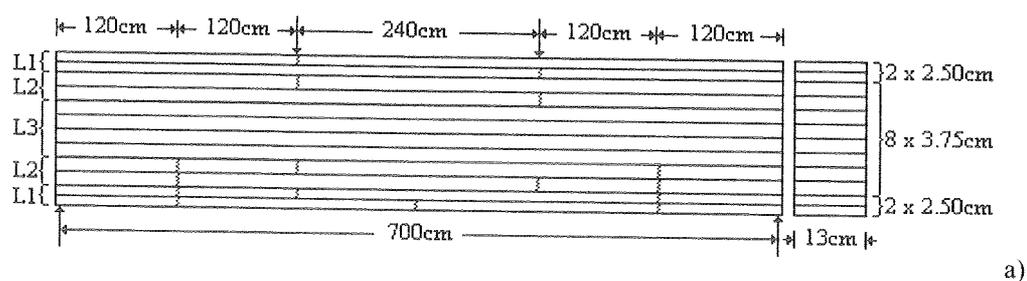
Tábuas de comprimento muito curto podem ser emendadas para obter os comprimentos de lâmina desejados. Segundo BURDZIK (1994), este comprimento pode ser tão curto quanto 1,20 m, não sendo comum usar tábuas de grandes comprimentos. Assim as vigas de MLC têm um grande número de emendas dentadas nas lâminas da parte inferior (região tracionada). A ruptura destas vigas geralmente ocorre em uma emenda dentada, sendo de natureza frágil.

A segurança da emenda dentada é muito difícil de ser obtida mesmo em um processo industrial, SANDOZ (1994). Quando a qualidade da madeira das vigas de MLC aumenta, a emenda dentada permanece sendo o ponto de fraqueza, contribuindo para um comportamento estocástico das vigas. Além disso, a emenda dentada tem um forte efeito na visco elasticidade e na fluência da viga sob carga de longo período de duração. De fato, o módulo de elasticidade da MLC é essencialmente função da classificação das tábuas enquanto que o módulo de resistência à flexão é muito mais afetado pelo desempenho das emendas dentadas, SANDOZ et al (1994). Um baixo

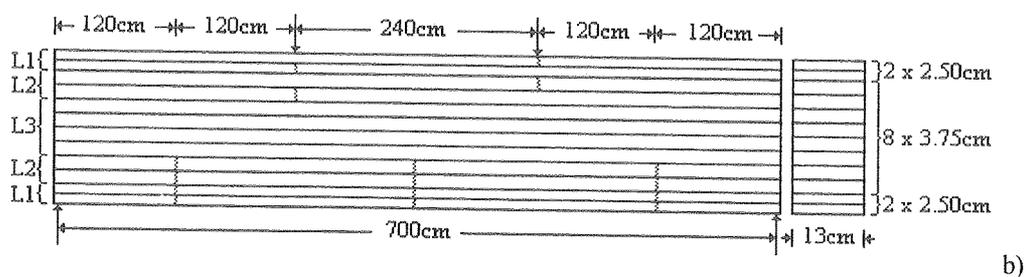
módulo de resistência pode ser associado com um alto módulo de elasticidade das vigas quando a emenda dentada é fraca.

2.3.1 *Espaçamento e posicionamento.*

Como parte da avaliação de um sistema de prova de carga a tração, STRICKLER & PELLERIN (1971), apresentam os resultados de ensaios em 18 vigas de MLC. Na metade das vigas, as emendas dentadas em lâminas adjacentes foram escalonadas e na outra metade estas foram sobrepostas nas quatro lâminas mais externas na zona de tração, conforme mostrado na Figura 17.



Emendas dentadas alternadas na zona crítica de tração



Emendas dentadas sobrepostas na zona crítica de tração

FIGURA 17 - Dois tipos de arranjos de emendas dentadas na zona crítica de tração de vigas de MLC.

O módulo de ruptura de todas as vigas excederam os valores teoricamente garantidos pela prova de carga, comprovando a viabilidade deste sistema. Porém as vigas com as emendas alternadas foram significativamente mais fortes que aquelas com emendas sobrepostas na zona crítica de tração. Além disso, as tensões admissíveis todas as

vigas com emendas dentadas alternadas poderiam ser substancialmente aumentadas, melhorando-se a distribuição das emendas dentadas nas lâminas tracionadas, principalmente.

Com o intuito de avaliar a eficiência das emendas dentadas quando situadas nas regiões de altas solicitações, MOODY & BOHANNAN (1970), ensaiaram cinco grandes vigas de MLC com as emendas dentadas localizadas no ponto médio do comprimento das lâminas tracionadas. A análise dos resultados mostrou que as vigas com emendas na região central das lâminas tracionadas foram tão resistentes e rígidas quanto as vigas sem emendas nesta região. Desta forma os autores concluíram que boas resistências podem ser obtidas com um bom controle de qualidade.

A influência do espaçamento das emendas dentadas nas lâminas adjacentes, foi outro assunto que preocupou bastante os pesquisadores. Diversas foram as pesquisas realizadas sobre o assunto até que em 1973, foram publicadas as especificações para a padronização de produtos, PS 56-73, EBY (1980). As especificações relativas ao espaçamento das emendas dentadas indicam que nas peças solicitadas à tração ou em zonas críticas de tração (em peças fletida), o espaçamento das emendas de lâminas adjacentes deve ser no mínimo de 15,24 cm (6"). O projeto da nova norma brasileira PNBR-7190 (1996), recomenda que em lâminas adjacentes de espessura t , as emendas dentadas devem ser afastadas por uma distância pelo menos igual a $25t$ ou à altura da viga.

Do ponto de vista prático estas especificações de espaçamento das emendas dentadas são muito difíceis de serem obtidas, devido às variações e limitações dos comprimentos das tábuas utilizadas na produção das lâminas. Assim sendo, a única maneira de reduzir os efeitos adversos da falta de controle do espaçamento das emendas dentadas, é garantir a qualidade das mesmas.

2.4 Considerações finais sobre a revisão bibliográfica.

Da revisão da literatura conclui-se que:

- o teor de umidade da madeira, no momento da colagem das emendas dentadas, deve estar entre 8% a 18% e a diferença de umidade entre as duas partes da emenda não deve exceder 5%, isto salvo as especificações do fabricante do adesivo;
- a geometria de 20mm de comprimento correspondente a DIN 68140 (1971) é considerada adequada, por se tratar de um perfil de emenda consagrado e amplamente utilizado na tecnologia da MLC;
- as pressões de colagem recomendadas são $0,80\text{kN/cm}^2$ e $1,00\text{kN/cm}^2$ para as coníferas e dicotiledôneas respectivamente;
- o ensaio de tração é muito mais crítico e a linha de cola é mais uniformemente tensionada, menos influenciada pelas variações nas propriedades da madeira, além de apresentar menores resultados de resistência, sendo portanto mais adequado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS.

Os materiais usados na fase experimental deste estudo foram cuidadosamente examinados antes da sua aplicação e os equipamentos apresentaram precisão e controle adequados, de maneira que fosse evitado qualquer influência de defeitos do material ou má utilização dos equipamentos nos resultados obtidos.

As espécies de madeira e o adesivo foram definidos devido a significativa aplicabilidade dos mesmos na tecnologia da madeira colada, como também pelo fato de serem utilizados pelo parque produtor de MLC no país. A metodologia de fabricação dos corpos-de-prova, considerando todos os cuidados necessários, foi estabelecida com base em indicações encontradas na literatura e trabalhos anteriores realizados no LaMEM.

3.1 A madeira.

A madeira utilizada para a confecção dos corpos-de-prova foi retirada de duas vigas de 6cm x 25cm de seção transversal e 350cm de comprimento, sendo uma de *Pinus elliottii* e uma de *Eucalipto grandis*. O volume de material das vigas foi suficiente para produção de todos os grupos de corpos-de-prova necessários ao desenvolvimento do experimento, obedecendo os requisitos mínimos de amostragem como recomendado pelo PNBR 7190 (1996). A madeira seca ao ar apresentava teor de umidade próximo a 12% tanto para o pinus quanto para o eucalipto. Na Tabela 1 apresenta-se a classificação das espécies de madeira, usadas nos ensaios, de acordo com que prescreve o referido projeto de norma.

TABELA 5 - Características das espécies de madeira usadas nos ensaios.

Classes de resistência					
Espécie	Classe	$f_{c0,k}$ (kN/cm ²)	$f_{v,k}$ (kN/cm ²)	$\rho_{bas,m}$ (g/cm ³)	ρ_{apa} (g/cm ³)
Pinus elliottii	C 30	3,30	0,79	0,40	0,50
Eucalipto grandis	C 30	3,64	0,66	0,50	0,60

3.2 O adesivo.

O adesivo escolhido para a confecção dos corpos-de-prova foi o CASCOPHEN RS-216-M, que é uma resina sintética à base de resorcinol, em solução de álcool ou água, especialmente recomendada para colagens resistentes à água fria ou fervente, muitos solventes orgânicos, a fungos e mofo, ao calor seco ou úmido, etc. Este adesivo é fabricado pela Alba Química Indústria e Comércio Ltda., sendo totalmente a prova d'água indicado para colagem de madeira pelo processo de cura à frio. Dentre suas aplicações destacam-se barcos, escadas, caixas d'água, hélices, vigas de MLC entre outros, onde a colagem ficará exposta temporária ou definitivamente à ação do intempérie. A seguir são apresentadas algumas recomendações importantes fornecidas pelo fabricante.

3.2.1 Especificações da resina.

A CASCOPHEN RS-216-M é sempre usada em conjunto com o preparado endurecedor em pó FM-60-M na seguinte proporção por peso:

100 partes.....CASCOPHEN RS-216-M

20 partes.....Preparado Endurecedor FM-60-M

A preparação é feita misturando-se o preparado endurecedor na resina agitando-se aproximadamente por 5 minutos, até que sua dispersão fique perfeitamente

homogênea. A cola assim preparada a uma temperatura de 20°C terá uma vida útil de aproximadamente 4 horas e a 32°C a vida útil será de apenas 1 hora. A adição de 5% a 10% de álcool só é recomendável quando a cola estiver grossa por evaporação do solvente ou quando for necessário melhorar o nível de penetração da mesma para algumas madeiras mais duras.

3.2.2 *Espalhamento da cola.*

A aplicação da cola poderá ser feita com pincel ou escovas nos serviços de baixa produção. Para grandes volumes de produção é recomendado o uso de passadeiras de cola, com rolos revestidos de borracha. De acordo com as recomendações do fabricante, em geral a aplicação da cola em apenas uma face é suficiente, porém, nos materiais mais densos é indicada a aplicação nas duas faces a serem coladas. É conveniente proporcionar um tempo de penetração antes da junção das partes.

3.2.3 *Tempo de montagem.*

A CASCOPHEN RS-216-M requer um tempo mínimo de montagem, isto é, o tempo compreendido entre o espalhamento da cola e a aplicação de pressão afim de permitir a penetração adequada da mesma, não devendo exceder o tempo máximo de montagem recomendado pelo fabricante. Este tempo máximo de montagem, como também um tempo mínimo de prensagem são mostrados nos quadros a seguir:

Tempo máximo de montagem em minutos				
Temperatura ambiente.....	20°C	27°C	32°C	38°C
Montagem aberta (superfícies expostas)...	15	10	7	5
Montagem fechada (superfícies juntas).....	60	40	25	15
Total.....	75	50	32	20

Tempo mínimo de prensagem em horas				
Temperatura ambiente.....	20°C	24°C	27°C	32°C
Tempo sob pressão - horas.....	8 à 10	6 à 8	4 à 6	4 à 5

Após a liberação da pressão, as linhas de colagem atingirão o máximo de resistência dentro de 8 a 10 dias, mantidas em repouso a temperatura ambiente.

3.2.4 *Umidade da madeira.*

Para se obter bons resultados de colagem é necessário que o teor de umidade da madeira esteja entre 10% e 16%. A colagem de madeira com maior teor de umidade poderá resultar em uniões fracas e defeituosas.

3.2.5 *Temperatura de trabalho.*

Para a colagem o ideal é uma temperatura de 25°C a 30°C. Na colagem durante temperaturas baixas é exigido um tempo de penetração e montagem maior. As baixas temperaturas elevam a viscosidade da cola, reduzindo sua penetração, resultando numa colagem muito fraca ou defeituosa. Assim tanto a temperatura ambiente, como as temperaturas da madeira e da cola, não devem ser inferiores à 20°C.

3.2.6 *Armazenagem.*

A CASCOPHEN RS-216-M conserva-se quando armazenada em recipientes fechados e à temperatura ambiente de 20°C por um ano ou mais. Se a resina engrossar, a viscosidade apropriada pode ser restituída, adicionando-se água, álcool ou uma mistura de ambos. O preparado endurecedor FM-60-M é estável à temperatura ambiente, entretanto, deve-se protegê-lo de temperaturas elevadas mantendo-se os recipientes bem fechados.

3.3 Dimensões dos corpos-de-prova.

Para determinação das características de resistência da madeira colada, foram usados corpos-de-prova com as dimensões recomendadas pelo Projeto da Nova Norma Brasileira PNBR-7190 (1996). Estas dimensões, válidas também para os corpos-de-prova de madeira maciça, controles, são apresentadas a seguir.

3.3.1 Cisalhamento na Lâmina de cola.

A Figura abaixo mostra as dimensões dos corpos-de-prova usados nos ensaios de cisalhamento na lâmina de cola.

