

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
Departamento de Estruturas

**CÁLCULO E FABRICAÇÃO DE
PEÇAS DE MADEIRA LAMINADA**

DEDALUS - Acervo - EESC



31100036597

Eng.o JULIO RICARDO TORRES ZANDER

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Estruturas

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dra. Helena M. C. Carmo Antunes (EESC-USP)

Dr. Justo Moretti Filho (ESALQ-USP)

Dr. João Cesar Hellmeister - Orientador (EESC-USP)

SÃO CARLOS, junho de 1979

A meus pais, Elsa e Julio,
pelo amor, carinho e compreensão,
dedico esta dissertação.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor João Cesar Hellmeister pela orientação constante manifestada durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos técnicos, auxiliares e colegas do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira da Escola de Engenharia de São Carlos, pelo auxílio prestado na realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisas Tecnológicas pela concessão de Bolsa de Estudo durante seis meses.

À Organização dos Estados Americanos pela concessão de Bolsa de Estudo durante dezoito meses.

À Rosana, Vera e Angela pelos trabalhos de datilografia, e a João Batista Pocha na elaboração dos desenhos.

À Profa. Helena M.C. Carmo Antunes e o Prof. Justo Morretti Filho pela participação na comissão examinadora e contribuição dada a esta dissertação.

O Autor.

RESUMO

O presente estudo visa contribuir para o melhor conhecimento da madeira laminada como material estrutural, apresentando, com base em bibliografia internacional e em ensaios realizados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira da Escola de Engenharia de São Carlos, sugestões para o dimensionamento de peças de madeira laminada e de métodos construtivos.

No primeiro capítulo é feita uma apresentação das possibilidades e limitações da madeira laminada; no segundo, são apresentados os fatores envolvidos na fabricação; no terceiro, são apresentadas considerações relativas ao dimensionamento da madeira laminada assim como alguns exemplos de dimensionamento utilizando Pinho do Paraná; finalmente no quarto capítulo são apresentados resultados e conclusões acerca de ensaios de cisalhamento na colagem de Pinho do Paraná e outras espécies de madeira, de emendas transversais ensaiadas a flexão, de vigas construídas de maneiras diferentes e de peças laminadas comprimidas axialmente.

ABSTRACT

The present study aims to contribute to a better knowledge of laminated wood as a structural material, presenting suggestions of design of laminated wood members and fabrication methods based in international bibliography and experimental research made in the Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira of the Escola de Engenharia de São Carlos.

In the first chapter are presented the advantages and limitations of laminated wood; in the second chapter are presented factors involved in fabrication; in the third chapter are presented considerations relative to the design of laminated wood and are given some examples of design using Pinho do Paraná; and finally, in the fourth chapter are presented results and conclusions of experimentation of shear of glued pieces using Pinho do Paraná and other species, end joints tested in flexion, laminated beams made in different ways and laminated pieces tested in compression parallel to grain.

SUMÁRIO

	PÁGINA
1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - Vantagens da construção de madeira laminada.....	1
1.2 - Fatores envolvidos na produção de madeira laminada.....	2
1.3 - Definições básicas.....	2
1.4 - Forma das peças laminadas.....	3
1.5 - Alguns exemplos de obras fabricadas com madeira laminada.....	7
2 - DESCRIÇÃO E MÉTODOS CONSTRUTIVOS.....	10
2.1 - Madeira.....	10
2.1.1 - Qualidade mínima da madeira.....	10
2.1.2 - Resistência da madeira.....	12
2.1.3 - Espessura das lâminas.....	13
2.1.4 - Teor de umidade.....	13
2.1.5 - Posicionamento das lâminas.....	14
2.1.6 - Tratamento da madeira.....	14
2.1.6.1 - Tratamento após a colagem.....	14
2.1.6.2 - Tratamento antes da colagem.....	15
2.1.6.3 - Tratamento da madeira contra o fogo.....	15
2.2 - Composição das lâminas.....	16
2.2.1 - Composição com pregos.....	17
2.2.2 - Composição com colas.....	18
2.2.2.1 - Adesivos.....	18
2.2.2.1.1 - Cola de caseína.....	18
2.2.2.1.2 - Cola de urea-formol.....	19
2.2.2.1.3 - Cola de resorcina e resorcina-fenol-formol.....	20
2.2.2.1.4 - Escolha do adesivo para diferentes aplicações.....	20
2.2.2.2 - Composição com colas e pregos.....	21
2.2.2.3 - Composição com colas aplicadas sob prensagem.....	22
2.2.2.4 - Composição das vigas.....	27
2.3 - Emendas.....	28
2.3.1 - Emendas transversais.....	28

2.3.1.1 - Emendas de topo.....	29
2.3.1.2 - Emendas em cunha.....	29
2.3.1.2.1 - Emendas em cunha simples.....	29
2.3.1.2.2 - Emendas em cunha encaixada.....	31
2.3.1.3 - Emenda dentada.....	32
2.3.1.3.1 - Resistência mecânica da emenda dentada.....	33
2.3.1.3.2 - Influência da orientação dos dentes...	34
2.3.1.3.3 - Influência da inclinação dos dentes...	34
2.3.1.3.4 - Influência da extremidade do dente...	37
2.3.1.3.5 - Influência da razão-comprimento do dente/largura do dente.....	37
2.3.1.3.6 - Comprimento dos dentes.....	40
2.3.1.4 - Conclusão.....	41
2.3.2 - Emendas laterais.....	41
2.4 - Controle de qualidade.....	42
3 - DIMENSIONAMENTO.....	43
3.1 - Cálculo de esforços de trabalho.....	44
3.1.1 - Esforços básicos.....	44
3.2 - Peças submetidas a flexão.....	44
3.2.1 - Peças laminadas horizontalmente.....	45
3.2.1.1 - Fator de emendas transversais.....	45
3.2.1.1.1 - Emendas transversais, zona comprimida.....	45
3.2.1.1.2 - Emendas transversais, zona tracionada.....	46
3.2.1.2 - Fator de altura e forma da viga.....	48
3.2.1.3 - Fator de curvatura.....	50
3.2.1.4 - Fator dos nós.....	51
3.2.1.5 - Fator de fibras irregulares.....	52
3.2.1.6 - Efeito dos nós no módulo de elasticidade.....	53
3.2.2 - Peças laminadas verticalmente.....	53
3.2.3 - Tensão de cisalhamento.....	54
3.2.4 - Esforços de contato perpendicular às fibras	54
3.3 - Peças comprimidas.....	54
3.3.1 - Emendas transversais.....	55
3.3.2 - Nós.....	56
3.3.3 - Fibra inclinada em coluna.....	58
3.4 - Peças tracionadas.....	59

3.4.1 - Emendas transversais	58
3.4.2 - Defeitos da madeira	58
3.5 - Exemplos	59
3.5.1 - Viga laminada reta para telhado	59
3.5.2 - Viga inclinada de duas águas	66
3.5.3 - Arco laminado circular biarticulado	73
4 - EXPERIMENTAÇÃO	83
4.1 - Resistência ao cisalhamento do Pinho do Paraná colado	83
4.1.1 - Cola usada	83
4.1.2 - Descrição do ensaio	86
4.1.3 - Resultados	87
4.1.4 - Análise estatística e observações	89
4.1.4.1 - Análise dos corpos colados a diversas unidades e densidades	89
4.1.4.2 - Comparação dos corpos colados com prensas e com pregos	122
4.2 - Ensaio de cisalhamento para diversas madeiras	123
4.2.1 - Preparação usual	123
4.2.1.1 - Descrição do ensaio	123
4.2.1.2 - Resultados	124
4.2.1.3 - Observações	125
4.2.2 - Adição de álcool	125
4.2.2.1 - Descrição do ensaio	125
4.2.2.2 - Resultados	126
4.2.2.3 - Análise estatística dos resultados e observações	127
4.3 - Ensaio à flexão de várias composições	130
4.3.1 - Descrição dos ensaios	130
4.3.2 - Descrição das vigas	131
4.3.2.1 - Lâminas pregadas horizontalmente ...	131
4.3.2.1.1 - Vigas sem emendas	133
4.3.2.1.2 - Vigas com emendas	134
4.3.2.2 - Lâminas pregadas verticalmente	135
4.3.2.3 - Lâminas coladas horizontalmente sob pressão de pregos	135
4.3.2.4 - Lâminas coladas verticalmente sob pressão de pregos	136
4.3.2.5 - Lâminas coladas horizontalmente sob pressão de prensas de para- fusos	136
4.3.2.6 - Lâminas coladas verticalmente sob pressão de prensas de parafusos	139

4.3.3 - Resultados	141
4.3.4 - Observações	147
4.4 - Ensaio à flexão de emendas transversais em lâminas externas	148
4.4.1 - Descrição das vistas	149
4.4.2 - Resultados	151
4.4.3 - Análise estatística dos resultados e observações	154
4.5 - Ensaio de emenda de topo em lâminas internas à flexão	157
4.5.1 - Resultados	159
4.5.2 - Observações	160
4.6 - Ensaio de compressão	160
4.6.1 - Descrição dos ensaios	160
4.6.2 - Resultados	161
4.6.3 - Análise estatística dos resultados e observações	163
Bibliografia citada	166

SINBOLOGIA USADA

- A - Área
 b - Largura da viga
 C_y - Coeficiente para encontrar flecha
 d - Diferença das médias das amostras
 df - Altura da fundação
 df' - Grau de liberdade n-1
 E - Módulo de elasticidade
 E_x - Módulo de elasticidade transversal
 f - Flecha
 F - Força admissível por prego
 F_a, F_h - Fatores de altura e forma de peças fletidas
 F_e - Fator de emendas
 F_c - Fator de curvatura
 F_n - Fator de nós
 F_i - Fator de fibra inclinada
 G - Módulo de elasticidade da seção transversal
 h - Altura
 H - Largura total da emenda dentada
 H_x - Esforço horizontal
 I, J - Momento de inércia
 i - Raio de giro
 K - Módulo de mola elástica
 ℓ - Comprimento da peça
 L - Comprimento dos dentes
 M - Momento
 M_r - Módulo da ruptura
 n - Número total de amostras (estatística)
 n - Número de pregos
 N - Tensão admissível de cisalhamento do plano de colagem
 N' - Força normal
 P - Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras
 P' - Largura do dente
 q - Pressão do vento
 q' - Pressão interna da peça laminada
 Q - Resistência ao cisalhamento normal às fibras
 R - Raio de peças curvas
 R_x - Reação vertical

- S - Desvio padrão
- S' - Espaço no fundo do dente
- S_c - Superfície de colagem
- S_t - Seção da lâmina submetida à tração
- S² - Variância
- t - Espessura da lâmina
- t' - Coeficiente de t Student usado para encontrar o intervalo de confiança
- X - Variável
- \bar{X} - Média das amostras
- x - $X_i - \bar{X}$
- W - Carga uniformemente distribuída
- W_R - Módulo de resistência
- v - Grau de enfraquecimento na emenda dentada
- y - Distância da linha neutra à fibra mais solicitada
- α - Ângulo de inclinação da emenda colada
- β - Espessura da extremidade do dente
- β' - $\sqrt{\frac{4K}{4EI}}$
- δ - Diâmetro do prego
- Δ - Deformação
- γ - Constantes
- λ - Índice de esbeltez l/i
- $\bar{\sigma}_c$ - Tensão admissível de compressão
- σ_c - Tensão de ruptura ou atuante de compressão
- $\bar{\sigma}_f$ - Tensão admissível de flexão
- σ_f - Tensão de ruptura ou atuante de flexão
- $\bar{\sigma}_t$ - Tensão admissível de tração
- σ_t - Tensão de ruptura ou atuante de tração
- $\bar{\tau}$ - Tensão admissível de cisalhamento
- τ - Tensão de ruptura ou atuante de cisalhamento
- $\bar{\sigma}_n$ - Tensão admissível de compressão normal
- σ_n - Tensão de ruptura ou atuante de compressão normal

1 - INTRODUÇÃO

A madeira ocupou sempre um lugar importante na construção, devido a seu fácil emprego. Entretanto, o uso da madeira sólida encontra limitações devido às dimensões, havendo necessidade da composição de peças grandes a partir de pedaços menores de madeira.

A composição de peças laminadas pode ser feita com pregos, parafusos, anéis ou cola, sendo a última a mais empregada atualmente. A patente do sistema estrutural de madeira laminada colada foi concedida ao alemão Otto Hetzer, o que explica a adoção, em alguns lugares, do termo "Sistema Hetzer" (5) para denominar este tipo de sistema.

O "Sistema Hetzer" teve início na Alemanha, e a Suíça foi um dos primeiros países a usá-lo, no ano de 1905. Apesar disto, os países que desenvolveram as maiores indústrias de madeira laminada são os Estados Unidos e o Canadá, que concedem ao sistema de madeira laminada colada ênfase especial no "Timber Construction Manual" da A.I.T.C. (1), assim como na literatura sobre estruturas modernas de madeira em geral.