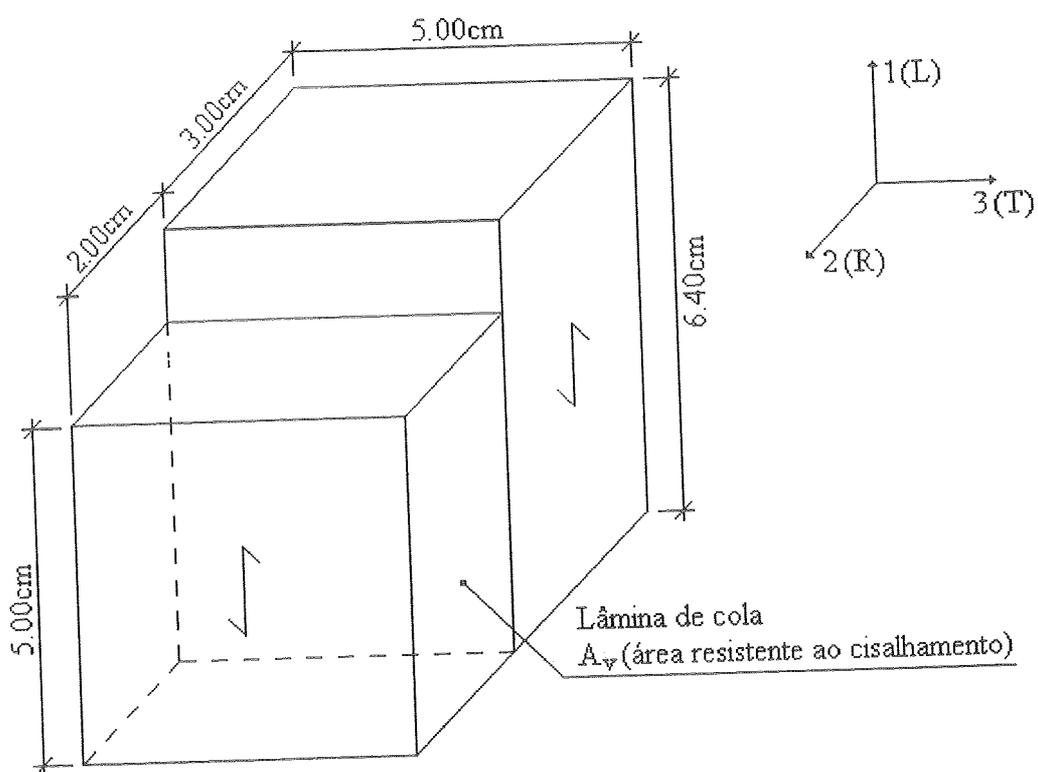


FIGURA 18 - Corpo-de-prova de cisalhamento na linha de cola.

3.3.2 Tração normal à lâmina de cola.

Para a determinação da resistência à tração normal na lâmina de cola foram utilizados os corpos-de-prova com as dimensões apresentadas na Figura 19.

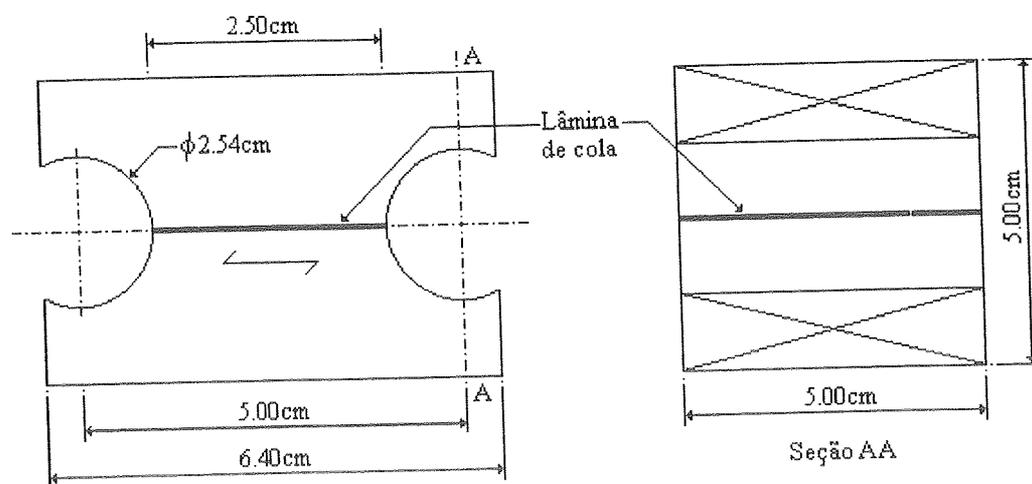


FIGURA 19 - Corpo-de-prova de tração normal à lâmina de cola.

3.3.3 Resistência das emendas dentadas a tração paralela às fibras.

Para determinação da resistência à tração da emenda dentada utilizaram-se corpos-de-prova com as dimensões definidas na Figura 20. Devido a garra da máquina utilizada para os ensaios (DARTEC M1000/RC) apresentar um sistema regulável de pressão, tornou-se possível que o comprimento da região de ancoragem ou fixação dos corpos-de-prova de tração fosse reduzido de 12cm para 5cm, mantendo-se os demais parâmetros de acordo as dimensões recomendadas no Projeto da Nova Norma Brasileira PNBR-7190 (1996).

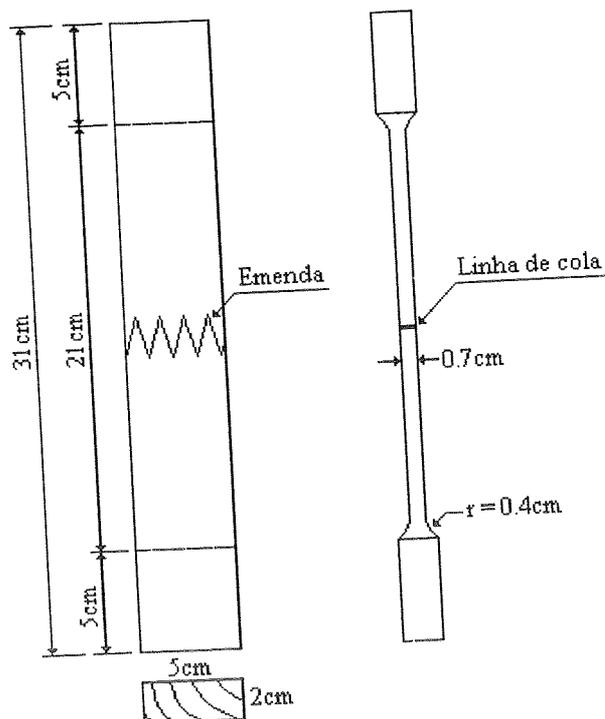


FIGURA 20 - Corpo-de-prova de resistência a tração das emendas dentadas.

3.4 Confeção dos corpos-de-prova.

Neste item apresentam-se os procedimentos para a confecção dos corpos-de-prova, usados na fase experimental deste estudo, envolvendo todos os passos desde o corte das vigas até a usinagem final dos corpos-de-prova.

3.4.1 Extração das peças para a confecção dos corpos-de-prova.

Para extração das peças usadas na confecção dos corpos-de-prova foi necessário que as vigas fossem cortadas em vários trechos, cada um dos quais destinados a um tipo de amostra, como visto na Figura 21. Cada trecho foi então desdobrado de maneira que as peças destinadas a execução dos corpos-de-prova de caracterização da MLC e as destinadas aos corpos-de-prova de madeira maciça ou controles fossem retiradas

aos pares. Na figura 21, as peças da parte superior foram reservadas às amostras de controle e as da parte inferior às amostras de madeira colada. Um trecho de cada viga foi usado para produção de corpos-de-prova de compressão paralela às fibras, visando estabelecer a classe de resistência do material. Devido a baixa incidência de defeitos na peça de *Eucalipto grandis* foi possível utilizar, para a produção de corpos-de-prova de tração paralela, parte da madeira designada a produção dos corpos-de-prova de compressão paralela.

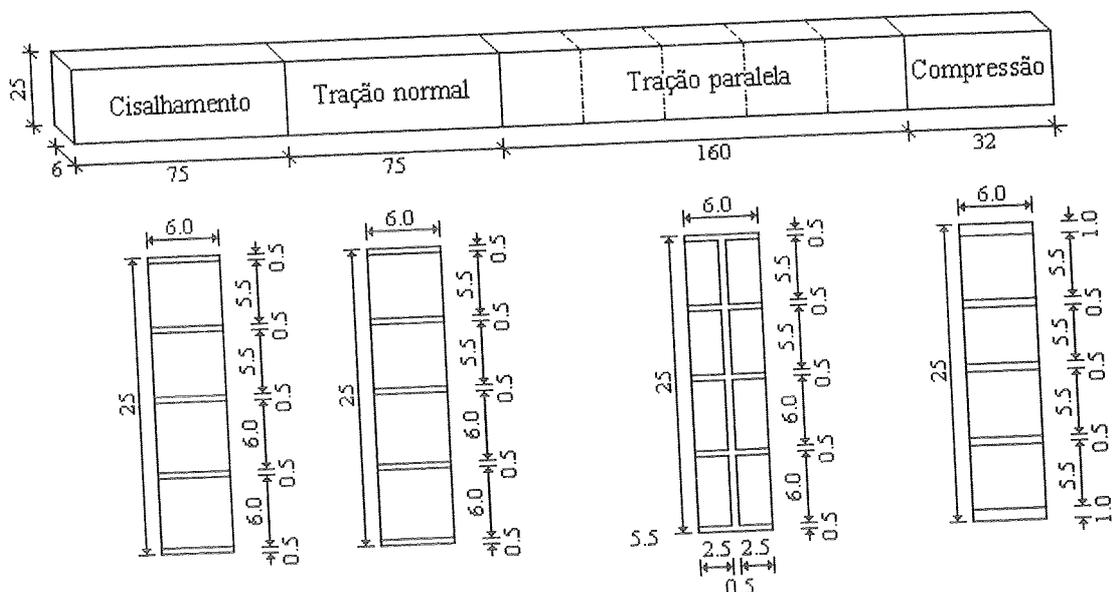


FIGURA 21 - Esquema da disposição das peças retiradas para confecção dos corpos-de-prova.

3.4.2 *Preparação das peças para produção dos corpos-de-prova de madeira colada.*

A preparação das peças para a confecção dos corpos-de-prova colados usadas na parte experimental deste estudo foi baseada em parâmetros encontrados na literatura, em trabalhos anteriores realizados no LaMEM e nas recomendações do fabricante de adesivo. A preparação do adesivo para todas as amostras seguiu as especificações do produtor, não sendo adicionado qualquer tipo de solvente para melhorar a penetração do adesivo.

3.4.2.1 *Corpos-de-prova de cisalhamento na lâmina de cola.*

As peças destinadas a produção dos corpos-de-prova de cisalhamento foram serradas, aplainadas e coladas na seqüência mostrada na Figura 22.

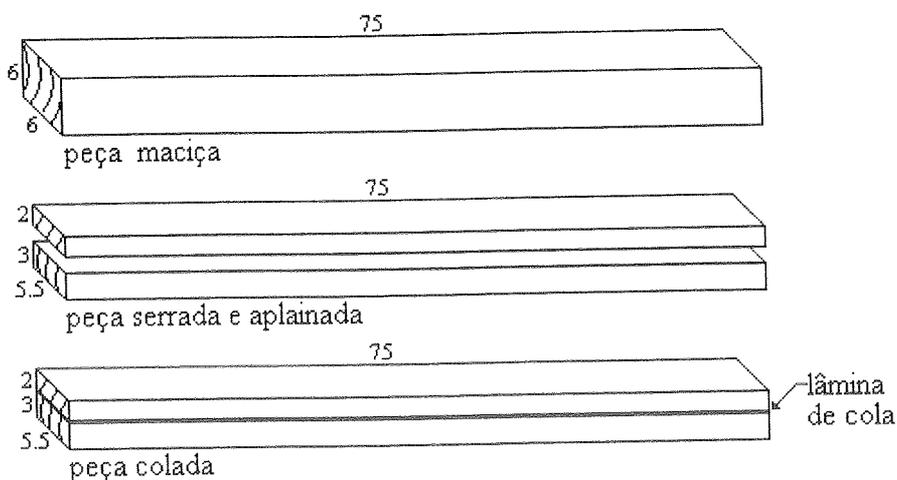


FIGURA 22 - Esquema de montagem das peças para confecção das amostras de cisalhamento na lâmina de cola.

O espalhamento da cola foi feito com pincel e a quantidade de adesivo por unidade de superfície variou de 350g/m^2 a 400g/m^2 . A colagem foi realizada a uma temperatura ambiente de 25°C , sendo adotado um tempo de penetração de 10min. para o eucalipto e 6 min. para o pinus. A pressão de colagem, aplicada por meio do dispositivo mostrado na Figura 23, teve uma intensidade de $6,0\text{kg/cm}^2$ tanto para o pinus quanto para o eucalipto. Todos estes parâmetros foram definidos com base nos relatos, FERREIRA et al (1988), NEIVA et al (1988) e MANTILLA CARRASCO (1984 e 1989).

O período de aplicação de pressão foi em média 10 horas. O tempo requerido após a prensagem para obter a máxima resistência da ligação adesiva foi de 8 dias a uma temperatura de 32°C , de acordo com as recomendações do fabricante.

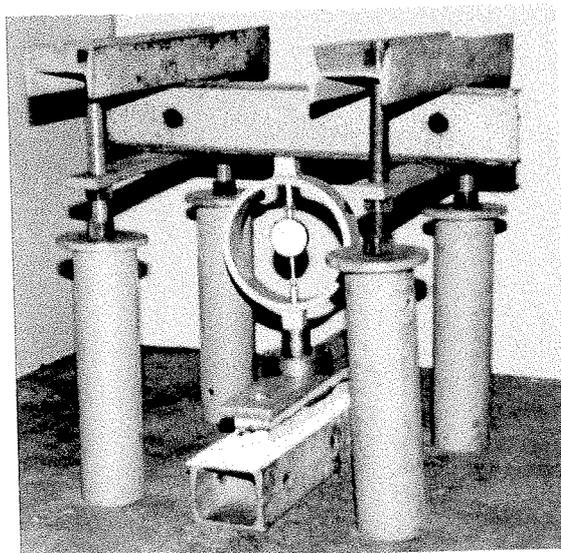


FIGURA 23 - Dispositivo de pressão montado LaMEM.

3.4.2.2 *Corpos-de-prova de tração normal à lâmina de cola.*

O procedimento utilizado na preparação das peças para execução dos corpos-de-prova de tração normal à lâmina de cola, é semelhante ao adotado na preparação das peças para os corpos-de-prova de cisalhamento na lâmina de cola, com exceção das dimensões finais das peças (Figura 24).

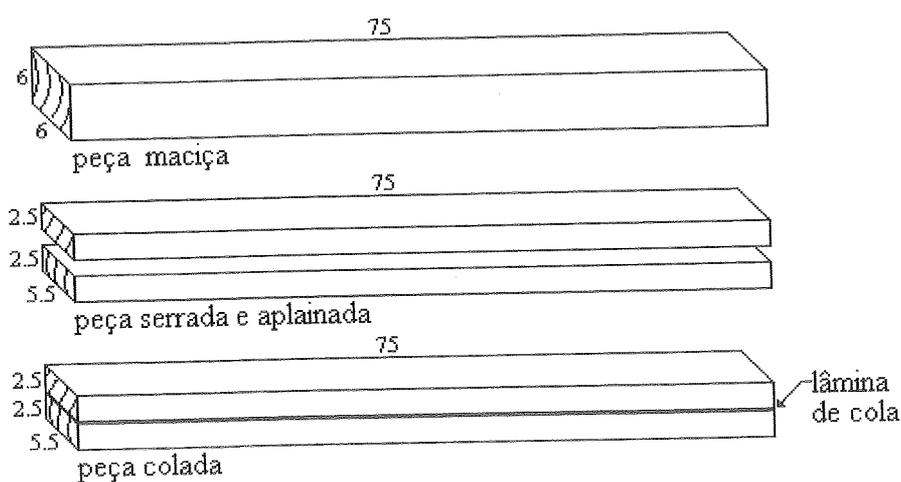


FIGURA 24 - Esquema de montagem das peças para a confecção das amostras de tração normal à lâmina de cola.

3.4.2.3 *Corpos-de-prova de resistência a tração das emendas dentadas.*

A seqüência de produção das peças usadas na confecção dos corpos-de-prova de resistência a tração das emendas dentadas é ilustrado na Figura 25. A justificativa para a adoção desta seqüência de produção consiste no fato de que os defeitos gerados pelo arrancamento excessivo de madeira, durante o corte dos dentes, são mais prejudiciais ao desempenho das emendas dentadas do que a usinagem da madeira colada. Uma outra consideração importante é que este procedimento permite uma maior facilidade no alinhamento da emenda.

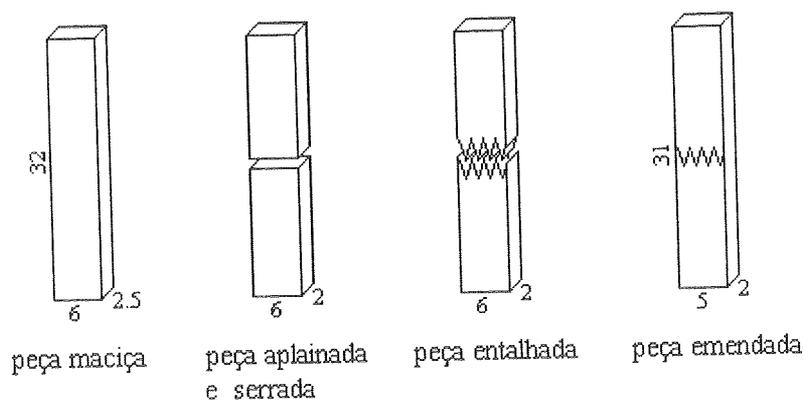


FIGURA 25 - Esquema de montagem das peças para a confecção das amostras de resistência a tração das emendas dentadas.

A geometria da emenda dentada corresponde ao comprimento de 20mm da DIN 68140, sendo que o entalhe foi executado por um cortador tipo asa de peças individuais, especialmente usinadas para a finalidade, Figura 26. O período entre a operação de corte e a colagem da emenda não excedeu 24 horas. A aplicação da cola foi realizada por meio de um elemento perfilado de madeira. A pressão de colagem adotada foi de $0,80\text{kN/cm}^2$ para o pinus e $1,00\text{kN/cm}^2$ para o eucalipto. Esta pressão foi aplicada por uma Máquina Universal AMSLER e o alinhamento, para evitar o cruzamento dos dentes, foi obtido com o auxílio de duas pequenas chapas de aço como mostra a Figura 27.

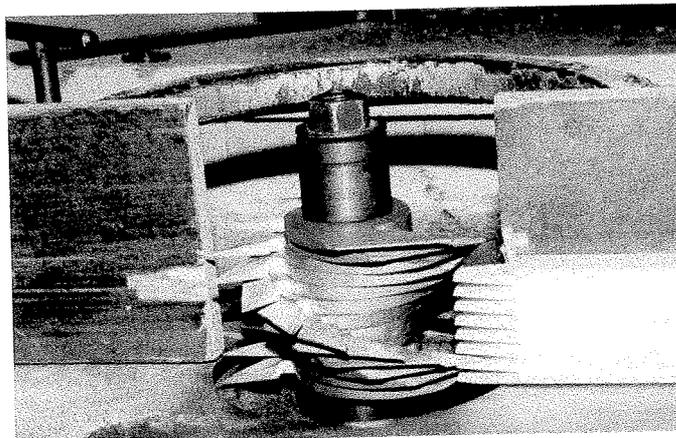


FIGURA 26 - Cortador tipo asa de peças individuais.

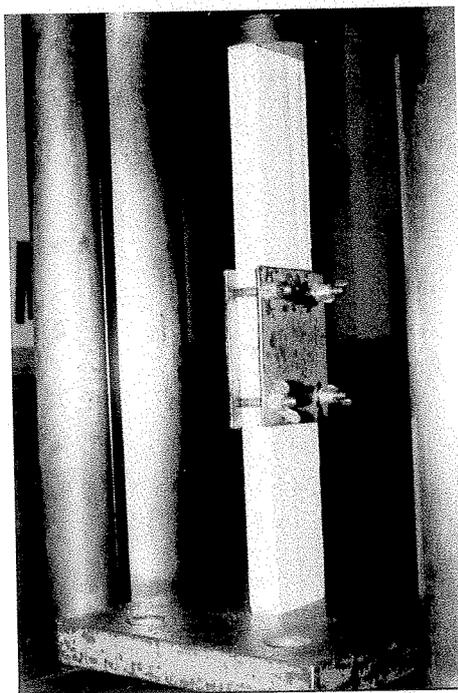


FIGURA 27 - Aplicação de pressão e alinhamento das emendas dentadas.

3.4.3 - *Usinagem final dos corpos-de-prova.*

As peças destinadas a cada tipo de corpo-de-prova foram usinadas nas dimensões mostradas no item 3.4, seguindo todas as recomendações de amostragem prescritas no PNBR 7190 (1996).

3.5 Quantidade de corpos-de-prova.

A amostragem utilizada neste estudo consistiu num total de 194 corpos-de-prova, conforme apresentado na tabela abaixo. Todos os corpos-de-prova utilizados nestes ensaios foram selecionados através de uma classificação visual, sendo eliminados aqueles que continham defeitos aparentes.

TABELA 6 - Quantidade de corpos-de-prova usados nos ensaios.

Tipo de amostra	Caracterização da MLC		Controle (madeira maciça)	
	P. elliotii	E. grandis	P. elliotii	E. grandis
Tração paralela	16	21	16	21
Tração normal	15	15	15	15
cisalhamento	15	15	15	15

3.6 Execução dos ensaios.

Nos ensaios para determinação das características de resistência da madeira colada e da madeira maciça (controles) foram seguidos os critérios estabelecidos no Projeto da Nova Norma Brasileira PNBR-7190 (1996). A seção de ruptura dos corpos-de-prova de cisalhamento e tração normal, assim como as dimensões efetivas dos corpos-de-prova de tração paralela foram obtidas a partir da média de duas medidas da largura e da espessura da seção, do trecho colado dos corpos-de-prova, usando um paquímetro eletrônico com precisão de 0,1%. Em todos os casos o equipamento usado para aplicação e controle de carga foi uma máquina DARTEC M1000/RC com atuador servo hidráulico de capacidade de 10,0kN tanto para ensaios estáticos quanto dinâmicos.

3.6.1 *Ensaio de cisalhamento.*

Os ensaios de cisalhamento foram realizados usando-se o dispositivo mostrado na Figura 28, com velocidade de ensaio de $0,25\text{kN/cm}^2$ por minuto. O carregamento foi conduzido até a ruptura dos corpos-de-prova, registrando-se o valor desta carga e o modo de ruptura para o caso dos corpos-de-prova colados.

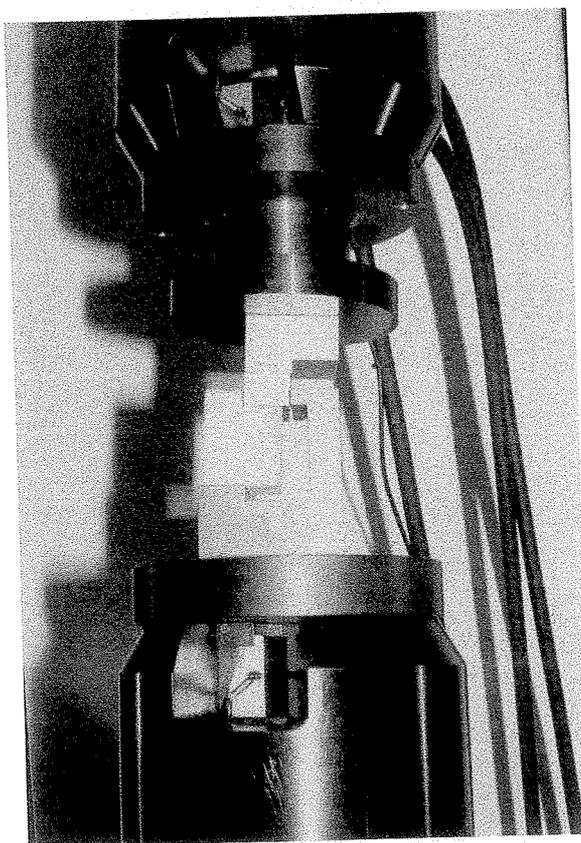


FIGURA 28 - Arranjo dos ensaios de cisalhamento.

3.6.2 *Ensaio de tração normal.*

Os ensaios de tração normal foram realizados de forma semelhante aos ensaios de cisalhamento, usando o dispositivo mostrado na Figura 29.

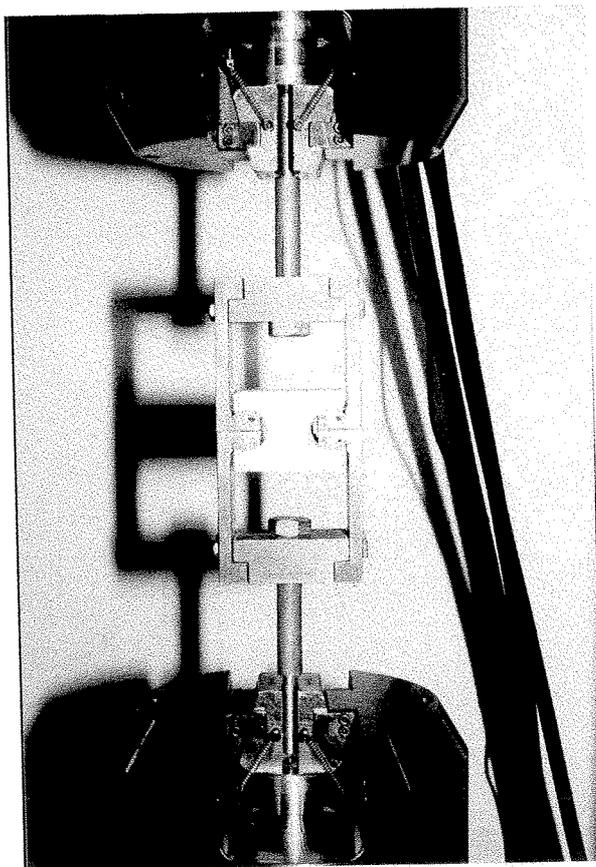


FIGURA 29 - Arranjo dos ensaios de tração normal.

3.6.3 Ensaios de tração paralela.

Os ensaios de tração paralela às fibras foram realizados com uma velocidade de carregamento de $1,00\text{kN/cm}^2$ por minuto. A carga de ruptura dos corpos-de-prova, bem como o modo de ruptura dos corpos-de-prova com emendas dentadas foram devidamente registrados. O mecanismo utilizado para a execução destes ensaios é mostrado na Figura 30.

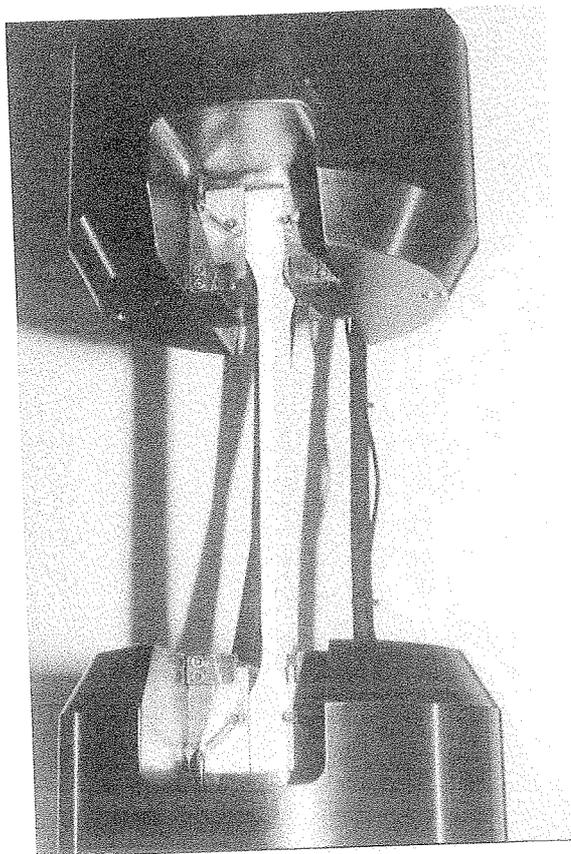


FIGURA 30 - Arranjo dos ensaios de tração paralela.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS.