1.1 - Vantagens da Construção de Madeira Laminada

Existem muitas vantagens no uso da madeira laminada colada comparada com a construção com madeira sólida. Entre as vantagens temos:

a) A facilidade de construir grandes estruturas a partir de bitolas comerciais. Foram fabricados arcos de 64m em Everett, Washington - E.U.A., cúpulas de 92m em Bozeman, Montana E.U.A., e vigas com 20m de vão livre em San José, Califórnia - E.U.A. (22).

b) Possibilidade de se conseguir excelentes efeitos arquitetônicos, sendo praticamente possível a criação de qualquer forma com a madeira laminada.

c) Redução de rachaduras e outros defeitos típicos de peças de grandes dimensões.

d) Em obras de uso interno, a possibilidade de projetar com base na resistência da madeira seca, já que as lâminas são previamente secadas produzindo uma peça com teor de umidade uniforme, o que não acontece em peças sólidas, que possuem um teor de umidade maior nas zonas internas.

e) Possibilidade de construir peças de seção transversal variável. Esta variação pode ser realizada segundo os esforços.

f) Utilização de material de inferior qualidade em áreas de menores esforços, sem afetar a integridade estrutural da peça.

1.2. - Fatores Envolvidos na Produção de Madeira Laminada

Existem certos fatores envolvidos na produção da madeira laminada, que não aparecem na construção convencional São eles:

a) Preparação prévia da madeira a ser colada (corte e aparelhagem). O processo da laminação apresenta maior custo do que os sistemas convencionais.

b) A fabricação de madeira laminada necessita maior controle de qualidade, para reduzir a possibilidade de erros.

c) Devido ao fato da fabricação de madeira laminada ser executada fora do canteiro de obras, as dimensões das peças ficam limitadas pelos meios de transporte.

1.3 - Definições Básicas

Uma peça laminada é aquela em que duas ou mais lâminas foram ligadas com o propósito de obter uma peça única.

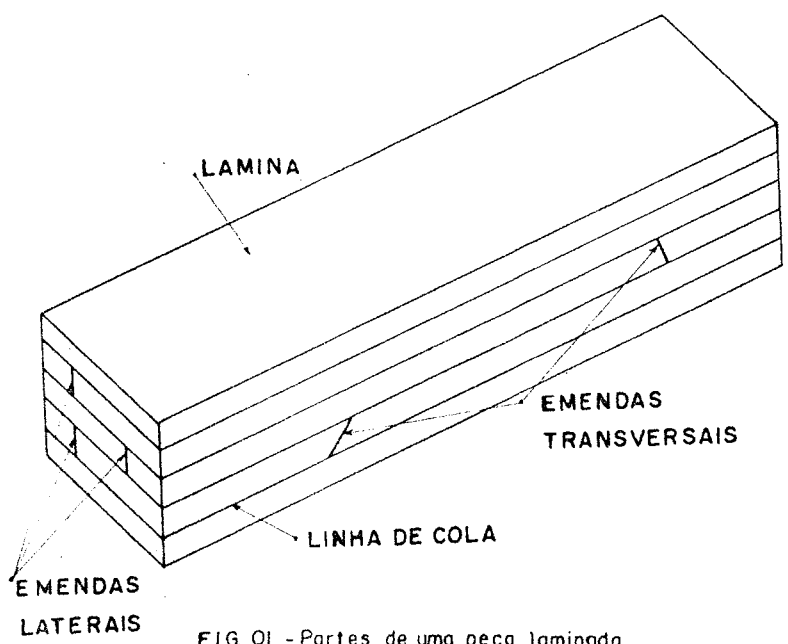


FIG. 01 - Partes de uma peça laminada

Elementos constituintes de uma peça laminada:

a) Lâminas de madeira - apresentam a espessura variando de acordo com o tipo de peça. Para peças retas, a espessura pode alcançar 50mm, já para peças curvas, a espessura vai depender do raio de curvatura.

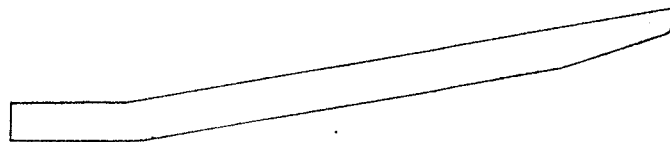
b) Linha de cola - podem ser utilizadas colas e/ou pregos para elaboração de peças laminadas. As colas mais utilizadas são as à base de caseína, urea, formol e resorcina.

c) Emendas laterais - podem ser de topo ou encaixadas e são utilizadas para se conseguir uma largura superior à largura das peças disponíveis.

d) Emendas transversais - utilizadas para obtenção do comprimento necessário. Podem ser de topo, em cunha ("Scarf Joint") ou dentadas ("Finger Joint").

1.4 - Forma das Peças Laminadas

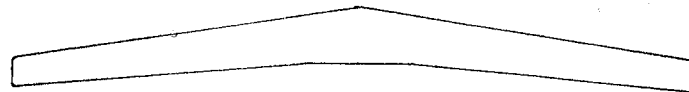
A construção de peças laminadas pode ser feita de diversas formas. As peças podem ser retas, curvas ou uma combinação dos dois tipos. O Manual da A.I.T.C. e o "Timber Structures" (22) apresentam alguns exemplos de estruturas que podem ser feitas com madeira laminada.

VIGAS PARA TELHADOS

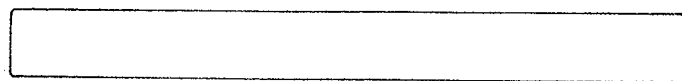
VIGA EM FORMA DE ASA



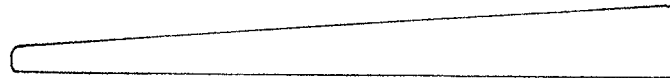
VIGA INCLINADA PARA DUAS AGUAS



VIGA INCLINADA PARA DUAS AGUAS COM CONTRAFLECHA



VIGA RETA



VIGA INCLINADA PARA UMA AGUA

ARCOS

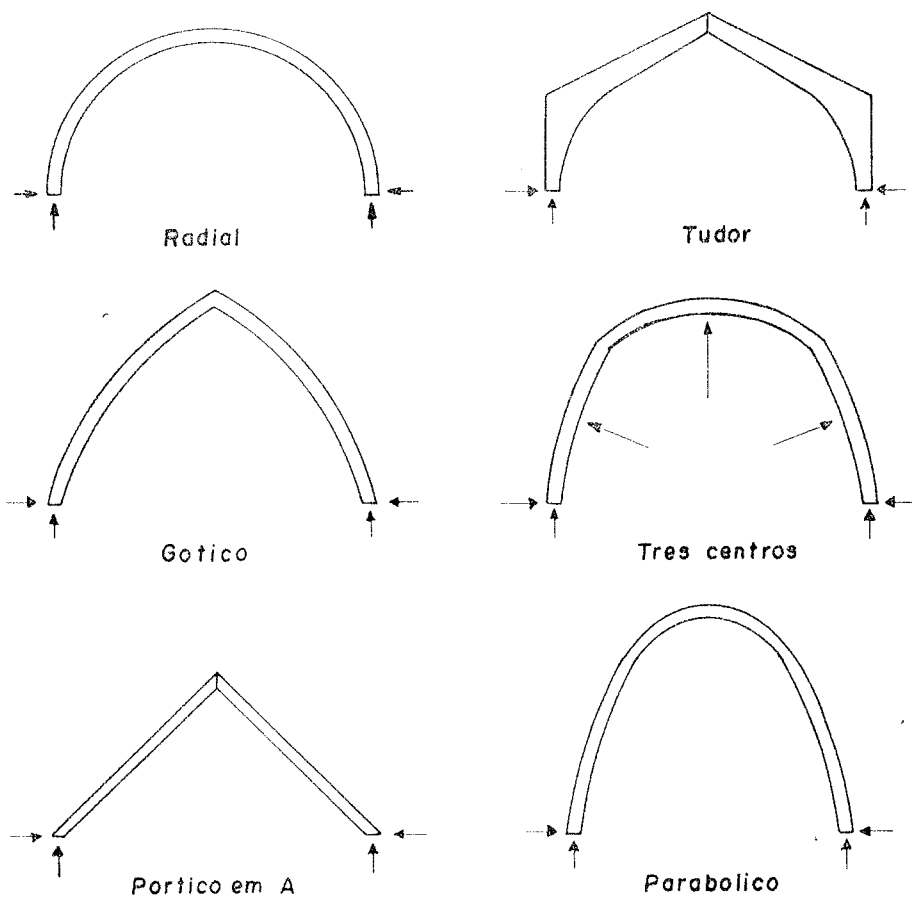
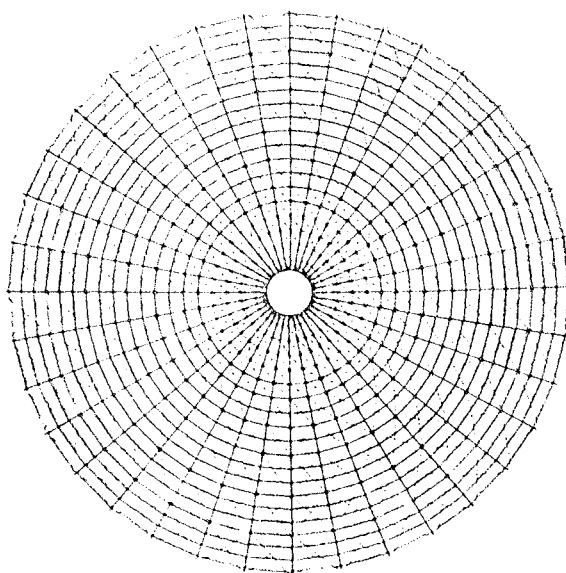


FIG.03 - Diferentes tipos de arcos laminados.

CÚPULA RADIAL



CÚPULAS TRIANGULARES

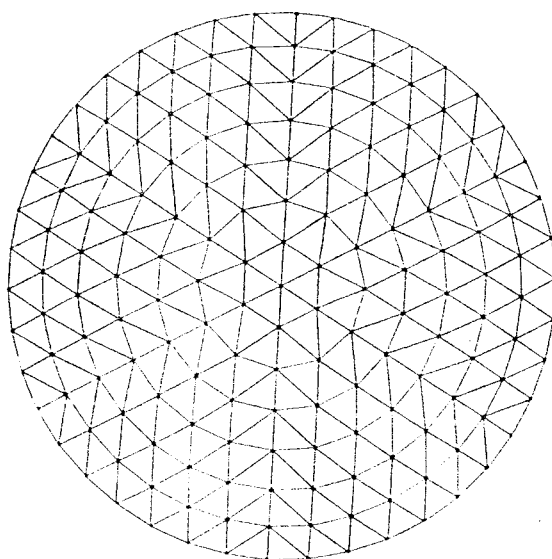
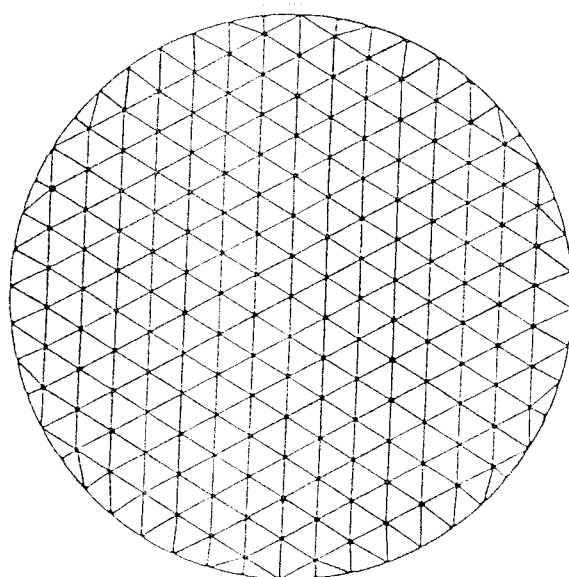


FIG.05 - Dois tipos de cúpulas triangulares

1.5 - Alguns exemplos de obras fabricadas com madeira laminada

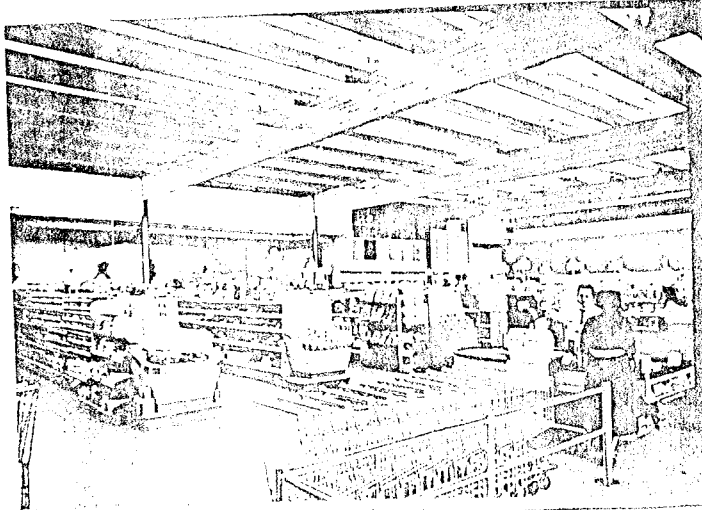


FOTO Nº 1 - Vigas Laminadas
Super mercado em San José, Califórnia, 35m de vão.