Os resultados dos ensaios (Anexo A) permitem avaliar os corpos-de-prova de caracterização da MLC quanto a sua eficiência (resistência da ligação adesiva expressa como uma porcentagem da resistência da madeira maciça). Através dos ensaios evidenciou-se um bom desempenho das ligações adesivas independente do tipo de ruptura e da espécie de madeira. Nos ensaios observou-se que as baixas resistências dos corpos-de-prova de caracterização da MLC tiveram maior incidência quando a ruptura ocorreu fora da ligação adesiva, indicando mais uma redução na qualidade da madeira do que propriamente um bom desempenho da ligação adesiva.

4.1 Cisalhamento na lâmina de cola.

Nestes ensaios observou-se uma pequena variação das resistências médias e características dos corpos-de-prova de cisalhamento na lâmina de cola, quando comparadas às resistências médias e características dos correspondentes controles, Tabela 7. Os desvios-padrão também se mostraram satisfatórios quando confrontados com os desvios dos corpos-de-prova de controle, indicando uma ótima eficiência da ligação adesiva tanto para o pinus quanto para o eucalipto. Estes resultados são ilustrados nas Figuras 31 e 32, onde as linhas horizontais e vermelho e verde representam os valores médios de resistência dos respectivos corpos-de-prova.

TABELA 7 - Eficiência dos corpos-de-prova de cisalhamento na linha de cola.

Espécie	$f_{gv,m}$ (kN/cm ²)	$f_{v,m}$ (kN/cm ²)	Efic. (%)	$f_{gv,k}$ (kN/cm ²)	$f_{v,k}$ (kN/cm ²)	Efic. (%)	S_{gv} (kN/cm ²)	S_v (kN/cm ²)
P. elliotii	1,06	1,13	94	0,83	0,79	100	0,16	0,31
E. grandis	0,98	0,92	100	0,69	0,66	100	0,22	0,18

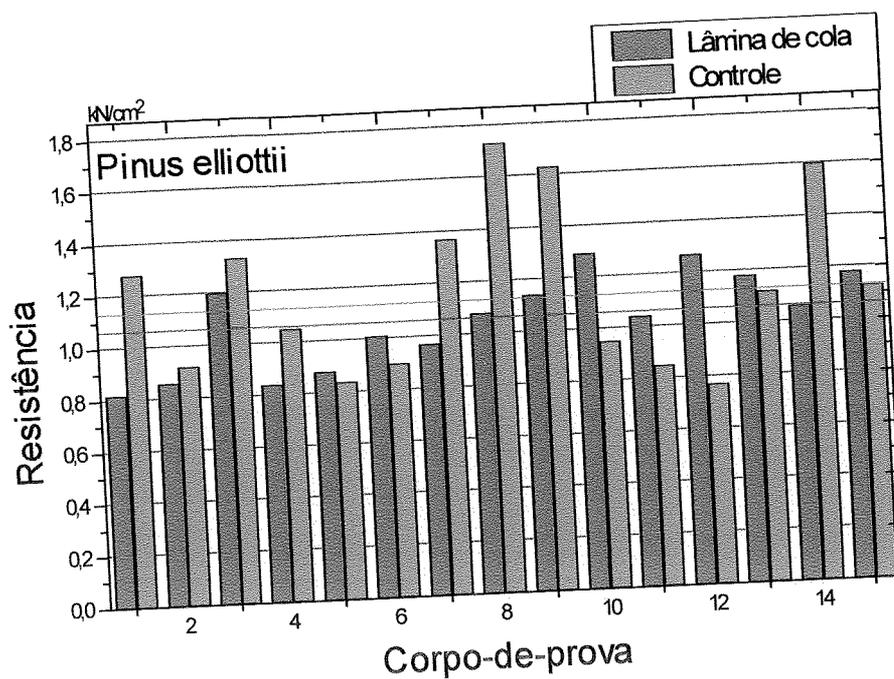


Figura 31 - Pinus elliottii: resistência ao cisalhamento.

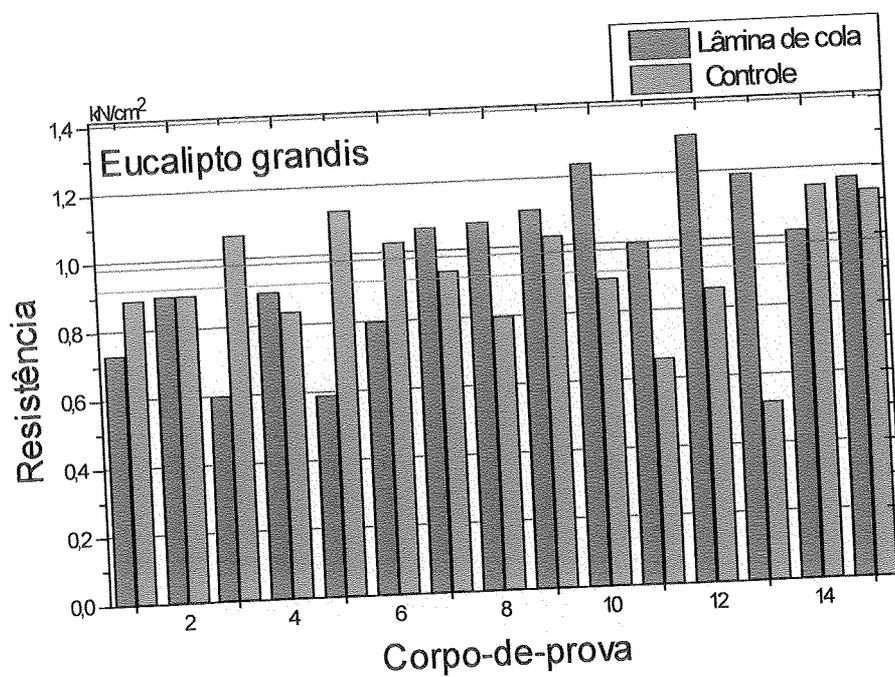


Figura 32 - Eucalipto grandis: resistência ao cisalhamento.

Quanto à ruptura, dois terços do total ocorreu ou na lâmina de cola ou parte na lâmina de cola e parte na madeira, porém apresentando resistência plenamente satisfatória se comparada com a resistência média, Tabela 8.

TABELA 8 - Cisalhamento na lâmina de cola: análise qualitativa.

Modo de ruptura	Pinus elliottii				Eucalipto grandis			
	Quantidade			(%)	Quantidade			(%)
	B	R	MB		B	R	MB	
Na cola	1	2	1	26,7	0	2	3	33,3
Na madeira	3	0	2	33,3	2	0	3	33,3
Na cola e na madeira	0	1	5	40,0	1	1	3	33,3

Resistências baixas (B) - resistências próximas ao valor característico.

Resistências regulares (R) - resistências inferiores ao valor médio, porém próximas do mesmo (não inferior a $0,85f_m$).

Resistências muito boa (MB) - resistências maiores ou iguais ao valor médio.

Os três tipos de rupturas que ocorreram nos corpos-de-prova de cisalhamento na lâmina de cola estão ilustrados nas Figuras 33, 34 e 35.

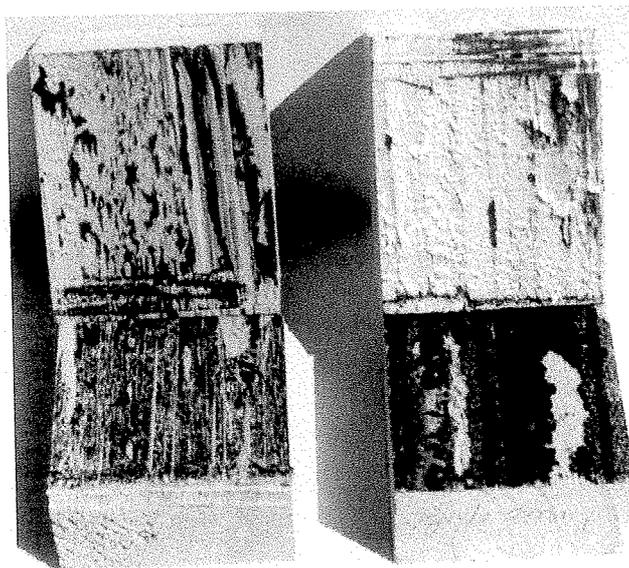


FIGURA 33 - Cisalhamento: ruptura na lâmina de cola.

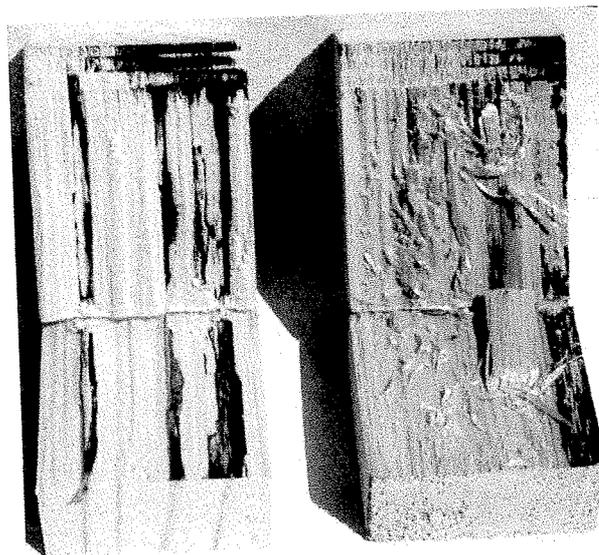


FIGURA 34 - Cisalhamento: ruptura parte na lâmina de cola e parte na madeira.

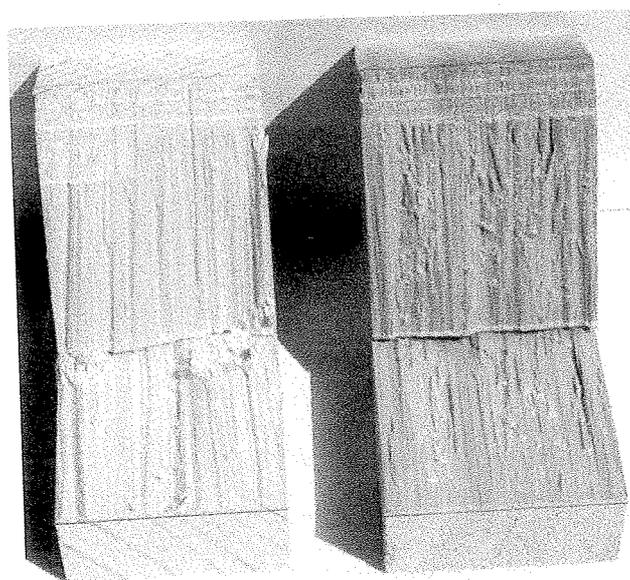


FIGURA 35 - Cisalhamento: ruptura na madeira.

4.2 - Tração normal à lâmina de cola.

As resistências médias e características dos corpos-de-prova de tração normal à linha de cola, apresentaram excelentes valores quando comparadas às resistências médias e características dos correspondentes corpos-de-prova de controle. A dispersão dos resultados de resistência é considerada satisfatória, quando comparada a dispersão dos resultados de resistência dos corpos-de-prova de controle. Estes resultados apresentados na Tabela 9, também indicaram uma ótima eficiência da ligação adesiva para ambas espécies de madeira. As Figuras 36 e 37 ilustram a variação dos resultados de resistência dos corpos-de-prova de tração normal à lâmina de cola e dos respectivos corpos-de-prova de controle, sendo que as linhas horizontais vermelhas e verdes seguem a mesma consideração do item 4.1.

TABELA 9 - Eficiência dos corpos-de-prova de tração normal à lâmina de cola.

Espécie	$f_{gt90,m}$ (kN/cm ²)	$f_{t90,m}$ (kN/cm ²)	Efic. (%)	$f_{gt90,k}$ (kN/cm ²)	$f_{t90,k}$ (kN/cm ²)	Efic. (%)	S_{gt90} (kN/cm ²)	S_{t90} (kN/cm ²)
P. elliotii	0,20	0,18	100	0,14	0,13	100	0,06	0,04
E. grandis	0,18	0,19	95	0,13	0,13	100	0,05	0,11

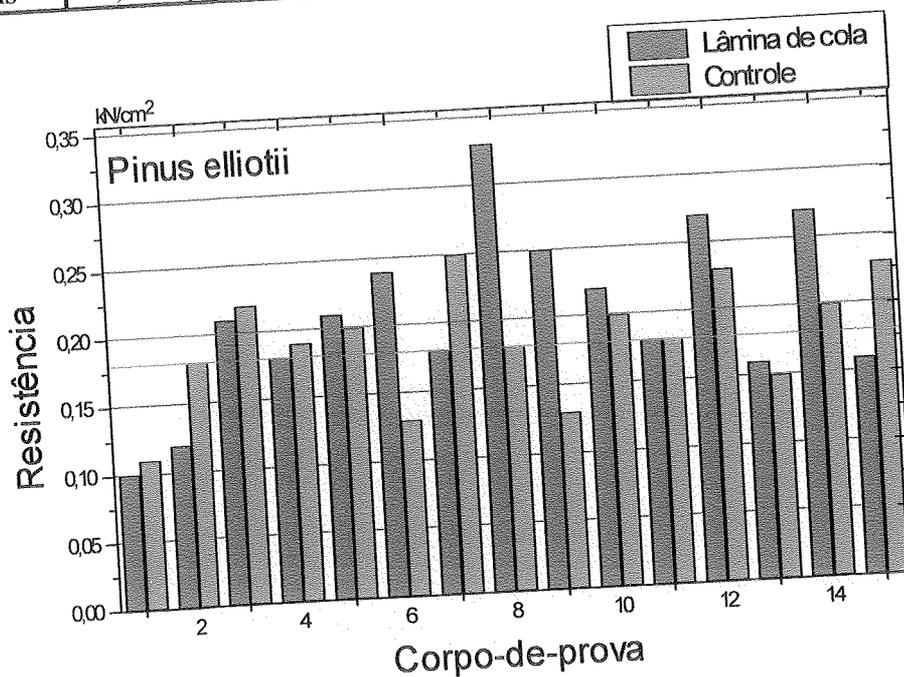


Figura 36 - Pinus elliotii: resistência à tração normal.

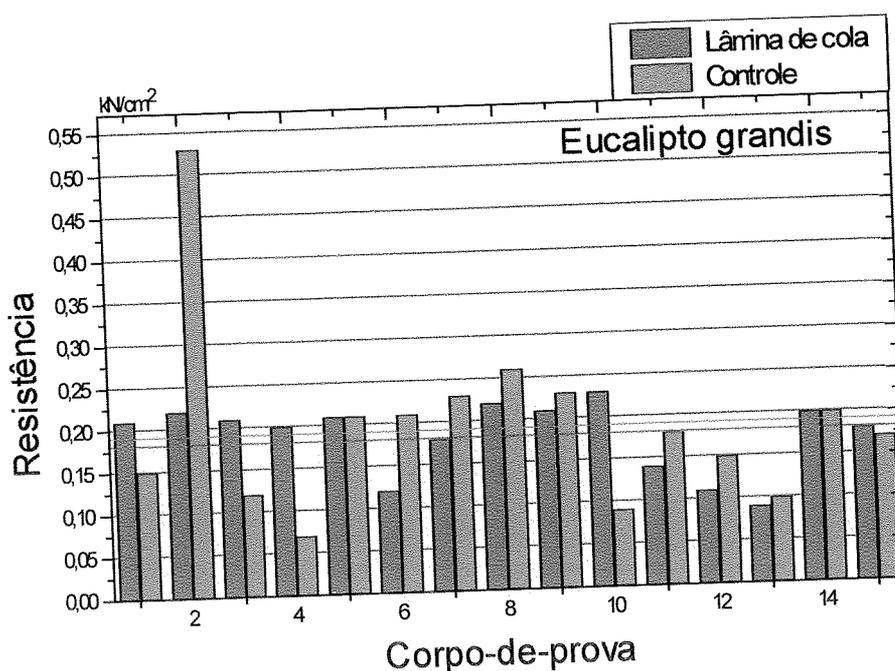


Figura 37 - Eucalypto grandis: resistência à tração normal.

Quanto à ruptura, quase a totalidade ocorreu na madeira ou parte na madeira e parte no adesivo. Na Tabela 10, é apresentada uma análise qualitativa dos resultados de tração normal à linha de cola, onde se constata o excelente desempenho da ligação adesiva.

TABELA 10 - Tração normal à lâmina de cola: análise qualitativa.

Modo de ruptura	Pinus elliottii				Eucalypto grandis			
	Quantidade			(%)	Quantidade			(%)
	B	R	MB		B	R	MB	
Na cola	0	1	1	13,3	0	0	2	13,3
Na madeira	2	4	4	66,7	2	2	4	53,3
Na cola e na madeira	0	0	3	20,0	1	0	4	33,3

Nas figuras 38, 39 e 40 são apresentados os tipos de ruptura ocorridos durante os ensaios de tração normal à linha de cola.

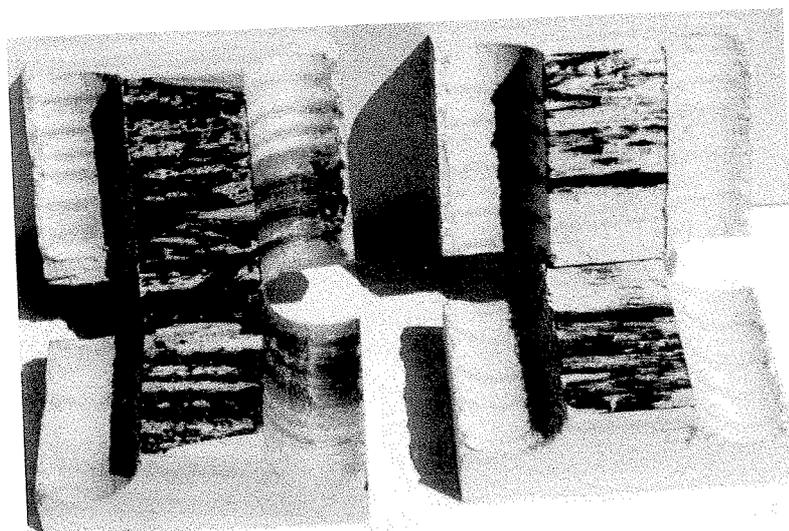


FIGURA 38 - Tração normal: ruptura na lâmina de cola.

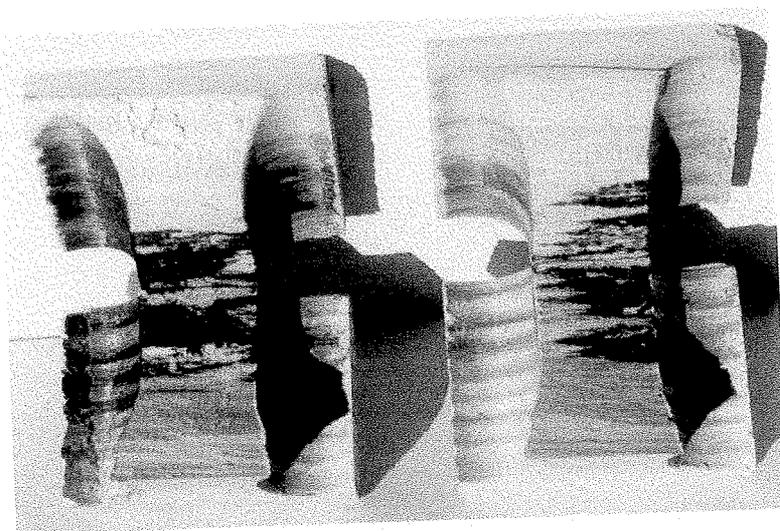


FIGURA 39 - Tração normal: ruptura parte na madeira e parte na lâmina de cola.

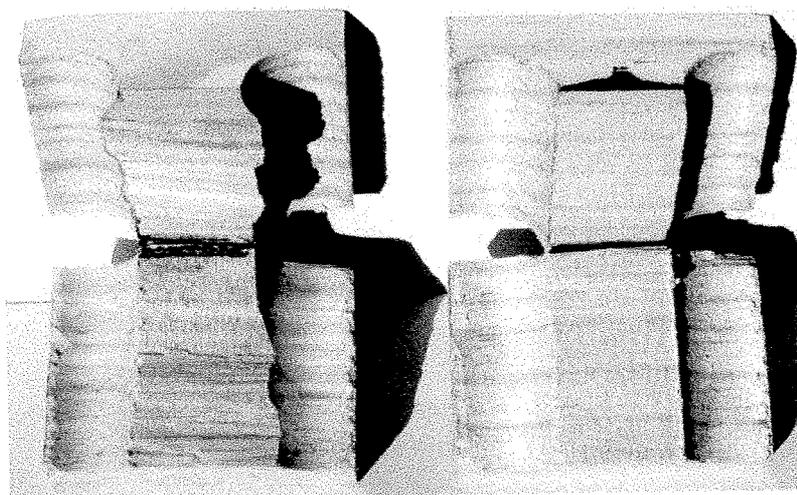


FIGURA 40 - Tração normal: ruptura na madeira.

4.3 - Resistência a tração das emendas dentadas.

Nos ensaios de resistência a tração das emendas dentadas, a exemplo do ocorrido nos ensaios de cisalhamento e tração normal, também foi obtida uma eficiência muito boa das ligações adesivas em relação a madeira maciça, Tabela 11. A variabilidade dos resultados de resistência a tração das emendas dentadas foi inferior a variabilidade dos resultados de resistência dos corpos-de-prova de controle, confirmando o alto grau de eficiência das emendas dentadas tanto para o pinus quanto para o eucalipto.

TABELA 11 - Eficiência dos corpos-de-prova de resistência à tração das emendas dentadas.

Espécie	$f_{gt0,m}$ (kN/cm ²)	$f_{t0,m}$ (kN/cm ²)	Efic. (%)	$f_{gt0,k}$ (kN/cm ²)	$f_{t0,k}$ (kN/cm ²)	Efic. (%)	S_{gt0} (kN/cm ²)	S_{t0} (kN/cm ²)
P. elliotii	3,90	4,02	97	2,76	2,81	98	0,77	0,88
E. grandis	6,09	6,00	100	4,26	4,20	100	1,63	2,70

Como nos itens 4.1 e 4.2, as figuras 41 e 42 ilustram as variações de resistência dos corpos-de-prova com emenda dentada e dos corpos-de-prova de controle.

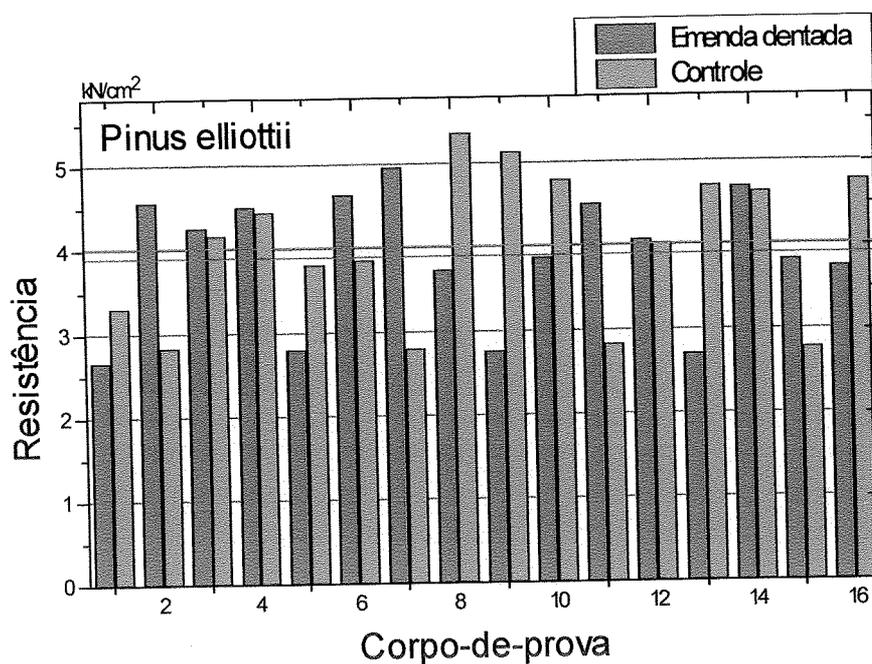


Figura 41 - *Pinus elliottii*: resistência à tração paralela.

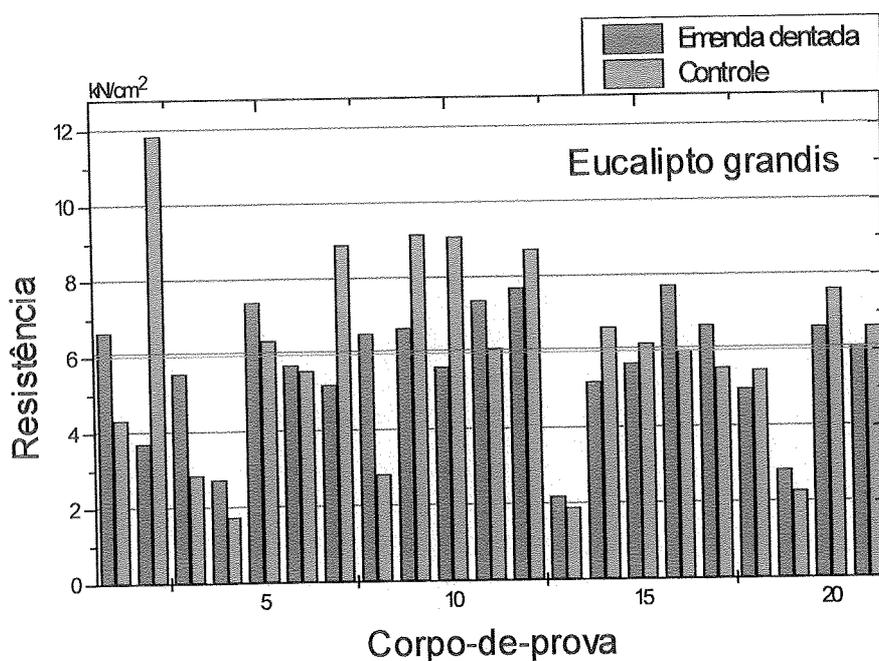


Figura 42 - *Eucalypto grandis*: resistência à tração paralela.

Na maioria dos casos, a ruptura envolveu a emenda dentada, porém com resultados considerados muito bons, em geral, superiores a média. Todas às vezes em que a ruptura ocorreu fora da região da emenda a resistência foi muito baixa se comparada com a resistência média, indicando uma redução da qualidade da madeira e não da

emenda dentada. A distribuição e análise qualitativa das rupturas são apresentados na Tabela 12 e os modos de ruptura são ilustrados nas Figuras 43, 44, 45 e 46.

TABELA 12 - Tração na emenda dentada: análise qualitativa.