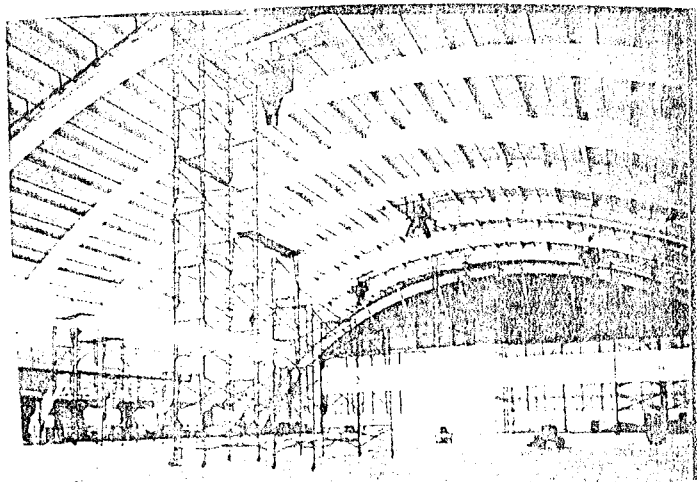


FOTO Nº 2 - Arcos de Madeira Laminada.
Hangar para aviões em Everett, Washington, 64m de vão.



FOTO Nº 3 - Arco para Ponte nos Estados Unidos.

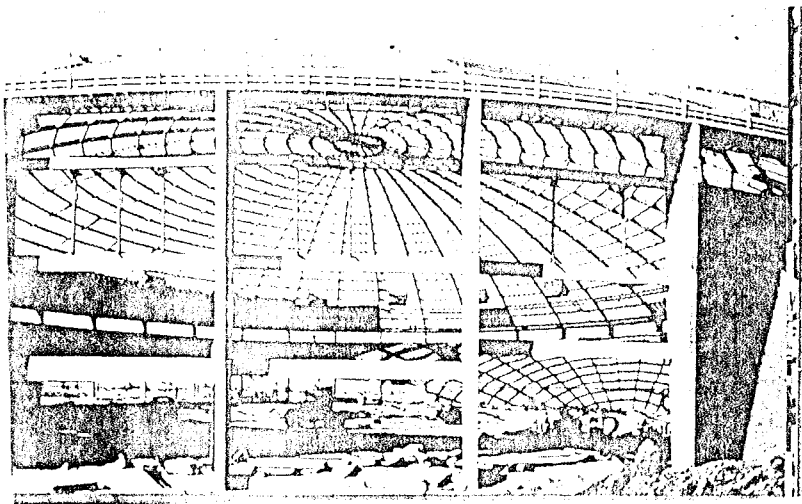


FOTO Nº 4 - Cúpula Radial em Bozeman, Montana com 92m de Diâmetro.

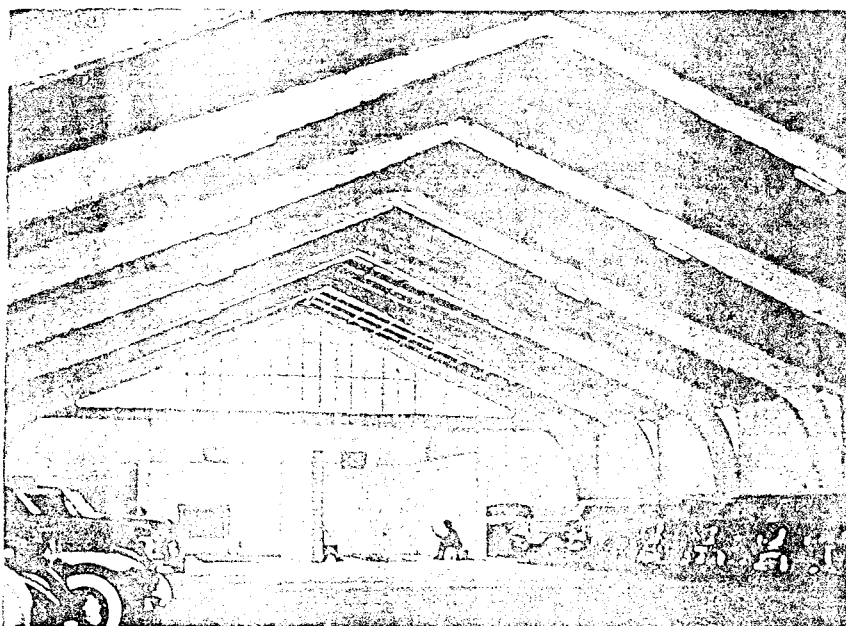


FOTO Nº 5 - Garagem construída em São Paulo em 1955, com pórticos triarticulados de Pinho do Paraná laminado e colado. Vão 22m com espaçamento de 4m entre pórticos e 8,5m de altura do fecho.

2 - DESCRIÇÃO E MÉTODOS CONSTRUTIVOS

Neste capítulo, pretende-se dar uma descrição detalhada das partes componentes de uma peça laminada (madeira a usar, adesivos, pregos e emendas), assim como fórmulas para calcular emendas que garantam uma ligação tão resistente quanto a madeira usada.

A fabricação de uma peça laminada pode ser esquematizada da seguinte maneira:

- escolha da madeira
- corte das lâminas na espessura desejada
- distribuição das lâminas
- escolha das emendas a usar
- fabricação das emendas
- preparação das prensas ou escolha dos pregos a usar
- aplicação do adesivo
- aplicação de pressão
- controle de qualidade do produto laminado

2.1 - Madeira

2.1.1 - Qualidade Mínima da Madeira

Existem vários critérios para avaliar a qualidade da madeira a ser usada. Chugg (5) dá uma série de recomendações sobre os defeitos admissíveis e não admissíveis em produtos de madeira laminada.