Modo de ruptura	Pinus elliottii				Eucalipto grandis			
	Quantidade			(%)	Quantidade			(%)
	B	R	MB		B	R	MB	
Na cola	0	1	3	25,0	2	5	3	47,6
Na região da emenda e na madeira	0	0	2	12,5	0	0	1	4,8
Na madeira fora da região da emenda	4	0	0	25,0	3	0	0	14,3
Parte na madeira e parte na emenda	0	3	3	37,5	1	0	6	33,3

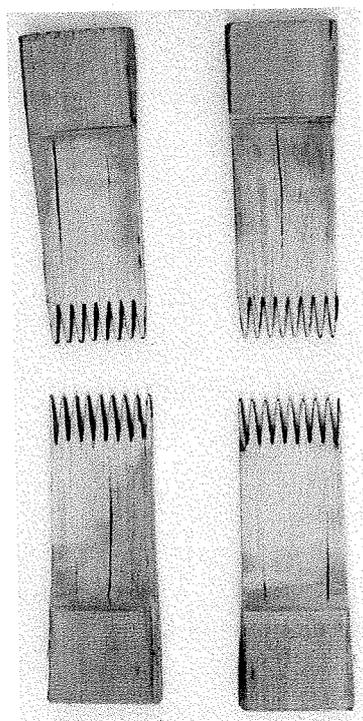


FIGURA 43 - Emenda dentada: ruptura na cola.

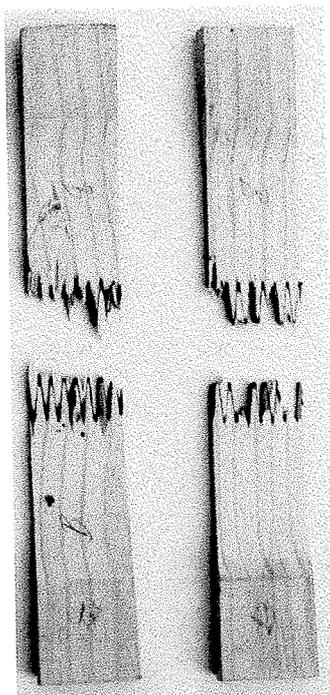


FIGURA 44 - Emenda dentada: ruptura na emenda e na madeira.

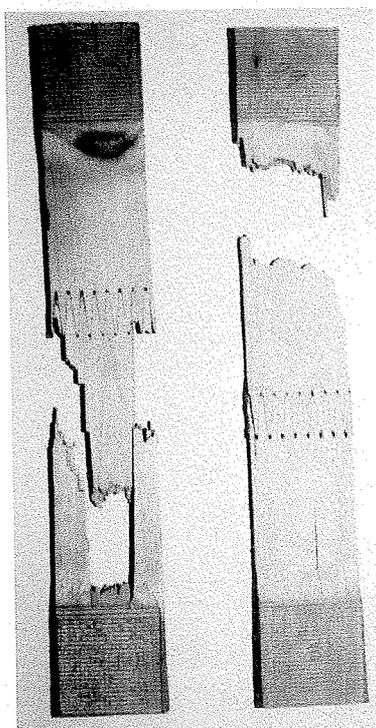


FIGURA 45 - Emenda dentada: ruptura na madeira fora da região da emenda.

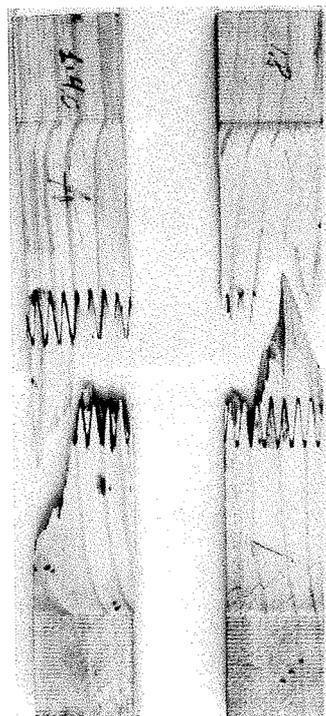


FIGURA 46 - Emenda dentada: ruptura parte na madeira e parte na emenda.

5 CONCLUSÕES.

Do estudo teórico e experimental realizado podemos concluir que:

Nos ensaios de caracterização da MLC é importante registrar, além da resistência à ruptura, o modo de ruptura dos correspondentes corpos-de-prova.

O processo de colagem, considerando todos os parâmetros avaliados (pressão, tempo de penetração, quantidade de adesivo, etc.), foi bem sucedido independente do modo de ruptura e da espécie de madeira.

As baixas resistências dos corpos-de-prova de caracterização da MLC tiveram maior incidência quando a ruptura ocorreu fora da ligação adesiva, indicando mais uma redução na qualidade da madeira do que uma eficiência da ligação.

O grau de enfraquecimento das emendas dentadas obtidos nos ensaios foi no máximo 3%. Este valor é significativamente inferior aos 16% previsto pela DIN 68140 (1971) para a geometria de 20mm de comprimento. Isto indica que o procedimento adotado, incluindo as pressões de $0,80\text{kN/cm}^2$ para o *Pinus elliottii* e $1,00\text{kN/cm}^2$ para o *Eucalypto grandis*, foi adequado.

A geometria de 20mm de comprimento correspondente a DIN 68140 reúne uma boa resistência de emenda aos limites práticos de produção, sendo uma das mais eficientes e usadas no contexto internacional. Isto, associado ao desempenho obtido neste estudo, confirma que esta é uma geometria adequada para aplicação em MLC.

O método proposto pelo Projeto da Nova Norma Brasileira PNBR 7190 (1996) mostrou-se adequado e serve como base para a caracterização da resistência da MLC.

Como informações complementares do método de ensaio proposto no PNBR 7190 (1996) recomenda-se:

Recomendação da geometria de 20mm correspondente a DIN 68140.

A pressão de colagem de $0,80\text{kN/cm}^2$ e $1,00\text{kN/cm}^2$ para as coníferas e dicotiledôneas, respectivamente.

A retirada aos pares das peças de madeira destinadas a produção dos corpos-de-prova de caracterização da MLC e de madeira maciça (controles), reduzindo ao máximo a variabilidade da madeira entre as amostras coladas e as respectivas amostras de controle.

Para a continuidade deste trabalho sugere-se:

A extensão deste estudo para outras espécies de madeira e outros tipos de adesivos, avaliando também a rigidez das emendas dentadas.

A avaliação das características de resistência e rigidez das emendas dentadas à fadiga na tração.

ANEXO A

RESULTADOS.

• Peça 1 - *Pinus elliottii* ($\rho_{ap} = 0,50\text{g/cm}^3$)

Ensaio: Cisalhamento na lâmina de cola (madeira seca ao ar)				
Temperatura: 25°C		T. de penetração: 5min.		Pressão: 0,06kN/cm ²
Identificação CP	$A_{gv,i}$ (cm ²)	$F_{gv,i}$ (kN)	$f_{gv,i}$ (kN/cm ²)	Modo de ruptura
1	23,591	19,34	0,82	na cola
2	23,015	19,85	0,86	na madeira
3	23,722	28,36	1,20	parte na cola (80%) e parte na madeira (20%)
4	23,830	20,10	0,84	na madeira
5	24,000	21,13	0,88	na madeira
6	23,631	23,80	1,01	na cola
7	23,871	23,15	0,97	parte na cola (70%) e parte na madeira (30%)
8	23,918	25,80	1,08	parte na cola (70%) e parte na madeira (30%)
9	23,900	27,26	1,14	parte na cola (80%) e parte na madeira (20%)
10	24,053	31,13	1,29	na madeira
11	23,922	24,87	1,04	na cola
12	24,098	30,70	1,27	parte na cola (20%) e parte na madeira (80%)
13	24,092	28,50	1,18	na cola
14	23,870	25,30	1,06	parte na cola (60%) e parte na madeira (40%)
15	23,914	28,15	1,18	na madeira
Valor médio ($f_{gv,m}$)			1,06	
Valor característico ($f_{gv,k}$)			0,83	
Desvio padrão (S_{gv})			0,16	

Ensaio: Cisalhamento corpos-de-prova de controle (madeira seca ao ar)				
Identificação CP	$A_{v,i}$ (cm ²)	$F_{v,i}$ (kN)	$f_{v,i}$ (kN/cm ²)	Observações
1	23,772	30,31	1,28	
2	24,142	22,14	0,92	
3	23,840	31,64	1,33	
4	24,153	25,42	1,05	
5	23,319	19,54	0,84	ruptura próximo à região de ancoragem.
6	23,417	21,15	0,90	
7	23,941	32,84	1,37	
8	25,543	44,30	1,73	
9	24,478	40,00	1,63	
10	24,432	23,20	0,95	
11	24,276	20,70	0,85	
12	24,393	18,70	0,77	
13	24,081	26,90	1,12	
14	24,772	39,70	1,60	
15	24,122	27,14	1,13	
Valor médio ($f_{v,m}$)			1,13	
Valor característico ($f_{v,k}$)			0,79	
Desvio padrão (S_v)			0,31	

Ensaio: Tração normal na lâmina de cola (madeira seca ao ar)				
Temperatura: 25°C		T. de penetração: 5min.		Pressão: 0,06kN/cm ²
Identificação CP	$A_{gt90,i}$ (cm ²)	$F_{gt90,i}$ (kN)	$f_{gt90,i}$ (kN/cm ²)	Modo de ruptura
1	13,232	1,30	0,10	na madeira
2	13,324	1,57	0,12	na madeira
3	12,448	2,63	0,21	parte na madeira (60%) e parte na cola (40%)
4	12,958	2,30	0,18	na cola
5	13,343	2,82	0,21	na cola
6	13,857	1,98	0,24	parte na madeira (40%) e parte na cola (60%)
7	14,100	2,57	0,18	na madeira
8	12,085	4,00	0,33	na madeira
9	12,736	3,17	0,25	na madeira
10	12,307	2,68	0,22	na madeira
11	13,019	2,39	0,18	na madeira
12	12,165	3,34	0,27	parte na madeira (50%) e parte na cola (50%)
13	12,264	1,96	0,16	na madeira
14	12,772	3,42	0,27	na madeira
15	13,450	2,20	0,16	na madeira
Valor médio ($f_{gt90,m}$)			0,20	
Valor característico ($f_{gt90,k}$)			0,14	
Desvio padrão (S_{gt90})			0,06	

Ensaio: Tração normal corpos de prova de controle (madeira seca ao ar)				
Identificação CP	$A_{i90,i}$ (cm ²)	$F_{i90,i}$ (kN)	$f_{i90,i}$ (kN/cm ²)	Observações
1	13,425	1,46	0,11	ruptura próxima à região de ancoragem
2	13,015	2,33	0,18	
3	12,589	2,72	0,22	
4	13,206	2,40	0,19	
5	12,920	2,58	0,20	
6	13,608	1,82	0,13	
7	12,724	2,62	0,25	
8	14,45	2,62	0,18	
9	12,479	1,57	0,13	
10	12,919	2,63	0,20	
11	12,861	2,300	0,18	
12	12,532	2,82	0,23	
13	12,948	1,98	0,15	
14	13,000	2,57	0,20	
15	13,160	3,02	0,23	
Valor médio ($f_{i90,m}$)			0,18	
Valor característico ($f_{i90,k}$)			0,13	
Desvio padrão (S_{i90})			0,04	

Ensaio: Tração paralela na madeira com emenda dentada (madeira seca ao ar)				
Temperatura: 25°C		T. de penetração: -		Pressão: 0,80kN/cm ²
Identificação CP	$A_{gt0,i}$ (cm ²)	$F_{gt0,i}$ (kN)	$f_{gt0,i}$ (kN/cm ²)	Modo de ruptura
1	3,431	9,47	2,76	na madeira
2	3,456	15,79	4,57	na emenda, parte na madeira e parte na cola
3	3,491	14,87	4,26	na emenda e na madeira
4	3,338	15,05	4,51	na emenda, parte na madeira e parte na cola
5	3,489	9,77	2,80	na madeira fora da região da emenda
6	3,505	16,30	4,65	na emenda e na cola
7	3,412	16,95	4,97	na emenda e na cola
8	3,627	13,58	3,74	na emenda, parte na madeira e parte na cola
9	3,462	9,54	2,76	na madeira
10	3,520	13,65	3,88	na emenda, parte na madeira e parte na cola
11	3,325	15,01	4,51	na emenda e na madeira
12	3,458	14,10	4,08	na emenda, parte na madeira e parte na cola
13	3,624	9,83	2,71	na madeira fora da região da emenda
14	3,465	16,27	4,70	na emenda e na cola
15	3,490	13,35	3,83	na emenda e na cola
16	3,465	12,98	3,75	na emenda, parte na madeira e parte na cola
Valor médio ($f_{gt0,k}$)			3,90	
Valor característico ($f_{gt0,k}$)			2,76	
Desvio padrão (S_{gt0})			0,77	

Ensaio: Tração paralela corpos-de-prova de controle (madeira seca ao ar)				
Identificação CP	$A_{i0,i}$ (cm ²)	$F_{i0,i}$ (kN)	$f_{i0,i}$ (kN/cm ²)	Observações
1	3,485	11,55	3,31	
2	3,426	9,72	2,84	ruptura próximo à região de ancoragem
3	3,510	14,63	4,17	
4	3,349	14,90	4,45	
5	3,465	13,25	3,82	
6	3,421	13,20	3,86	
7	3,487	9,76	2,80	
8	3,468	18,61	5,37	
9	3,446	17,70	5,14	
10	3,400	16,32	4,80	
11	3,365	9,57	2,84	
12	3,347	13,48	4,03	
13	3,425	16,16	4,72	
14	3,356	15,58	4,64	
15	3,354	9,33	2,78	
16	3,503	16,75	4,78	
Valor médio ($f_{i0,m}$)			4,02	
Valor característico ($f_{i0,k}$)			2,81	
Desvio padrão (S_{i0})			0,88	

• *Peça 2 - Eucalipto grandis* ($\rho_{ap} = 0,60\text{g/cm}^3$).

Ensaio: Cisalhamento na lâmina de cola (madeira seca ao ar)				
Temperatura: 25°C		T. de penetração: 10min.		Pressão: 0,06kN/cm ²
Identificação CP	$A_{gv,i}$ (cm ²)	$F_{gv,i}$ (kN)	$f_{gv,i}$ (kN/cm ²)	Modo de ruptura
1	25,092	18,30	0,73	na cola
2	24,581	22,00	0,90	na cola
3	24,710	14,80	0,60	parte na cola (70%) e parte na madeira (30%)
4	24,589	22,20	0,90	na cola
5	24,653	14,60	0,59	na cola
6	24,760	19,70	0,80	parte na cola (60%) e parte na madeira (40%)
7	24,758	26,50	1,07	na cola
8	23,928	25,80	1,08	na cola
9	24,515	27,26	1,11	parte na cola (50%) e parte na madeira (50%)
10	25,163	31,13	1,24	parte na cola (70%) e parte na madeira (30%)
11	24,918	24,87	1,00	na cola
12	23,412	30,70	1,31	na cola
13	23,925	28,50	1,19	na madeira
14	24,721	25,30	1,02	parte na cola (40%) e parte na madeira (60%)
15	24,060	28,15	1,17	na madeira
Valor médio ($f_{gv,m}$)			0,98	
Valor característico ($f_{gv,k}$)			0,69	
Desvio padrão (S_{gv})			0,24	

Ensaio: Cisalhamento corpos de prova de controle (madeira seca ao ar)				
Identificação CP	$A_{v,i}$ (cm ²)	$F_{v,i}$ (kN)	$f_{v,i}$ (kN/cm ²)	Observações
1	24,745	22,00	0,89	
2	24,885	22,40	0,90	
3	24,854	26,70	1,07	
4	25,442	21,34	0,84	
5	24,975	28,20	1,13	
6	25,230	26,00	1,03	
7	25,034	23,60	0,94	
8	24,510	19,70	0,80	
9	23,481	24,10	1,03	
10	24,500	22,15	0,90	
11	24,808	16,48	0,66	
12	23,415	20,08	0,86	
13	24,728	12,76	0,52	
14	25,010	28,76	1,15	
15	24,814	28,15	1,13	
Valor médio ($f_{v,m}$)			0,92	
Valor característico ($f_{v,k}$)			0,66	
Desvio padrão (S_v)			0,18	

Ensaio: Tração normal na lâmina de cola (madeira seca ao ar)				
Temperatura: 25°C		T. de penetração: 10min.		Pressão: 0,06kN/cm ²
Identificação CP	$A_{gt90,i}$ (cm ²)	$F_{gt90,i}$ (kN)	$f_{gt90g,i}$ (kN/cm ²)	Modo de ruptura
1	12,419	2,65	0,21	na madeira
2	13,162	2,95	0,22	na madeira
3	13,387	2,80	0,21	parte na madeira (70%) e parte na cola (30%)
4	13,253	2,70	0,20	parte na madeira (50%) e parte na cola (50%)
5	12,814	2,71	0,21	parte na madeira (40%) e parte na cola (60%)
6	12,731	1,50	0,12	na madeira
7	13,084	2,40	0,18	na cola
8	13,409	2,91	0,22	na madeira
9	12,981	2,78	0,21	na madeira
10	12,856	3,00	0,23	parte na cola (30%) e parte na madeira (70%)
11	13,163	1,90	0,14	na madeira
12	14,081	1,58	0,11	parte na cola (50%) e parte na madeira (50%)
13	13,641	1,20	0,09	na madeira
14	13,321	2,60	0,20	na cola
15	13,564	2,41	0,18	na madeira
Valor médio ($f_{gt90g,m}$)			0,18	
Valor característico ($f_{gt90g,k}$)			0,13	
Desvio padrão (S_{gt90})			0,05	

Ensaio: Tração normal corpos-de-prova de controle (madeira seca ao ar)				
Identificação CP	$A_{i90,i}$ (cm ²)	$F_{i90,i}$ (kN)	$f_{i90,i}$ (kN/cm ²)	Observações
1	12,402	1,85	0,15	
2	12,579	6,70	0,53	
3	13,450	1,55	0,12	
4	13,062	0,85	0,07	
5	12,523	2,60	0,21	
6	12,970	2,75	0,21	
7	12,787	2,96	0,23	
8	12,162	3,20	0,26	
9	13,425	3,08	0,23	
10	13,184	1,13	0,09	
11	14,010	2,58	0,18	
12	13,829	2,10	0,15	
13	14,160	1,35	0,10	
14	13,950	2,84	0,20	
15	13,782	2,38	0,17	
Valor médio ($f_{i90,m}$)			0,19	
Valor característico ($f_{i90,k}$)			0,13	
Desvio padrão (S_{i90})			0,11	

Ensaio: Tração paralela na madeira com emenda dentada (madeira seca ao ar)				
Temperatura: 25°C		T. de penetração: -		Pressão: 1,00 kN/cm ²
Identificação CP	$A_{gt0,i}$ (cm ²)	$F_{gt0,i}$ (kN)	$f_{gt0,i}$ (kN/cm ²)	Modo de ruptura
1	3,451	22,97	6,66	na emenda e na madeira
2	3,389	12,55	3,70	na emenda e na cola
3	3,426	19,00	5,55	na emenda e na cola
4	3,52	9,63	2,74	na madeira fora da região da emenda
5	3,468	25,73	7,42	na emenda, parte na madeira e parte na cola
6	3,443	19,80	5,75	na emenda e na cola
7	3,478	18,15	5,22	na emenda e na cola
8	3,512	23,00	6,55	na emenda, parte na madeira e parte na cola
9	3,369	22,50	6,68	na emenda e na cola
10	3,413	19,36	5,67	na emenda e na cola
11	3,402	25,16	7,40	na emenda, parte na madeira e parte na cola
12	3,329	25,68	7,71	na madeira, parte na madeira e parte na cola
13	3,456	7,59	2,20	na madeira fora da região da emenda
14	3,452	17,97	5,21	na emenda, parte na madeira e parte na cola
15	3,507	19,94	5,69	na emenda e na cola
16	3,487	27,00	7,74	na emenda, parte na madeira e parte na cola
17	3,488	23,37	6,70	na emenda e na cola
18	3,397	17,00	5,00	na emenda e na cola
19	3,509	9,97	2,84	na madeira fora da região da emenda
20	3,366	22,26	6,61	na emenda e na cola
21	3,473	21,14	6,09	na emenda, parte na madeira e parte na cola
Valor médio ($f_{gt0,m}$)			6,09	
Valor característico ($f_{gt0,k}$)			4,26	
Desvio padrão (S_{gt0})			1,63	

Ensaio: Tração paralela corpos de prova de controle (madeira seca ao ar)				
Identificação CP	$A_{t0,i}$ (cm ²)	$F_{t0,i}$ (kN)	$f_{t0,i}$ (kN/cm ²)	Observações
1	3,455	15,00	4,34	
2	3,463	41,00	11,84	
3	3,339	9,50	2,85	ruptura próximo à região de ancoragem
4	3,456	6,00	1,74	
5	3,398	21,71	6,39	
6	3,463	19,40	5,60	
7	3,369	30,00	8,90	
8	3,488	9,84	2,82	
9	3,470	31,80	9,16	
10	3,516	32,00	9,10	
11	3,480	21,34	6,13	
12	3,436	30,00	8,73	
13	3,491	6,63	1,90	
14	3,413	22,70	6,65	
15	3,500	21,74	6,21	
16	3,486	20,94	6,01	
17	3,508	19,47	5,55	
18	3,490	19,12	5,48	
19	3,480	7,98	2,29	
20	3,395	25,87	7,62	
21	3,504	23,15	6,61	
Valor médio ($f_{t0,k}$)			6,00	
Valor característico ($f_{t0,k}$)			4,20	
Desvio padrão (S_{t0})			2,70	

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. (1974). *Timber Construction Manual*. 2ª Edição.
- AMERICAM WOOD-PRESERVERS' ASSOCIATION. (1992). *Structural Glued Lamination Members and Laminations Before Gluing, Pressure Treatment*. C28-91, pp. 90-92.
- APLIN, E. N. (1972). *Stiffness-graded Eastern spruce laminated beams*. Forest Products Journal 22 (1): 26-31, jan.
- ASCE. (1968). *Duration of load and fatigue in wood structures*. Progress Report of Sub-committee on Timber Structures of the Structural Division., Journal of the structural Division, ASCE, vol.83, NºST 5, Proc. Pap. 1361, pp. (1361-1)-(1361-12) , mar.
- ASTRAND, E.; RÖNNQVIST, M. (1994). *Crosscut optimization of boards given complet defect information*. Forest Products Journal 44 (2): 15-24, feb.
- BAIRD, J. (1980). *Marketing finger-jointed timber*., Seminar on the Production Marketing and Use of Finger-jointed Sawnwood., Hamar, Norway, 4p. sep.
- BENDER, D. A.; BURK, A.G.; TAYLOR, S.E.; HOOPER, J.A. (1990). *Predicting localized MOE and tensile strength in solid and finger-jointed laminating*

lumber using longitudinal stress waves. Forest Products Journal 40 (3): 45-47, mar.

BOHN, A. R.; SZÜCS, C. A. (1995). *Comportamento mecânico da linha de cola nos elementos de madeira laminada colada*. V Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira (V EBRAMEM), Belo Horizonte-MG, Vol.1, 517-526, jul.

BOHANNAN, B.; KANVIK, K. (1969). *Fatigue strength of finger joints*. Mad., Wis., FPL-FS-USDA, (Res. Pap. FPL 114), sep.

_____.; MOODY, R. C. (1969). *Large glued-laminated timber beams with two grades of tension laminations*. Mad., Wis., FPL-FS-USDA, (Res. Pap. FPL 113), sep.

_____.; SELBO, M. L. (1965). *Evaluation of commercially made end joints in lumber by three test methods*. Mad., Wis., FPL-FS-USDA, (Res. Pap. FPL 41), oct.

BONO, C. T.; MACÊDO, A. N. (1995). *Madeira Laminada Colada (MLC) no Brasil: o estado da arte*. V Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira (V EBRAMEM), Belo Horizonte-MG, Vol. 1, 587-611, jul.

BURDZIK, W. (1994) *Improving the ductile behaviour of laminated eucalyptus grandis beams*. Pacific Timber Engineering Conference, Gold Coast Australia, pp. 492-498, jul.

BURK, A. G.; BENDER, D. A. (1989). *Simulating finger-joint performance based on localized constituent lumber properties*. Forest Products Journal 39 (3): 45-50, mar.

- CARROLL, M. N. (1980) *Finger-jointing sawn lumber: techniques and product requirements*. Seminar on the Production Marketing and Use of Finger-jointed Sawnwood., Hamar Norway, 8p. sep.
- CHUGG, W.A. (1964). *The theory and practice of the manufacture of glued laminated wood structural members*. Ernst Benn, London.
- DIN 68 140 (1971) *Keilzinkenverbindung Von Holz*. Berlin, Alemanha.
- DUTKO, M.; STELLER, S.; KOZELOUH, B. (1980). *Research into experience of the use of finger-joints in timber structures in Czechoslovakia*. Seminar on the Production Marketing and Use of Finger-jointed Sawnwood. Hamar, Norway, 12p., sep.
- EBY, R. E. (1968)., *Structural finger-jointing criteria and performance*. Journal of the Structural Division, ASCE, vol.94, N^oST 3, Proc. Pap. 5847, pp. 657-669, mar.
- _____. (1981). *Proofloading of finger-joints for glulam timber* Forest Products Journal 31 (1): 37-41, jan.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. (1995). *Finger jointed structural timber CEN-EN 385 - Performance requirements and minimum production requirements*. Bruxelles, 17p., feb.
- FERREIRA, C. E., MANTILLA CARRASCO, E. V; HELLMEISTER, J. C. (1988) *Estudo e desenvolvimento de adesivos para madeira de resina poliuretana*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (Relatórios de Iniciação Científica LaMEM-EESC-USP, 1-3).

- FISSET, P. R.; RICE, W. W. (1988). *An analyses of finger-joints made from two northeastern species*. *Foret Products Journal* 38 (9): 40-44 sep.
- FOLZ, B.; FOSCHI, R. O. (1991). *Ultimate load analysis of glued laminated beam-columns by the finite element method*. *International Timber Engineering Conference London*, pp 2353-2360.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY. (1987). *Wood Handbook: wood as engineering material*. Was., D.C., Agriculture Handbook, N° 72, rev. 1987.
- FOREST RESEARCH INSTITUTE. (1979). *What's new in Forest Research: finger jointing has come of age*. New Zeland., N° 76.
- FOSCHI, R. O.; BARRET, D. (1980). *Glued-laminated beam strength: a model*. *Journal of the Structural Division, ASCE*, vol.106, N°ST8, Proc. Pap.15599, pp.1735-1754, Aug.
- FREAS, A. D. (1950). *Studies of the strength of glued laminated wood construction*. Mad.,Wis., ASTM bulletin, N° 170, p 48-59, dec.
- _____. (1956). *Factors affecting strength and design principles of glued laminated construction*. Mad., Wis., FPL-FS-USDA, (Rep. Pap. FPL 2061), 19p., aug.
- _____.; SELBO, M. L. (1954). *Fabrication and Design of Glued Laminated Wood Structural Members*. Was., D.C., United States Department of Agriculture, feb.
- GERHARDS, C. C. (1982). *Loading stress waves for lumber stress grading: factors affecting applications: of the state of the art*. *Forest Products Journal* 32 (2), fev.