- Fendas e Rachaduras: São permitidos defeitos paralelos à face da tábua até uma profundidade de 1/4 da espessura. Rachaduras completas paralelas à tábua são permitidas até aproximadamente 1/4 do comprimento da tábua.

- Empenamento: Torceduras ou empenamento em arco de até 1,3cm a cada 30cm são permitidas.

- Curvatura lateral: 0,7cm a cada 30cm é permitida.

- Furos: Furos pequenos e rasos são permitidos quando ocasionais.

- Manchas: Manchas são permitidas.

- Apodrecimento: Não é permitido.

- Concavidade: Concavidade máxima permitida (Ver fi

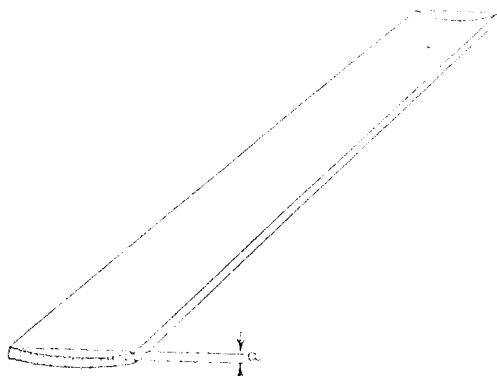


FIG.06 - Concavidade de uma tábua.

Largura \ Espessura	4 Pol ou menos	6 Pol	8 Pol ou mais
1 Pol	1/32	1/16	1/8
2 Pol	nenhuma	1/32	1/16

Os valores de "a" estão em polegadas.

- Nós: Nós sólidos e apertados, frouxos ou furos de nós são permitidos em qualquer lugar da peça sempre que as dimensões determinadas não ultrapassem a permitida de acordo com a largura da peça.

<u>Largura da peça em Pol</u>	<u>Nós em Pol</u>
4	1 5/8
6	2 5/8
8	3 1/2
10	4 1/2
12	5 1/2

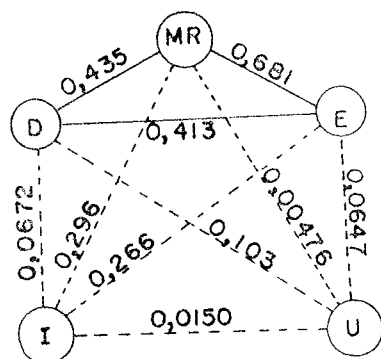
As dimensões dos nós são determinadas colocando os nós entre duas linhas paralelas aos extremos da largura da tábua. Se dois ou mais nós são parcial ou completamente compreendidos pelas mesmas duas linhas e separados por menos de 8 Pol, a largura efetiva dos nós é considerada como sendo a distância entre as duas linhas paralelas que os compreendem. Dois ou mais dos maiores nós permitidos podem aparecer numa tábua sempre que a distância entre a medida do centro seja igual ou maior que a largura da tábua.

Se dois ou mais nós estiverem localizados na mesma seção transversal da peça, a combinação de suas dimensões deve ser menor que a medida do nó máximo permitido.

- Inclinação das fibras: Máxima permitida 1:8

2.1.2 - Resistência da Madeira

Há vários métodos de estimar a resistência da madeira: Visual, através da densidade e do módulo de elasticidade. A Norma Brasileira adota coeficientes de segurança e sugere o uso do mesmo valor para toda a madeira de uma determinada espécie, enquanto a Norma Americana dá uma classificação visual para estimar a resistência de uma determinada peça (ASTM D - 245), (2). Senft (18), da Universidade de Purdue, sugere uma classificação das peças por meio da densidade e do módulo de elasticidade e chega ao seguinte diagrama de correlação das propriedades da madeira.



Onde:

M_r - Módulo de Ruptura

D - Densidade

E - Módulo de Elasticidade

I - Inclinação das fibras

U - Umidade

FIG. 7 - Diagrama de correlação das propriedades da madeira.

O diagrama mostra uma correlação positiva entre variáveis (linhas contínuas) e correlação negativa (linhas tracejadas).

Orosz (11) fez um estudo para prever a resistência da madeira por métodos não destrutivos. Os parâmetros estudados tomam o módulo de ruptura de pequenos corpos de prova, densidade, módulo de elasticidade e razão da resistência estimada (método visual). Orosz conclui que a melhor maneira de prever a resistência de uma peça é pela fórmula:

$$SMOR = \gamma_0 + \gamma_1 (ESR) + \gamma_2 (MOE)$$

Onde: SMOR - Resistência da peça
 ESR - Resistência estimada visualmente
 MOE - Módulo da Elasticidade
 γ_i - Constantes

2.1.3 - Espessura das Lâminas

Segundo Ozelton (12) as lâminas de peças laminadas variam entre 38 e 50mm para peças retas. A A.I.T.C. (2) recomenda o uso de lâminas de 19 e 38mm, Chugg (5) recomenda usar como máximas, espessuras de 50mm devido ao problema de secagem de lâminas de maior espessura. Este problema consiste no possível aparecimento de rachaduras nas peças de maior seção.

O referido acima aplica-se somente a vigas retas de madeira, porquanto para vigas tipo arco a espessura das lâminas é determinada de acordo com o raio de curvatura da viga.

Freas e Selbo (6) consideram que uma lâmina pode ser dobrada a um raio de 40 a 60 vezes sua espessura sem romper a lâmina, variando isto com a espécie (Dicotiledôneas podem ser dobradas mais que as coníferas). No caso de haver nós ou outros defeitos, a curvatura deve ser menor. Também no caso de precisar de peças de alta resistência, deve-se observar maior cuidado na curvatura.

2.1.4 - Teor de Umidade

As lâminas devem ter um teor de umidade tal que possibilite uma linha de cola resistente, e que este teor de umidade, somado à quantidade de água contida na cola, provoque um teor de umidade de equilíbrio aproximadamente igual àquele que a viga estará sujeita, por ocasião do seu uso final (5, 19).

Quando se aplica o adesivo nas lâminas, a umidade destas aumenta. Este incremento de umidade depende da espessura das lâminas, do tipo do adesivo, da espécie de madeira utilizada e da quantidade de adesivo aplicado (5, 19).

Em termos gerais, sem levar em consideração as especificações, considera-se satisfatório para fins estruturais um teor de umidade da madeira em torno de 10 a 15%.