- GILLESPIE, R. H.; COUNTRYMAN, D.; BLOMQUIST, R.F. (1978). *Wood Handbook: adhesives in building construction*. Mad., Wis., FS-USDA Agriculture Handbook, Nº 516, feb.
- GLUED LAMINATED TIMBER ASSOCIATION (G.L.T.A.) G.L.T.A. *Specifier's guide to glue laminated structural timber*, 30p.
- GOPU, V. (1994). *Volume effect on the flexural strength of long span glued laminated timber beams*. Pacific Timber Engineering Conference, Gold Coast Australia, pp. 646-654, jul.
- GRAEFF, A. (1995). *Estudo comparativo da influência dos entalhes múltiplos em vigas de madeira laminada-colada*. V Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira (V EBRAMEM)., Belo Horizonte-MG, Vol. 3, 587-611, jul.
- _____. (1995). *Estudo da Madeira Laminada Colada com emendas de topo reforçadas com fibra de vidro*. Florianópolis, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina., 129p., ago.
- HÁJEK, B. (1980). *Testing of finger-joints in structural timber for quality control*. Seminar on the Production Marketing and Use of Finger-jointed Sawwood. Hamar, Norway, 19p. sep.
- HERNANDEZ, R.; BENDER, D. (1991). *Probabilistic modeling of glued-laminated timber beams*. International Timber Engineering Conference, London, pp 2335-2342.
- HILBRAND, H. C.; MILLER, D. G. (1966). *Machine grading-theory and practice*. Forest Products Journal. 16 (11): 28-34, nov.

- JANOWIAK, J. J.; LABOSKY Jr.; BLANKENHORN; P.R.; MANBECK, H.B. (1992). *Finger-joint strength evaluations of three northeastern hardwoods*. Forest Products Journal 43 (9): 23-28, sep.
- JOHNSON, W. J. (1969). *Flexural tests of large glued-laminated beams made of nondesdructively tested lumber*. FPL, School of Forestry Oregon University, Corvallis, Oregon 97331, (Rep. T-26), nov.
- _____. (1971). *Design and test of large glued-laminated beams made of nondesdructively tested lumber*. FPL, School of Forestry Oregon University, Corvallis, Oregon 97331, (Rep. T-27), nov.
- JORKEST, R. (1980). *The efect of geometry on the performance of structural finger joints*. Seminar on the Production Marketing and Use of Finger-jointed Sawnwood, Hamar, Norway, 11p. sep.
- JUNOVEN, R. (1980). *End pressure for finger-jointting*. Seminar on the Production Marketing and Use of Finger-jointed Sawnwood, Hamar, Norway, 8p., sep.
- KOLB, H. (1980). *Production of finger-joined timber, especialy in the Federal Republic of Germany*. Seminar on the Production Marketing and Use of Finger-jointed Sawnwood, Hamar, Norway, 12p., sep.
- LAMB-SHINE, D.; WANDS, R. W. (1980). *Structural finger-joints*. Seminar on the Production Marketing and Use of Finger-jointed Sawnwood, Hamar, Norway, 6p.; sep.
- LARSEN, H. J. (1980). *Strength of finger-joints*. Seminar on the Production Marketing and Use of Finger-jointed Sawnwood. Hamar, Norway, 6p. sep.

- LEICESTER, R. H.; BUNKER, P.C. (1969). *Fracture at butt-joints in laminated pine*. Forest Products Journal 19 (2): 59-60, feb.
- LEWIS, W. C. (1968). *Design considerations for fatigue in timber structures*. Journal of the Structural Division, ASCE, vol.86, N^oST 5, Proc. Pap. 2470, pp. 15-22, mar.
- LOUW, F. (1964). *Finger-jointing techniques and applications*. Timber Research Unit, CSRI, Pretoria, N^o RU 1.18.
- _____. (1966a). *The quality control of finger joints*. Timber Research Unit, CSRI, Pretoria, N^o RU 1.34.
- _____. (1966b). *Research on finger-jointing*. CSRI, reprinted from Timber Technology, pp 31-34, mar.
- _____. (1967). *Impression vs. conventional finger joints*. Timber Research Unit, CSRI, Pretoria, N^o RU 1.51.
- _____.; MULLER, P. H. (1969). *The influence of knots and bolt holes on the strength of finger joints*. Timber Research Unit, CSRI, Pretoria, N^o RU 1.54.
- LUXFORD, R. F.; KRONE, R. H. (1961). *End joints of various types in Douglas-fir and White oak compared for strength*. FPL-FS-USDA, Rep.N^o1622, dec.
- MANBECK, H. B.; JANOWIAK, J.J; BLANKENHORN, P.R; LABOSKY, P.; MOODY, R.C., HERNANDEZ, R. (1993). *Performance of red maple glulam timber beams*. Mad., Wis. FPL-FS-USDA, (Res. Pap. FPL 519), may.

- MANTILLA CARRASCO, E. V. (1984). *Ligações estruturais de madeira por adesivos*. São Carlos, Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, jul.
- _____. (1989). *Resistência, elasticidade e distribuição de tensões nas vigas retas de Madeira Laminada Colada (MLC)*. São Carlos, Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, jun.
- _____. (1990). *Contribuição à tecnologia da fabricação de peças de madeira laminada colada*. 9º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECIMAT), Águas de São Pedro, São Paulo, dez.
- _____. (1994). *Madeira laminada colada: estudo das emendas longitudinais*. 11º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECIMAT), Águas de São Pedro, São Paulo, dez.
- _____; BREMER, C. F. (1995). *Estudo experimental de elementos estruturais de madeira laminada colada de eucalipto*. V Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira (V EBRAMEM), Belo Horizonte-MG, 559-569, jul.
- _____. (1995). *Análise teórica de vigas de madeira laminada colada: uma contribuição ao estado da arte. Partes I e II*. V Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira (V EBRAMEM), Belo Horizonte-MG, Vol. 1, 475-518, jul.
- McSAWIN, G. A. (1958). *Design, economics and related properties of end- and edge-joints commonly in use*. Forest Products Journal 8 (8): 23-27.
- METTEM, C. J. (1986). *Structural Timber and Technology: Structural Adhesives*. Great Britain, Cap. 5, pp. 129-147.

- MILNER, H R.; YEOH, E. (1991). *Finite elements analysis of glued timber finger joints*. Journal of the Structural Engineering, ASCE, Vol.117, N^o 3, Paper N^o 25621, pp. 755-766, mar.
- MOODY, R. C. (1970a). *Tensile strength of finger joints in pitch- associated and non-pitch-associated southern pine 2 by 6's*. FPL-FS-USDA, (Res.Pap.FPL 138), abr.
- _____. (1970b). *Glued-laminated timber research at the Forest Products Laboratory*. Forest Products Journal 20 (9): 81-86, sep.
- _____.; BOHANNAN, B. (1971). *Flexural properties of glued-laminated southern pine beams fingerjoint and specific gravity effects*. FPL-FS-USDA, (Res. Pap. FPL 151).
- _____.; HERNANDEZ, R.; DAVALOS, J.F.; SONTI, S.S. (1993). *Yellow poplar glulam timber performance*. Mad., Wis, FPL-FS-USDA, (Res. Pap. FPL 520), jun.
- MORKVED, K. (1980). *Production, marketing and use of finger-jointed sawnwood: an overview*. Seminar on the Production Marketing and Use of Finger-jointed Sawnwood. Hamar, Norway, 7p., sep.
- MURPHEY, W. K.; RISHEL, L. E. (1972). *Finger joint feasibility in furtinure production*. Forest Products Journal 22 (2): 30-32, feb.
- NEIVA, G. S.; HELLMEISTER, J. C. (1988). *Estudo de resinas sintéticas como adesivo para madeira*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (Relatórios de Iniciação Científica LaMEM-EESC-USP, 2-4. Orientador Prof. Dr. João César Hellmeister)

- NEIVA, G. S.; HELLMEISTER, J. C. (1988). *Estudo de vigas retas de madeira laminada colada (MLC)*. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (Relatórios de Iniciação Científica LaMEM-EESC-USP, 5-8. Orientador Prof. Dr. João César Hellmeister)
- NORDSTRÖM, J. E. (1995). *Bending strength of spruce end-grain butt-joints using resoscinol formaldehyde-based adhesives*. Forest Products Journal 45 (6):77-83, jun.
- NORÉN, B. (1980). *International acceptance of manufacture, marking and control of finger-jointed structural timber*. Seminar on the Production Marketing and Use of Finger-jointed Sawnwood., Hamar, Norway, 9p., sep.
- OZELTON, E. C.; BAIRD, J.A. (1976). *Timber designers' manual*. Norwich Fletcher and son.
- PELLICANE, P. J. (1994). *Finite element analysis of finger-joints in lumber with dissimilar laminate stiffnesses*. Forest Products Journal 44 (3): 17-22, mar.
- _____.;GUTKOWSKI, R. M.; JAUSLIN, C. (1994). *Effect of gluline voids on the tensile strength of finger-jointed wood*. Forest Products Journal 44 (6): 61-64, jun.
- PINCUS, G.; CATTRELL, E.F.; RICHARDS, D.B. (1996). *Rigid roof trusses with glued-finger corners*. Forest Products Journal. 16 (2): 37-42, feb.
- PORTER, A. W.; EL-OSTA, M. L.; KUSEC, D. J. (1972). *Prediction of Failure of finger joints using acousric emission*. Forest products Journal 22 (9): 74-81, sep.

PROJETO DA NOVA NORMA BRASILEIRA. (1996). *Projeto de Estruturas de Madeira PNB 7190/96*. São Paulo, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PEF/9602, 119p.

PROJETO DA NOVA NORMA BRASILEIRA. (1996). *Projeto de Estruturas de Madeira PNB 7190/96. Anexo: Determinação das Propriedades das Madeiras para Projeto de Estruturas*. São Paulo, Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PEF/9604, 41p.

RANKES, E. (1980). *The influence of production conditions on the strength of finger-joints*. Seminar on the Production Marketing and Use of Finger-jointed Sawnwood, Hamar, Norway, sep.

REGGIANI, J.C. (1971). *La fabrication des elements des structures en bois lamelle collé*. Cahier du centre technique du bois, Paris, nov.

RIBERHOLT, H. (1991). *Gulam*. International Timber Engineering Conference London, pp 1133-1140.

RUYSCH, G. N. (1980). *Production finger-joined sawnwood*. Seminar on the Production Marketing and Use of Finger-jointed Sawnwood, Hamar, Norway, 5p. sep.

SAMSON, M. (1985). *Potential of finger-jointing lumber for machine stress-rated lumber grades*. Forest Products Journal 35 (7/8): 20-24, jul./ aug.

SANDOZ, J. (1994). *The mult glue laminated timber*. Pacific Timber Engineering Conference, Gold Coast Australia, pp. 611-616, jul.

_____.; J.; RASTOGI, P.; WALGENWITZ. (1994). *Grading and reliability of glued laminated timber*. Pacific Timber Engineering Conference, Gold Coast Australia, pp. 663-669, jul.

SASAKI, H.; McARTHUR, E. (1973). *Improving scarf joints strength*. Forest Products Journal, 23 (5): 37-39, may.

_____.; GOTTSTEIN, J. W. (1973). *Maximum strength of end-grain to end-grain butt joints*. Forest Products Journal 23 (2): 48- 54, feb.

SCHAFFER, E. L.; MARX, C. M.; BENDER, D. A.; WOEST, F. E. (1986). *Strength validation and fire endurance of glued-laminated timber beams*. Mad., Wis.,USDA-FPL-FS, , 16p. (Res. Pap. FPL 467), sep.

SELBO, M. L. (1963). *Efect of joint geometri onTensile strength of finger joints*. Mad., Wis., FPL-FS-USDA, 390-400, sep.

_____. (1975). *Adhesives bonding of wood*. Was., D.C., FPL-FS-USDA, Technical Bulletin, N^o 1512, aug.

SHULER, C. E.; GRANT; D. A.; MOODY, R. C. (1979). *Evaluation of Glued Laminated Beams of Eastern Spruce and Eastern Hemlock*. Forest Products journal, 29 (7): 23-28, jul.

STRIKLER, M. D. (1967). *Impression finger jointing of lumber*..Forest Products Journal 17 (10): 23-28, oct.

_____. (1970). *End Gluing of Green Lumber*. Forest Products Journal 20 (9): 47-51, sep.

- _____. (1980). *Finger-jointed dimensional lumber - past, present, and future*. Forest Products Journal 30 (9): 51-56, sep.
- _____.; PELLERIN, R. F. (1971a). *Tension proof loading of finger joints for laminated beams*. Forest Products Journal 21 (6):19-35, jun.
- _____.; PELLERIN, D. (1971b). *Tension proof loading of lam stock for laminated beams*. Forest Products Journal, 21 (5): 50-55, may.
- _____.; PELLERIN, R. F.; TALBOT, J. W. (1970). *Experiments in Proof Loading Structural End-Jointed Lumber*. Forest Products Journal 20 (2): 29-35, feb.
- SUNLEY, J. G. (1980). *The use of finger-jointing*. Seminar on the Production Marketing and Use of Finger-jointed Sawntwood. Hamar, Norway, 4p. sep.
- SZÜCS, C. A. (1995). *Comportamento mecânico de pilares de madeira laminada colada: Ensaios em tamanho real*. V Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira (V EBRAMEM), Belo Horizonte-MG, 527-534, jul.
- TORRES ZANDER, J. R. (1979). *Cálculo e fabricação de peças de madeira laminada*. São Carlos, Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, jun.
- TRADA. (1991). *Structural glued joints in timber*. Wood information Section 2/3, Sheet 31, mar.
- TROUGHTON, G. E. (1986). *Finger and edge-jointing softwood lumber using the preheating method and emulsion polymer isocyanate glue*. Forest Products Journal 36 (1): 59-63, jan.

_____ ; CHOW, S. (1980). *Finger-jointing kiln-dried and unseasoned white spruce lumber using the "WFPL Method"*. Forest Products Journal 30 (12): 48-49, dec.

WILLIAMSON, J. A.; WALFORD, G. B. (1991). *Prediction and proof of the strength of radiata pine glulam*. International Timber Engineering Conference, pp. 2327-2335.