2.1.5 - Posicionamento das lâminas

As lâminas devem ser colocadas de acordo com sua resistência, nas áreas mais solicitadas. Nas faces externas de uma viga, por exemplo, sobretudo nas lâminas tracionadas, deve-se utilizar a melhor madeira e, além disso, deve-se utilizar o melhor tipo de emendas transversais.

Devido à taxa de retração e inchamento no sentido radial serem diferentes ao tangencial, é recomendado não dispor lâminas juntas orientadas em sentido tangencial e radial dentro de uma mesma viga. Por esta mesma razão não é recomendável o uso de diferentes taxas de retração e inchamento. A espécie mais resistente causa danos à mais fraca, reduzindo a resistência da viga, embora nenhum dano na linha de cola seja observado. Duas espécies podem ser utilizadas se o coeficiente de retração não variar mais que 25% entre elas (5).

2.1.6 - Tratamento da Madeira

O tratamento da madeira laminada tem por objetivo preservar a madeira contra agentes destruidores, como fungos apodrecedores e insetos e para ser protegida contra o fogo.

Os preservativos pertencem a dois grupos (4): os oleosos e os hidro-solúveis ou salinos.

O grupo dos oleosos é constituído por certos destilados, de origem mineral e suas misturas são o creosoto, o alcatrão, o antracênio, as misturas de alcatrão com petróleo e o penta-clorofenol.

O grupo dos salinos abrange compostos minerais, orgânicos e suas misturas. Os preservativos salinos comerciais são à base de fluoreto de sódio, anidrido arsênico, tetraborato de sódio, ácido bórico, arseniato de cobre, sulfato de cobre, cloreto de mercúrio e outros.

2.1.6.1 - Tratamento após a colagem

Como regra geral é preferível o tratamento antes da colagem, (5) devido à possibilidade de tratar toda a madeira. Contudo, a madeira também pode ser tratada satisfatoriamente após a colagem, segundo informação de um fabricante de madeira laminada em São Paulo. Este método é mais econômico,

tanto na quantidade de preservativo a ser utilizada quanto na mão-de-obra.

Quando é empregado este tipo de tratamento, é importante que já tenham sido feitos furos para ligações ou qualquer tipo de encaixe, evitando a exposição à intempérie de partes não tratadas. Se o tratamento for feito em autoclave existem limitações quanto à dimensão e forma da peça a ser tratada.

Alguns autores se opõem a este tipo de tratamento devido a um possível aparecimento de rachaduras penetrando na área tratada, podendo dar início a um processo de apodrecimento (5, 16).

2.1.6.2 - Tratamento antes da colagem

Este tipo de tratamento é usado quando a madeira laminada é exposta a severas condições ambientais, necessitando ser tratada em autoclave ou quando as dimensões ou forma da peça não permitem o tratamento em autoclave após a colagem.

Este método é mais caro que o anterior, e apresenta o problema de que a cola usada pode não ser compatível com o preservativo e causar uma colagem deficiente (1). Devido a isto, quando for utilizado, deve-se verificar com o fabricante da cola e do preservativo a compatibilidade destes, ou realizar ensaios de cisalhamento, semelhantes aos realizados pelo autor na experimentação.

2.1.6.3 - Tratamento da madeira contra o fogo

A madeira maciça em pequenas dimensões é vulnerável ao fogo, mas a laminada, de grandes dimensões, é mais resistente (5). A madeira queima vagarosamente (uma velocidade de 1/40 Pol/min) e o carvão produzido protege as camadas interiores. A condutividade térmica é baixa e o colapso estrutural e flambagem são satisfatórios comparado com o aço, que se expande, torce e perde resistência com o calor (5).



FOTO Nº 6 - Viga Laminada após um incêndio, note que perfis de aço entraram em colapso (5).

As composições usadas para retardar a combustão da madeira são hidrosolúveis aplicadas pelos mesmos processos de tratamento utilizados para os preservativos salinos. Em soluções aquosas e em pastas, estes preservativos podem ser associados a sais tóxicos com efeito inseticida e fungicida para obter, no mesmo tratamento, dupla proteção. As composições comerciais empregam tetraborato de sódio, ácido bórico, mono e bifosfato de amônia, cloreto de zinco, silicato de sódio e fluorsilicatos (4).

2.2 - Composição das Lâminas

A madeira laminada normalmente é colada sob pressão. Nas peças fletidas (retas ou curvas), as lâminas são coladas na posição horizontal, como pode ser verificado na maior parte da literatura sobre madeira laminada. Contudo, as lâminas podem ser pregadas ou unidas por anéis ou pela combinação de cola e pregos. Em peças retas submetidas à flexão, as lâminas podem também ser coladas na posição vertical.

2.2.1 - Composição com pregos

Este tipo de composição não foi encontrado na literatura pesquisada pelo autor. Contudo, foi estudada a viabilidade de de composição de madeira laminada por este método. O prego escolhido na laminação deve ser suficientemente fino para não rachar a madeira sem no entanto dobrar-se quando nela é batido. Para calcular o número de pregos, pode-se igualar a resistência ao cisalhamento da madeira usada com a resistência ao cisalhamento dos pregos. Mediante a fórmula do artigo nº 68 da NB-11 1951, temos:

$$F = Kd^{3/2}$$

Sendo d o diâmetro do prego

$K = 4,5$ para madeiras de densidade $< 0,65$

$K = 7,5$ para madeiras de densidade $> 0,65$

Tomando F como a resistência ao cisalhamento por pregos podemos calcular o número deles pela fórmula:

$$\tau A = n F$$

Onde τ = tensão admissível de cisalhamento da madeira

A = área em que se calcula o número de pregos

n = número de pregos

F = resistência ao cisalhamento por prego

Usando este critério, o autor experimentou vigas laminadas na posição vertical e horizontal assim como corpos de prova comprimidos. Os corpos de prova foram fabricados tentando obter uma resistência ao cisalhamento da ligação igual ao da madeira maciça e, como pode ser observado na experimentação, é necessário um número muito elevado de pregos. Os resultados do módulo de elasticidade e resistência à ruptura foram menores que para outros tipos de composição mais aceitáveis. No entanto, é possível usar este tipo de composição usando um maior coeficiente de segurança.

Em resumo, pode-se dizer que este tipo de composição deve ser utilizado somente no caso de não haver disponibilidade de adesivos ou outros meios de composição.

2.2.2 - Composição com colas

2.2.2.1 - Adesivos

Antes do desenvolvimento de resinas sintéticas para ligar madeiras, utilizava-se cola animal, vegetal e caseína de leite (10). Atualmente um número crescente de cola ã base de re sina sintética é disponível, seu uso melhora os produtos de madeira laminada colada, sobretudo porque são ã prova d'ãgua, o que permite seu uso em compensados para uso externo, madeira la minada, pontes, barcos e outras peças expostas ãs intempéries.

Existe um grande número de colas sintéticas com diferentes fórmulas comerciais. As de maior uso são de Ureaformal de ido, fenol formaldeído, melaninas e colas de resorcinol, sobretudo combinação de fenol resorcinol (14) que é muito usada no laminado. Também são encontradas resinas de emulsificação de vinil e resinas especiais para a colagem da madeira a metal e outros materiais.

Hã dois tipos de colas: colas curadas a calor e resinas termoplásticas. As colas curadas a calor, não amolecem com o aumento de temperatura, as colas de vinil-éster (termoplásticas) são aquecidas até tornarem-se líquidas e logo esfriadas sob pressão, mas se há aquecimento posterior, isto enfraquece a cola, não sendo muito recomendável.

As colas curadas a calor podem ser classificadas de acordo com a temperatura de cura.

Cura quente - temperaturas maiores a 99°C

Cura intermediária - entre temperatura ambiente (de 18°C a 26°C) e 99°C.

Cura a temperatura ambiente - 18°C a 26°C

Cura a frio - Abaixo de 18°C até 0°C

Deve-se levar em consideração que as colas podem ter a cura em diferentes temperaturas, em diferentes espécies de ma deira. Então, uma cola pode mudar de classificação segundo a es pécie. São analisadas a seguir as propriedades de algumas das colas usadas na madeira laminada:

2.2.2.1.1 - Cola de Caseína (14)

- Derivada da proteína do leite.

- Durabilidade - cola para uso em interiores devido ã

sua limitada resistência à umidade e microrganismos. Pode ser melhorada mediante produtos de preservação. A umidade não deve ultrapassar 18%, nem pode a temperatura ser maior que 66°C, num produto colado com caseína.

- Apresentação - pó branco que deve ser misturado à água, ou caseína bruta que deve ser misturada com água e outros produtos químicos.

- Tempo de armazenamento a 20°C - 12 meses.

- Vida do adesivo preparado a 20°C - 7 horas.

- Período até a prensagem - 30 a 40 minutos.

- Temperatura de endurecimento - temperatura ambiente.

- Endurecimento - por evaporação da água, acompanhada de reações químicas.

- Pressão de cola - de 3,5 a 7Kg/cm² para coníferas e até 17Kg/cm² para dicotiledôneas.

- Quantidade a utilizar - 350 a 500g/m, nas duas faces.

- Período de estabilização a 20°C - 24 a 48 horas.

2.2.2.1.2 - Cola de Urea-formol (14)

Cola sintética muito usada em produtos de madeira laminada, em interiores não expostos a altas temperaturas.

- Durabilidade - resistente à umidade, pode resistir à água fria durante um período limitado, incorporando melânica ou resorcina. Sensível ao calor seco.

- Apresentação - na forma de xarope, com endurecedor líquido ou em pó. Na forma de pó deve ser misturada com água.

- Tempo de armazenagem - 3 a 6 meses para os xaropes, 1 a 2 anos para o pó.

- Vida do adesivo preparado - Até 48 horas, dependendo da formação.

- Temperatura de endurecimento - temperatura ambiente, mínimo 10°C.

- Pressão da cola - 7Kg/cm² para coníferas, 11Kg/cm² para dicotiledôneas.

- Endurecimento - por policondensação.

- Quantidade a utilizar - 350g a 600g/m² em ambas faces.

- Período de Estabilização a 20°C - em princípio 7 dias. O tempo pode diminuir se a temperatura é superior a 20°C.

2.2.2.1.3 - Cola de Resorcina e resorcina - fenol - formol (14)

Cola sintética usada para colar madeiras expostas à intempéries, muito usada em madeira laminada colada.

- Durabilidade - resistente às intempéries e a água quente.

- Apresentação - resina de cola, chocolate na forma líquida com endurecedor em pó. O endurecedor pode também ser na forma de um líquido marrom viscoso.

- Tempo de armazenagem - para resina, de até 12 meses, endurecedor em pó, indefinido, e para endurecedor líquido 12 meses.

- Vida do adesivo preparado - de 3 a 9 horas.

- Período até a prensagem - 45 minutos até 2 horas.

- Temperatura do endurecimento - 20°C a 100°C.

- Pressão da cola - 7Kg/cm² para coníferas, 10Kg/cm² para dicotiledôneas. e 16 horas de pressão pelo menos para madeira laminada colada.

- Endurecimento - por policondensação.

- Quantidade a utilizar - 350 a 500g/m² em ambas faces.

- Período de Estabilização a 20°C - de 6 a 9 dias. Se a polimerização foi realizada a quente (mais de 60°C) é necessário deixar esfriar as peças após a prensagem.

2.2.2.1.4 - Escolha do adesivo para diferentes aplicações

O "Timber Designer's Manual" de Ozelton e Baird (12) apresenta recomendações de como escolher o adesivo e classifica o tipo de exposição da peça em cinco categorias:

1) Intempérie exterior, alto perigo - Nesta categoria entram estruturas marítimas e exteriores em geral onde a cola está exposta à intempéries. Recomenda-se o uso de adesivos de resorcina formaldeído e fenol formaldeído, (que são as melhores).

2) Intempérie exterior, pouco perigo - Nesta categoria entram vigas de galpões e estruturas abertas. Recomenda-se o uso de adesivos de resorcina, fenol ou melanina urea-formaldeído.

3) Intempérie interior, alto perigo - Nesta categoria entram estruturas internas onde a umidade pode ultrapassar

18% na madeira e a temperatura pode exceder 50°C, como por exemplo, em lavanderias e telhados. Recomenda-se o uso de adesivos iguais aos da segunda categoria.

4) Intempérie interior, pouco perigo - Nesta categoria estão estruturas onde a umidade não ultrapassa 18% na madeira e a temperatura não excede 50°C, como por exemplo, no interior de casas e edifícios. Pode-se usar qualquer tipo de adesivo, como a resorcina-fenol, melanina urea-formaldeído, urea-formaldeído ou caseína.

5) Especial - Nesta categoria estão estruturas para indústrias químicas, fábricas de baterias e estruturas para piscinas internas. Recomenda-se o mesmo tipo de adesivo usado na categoria 1.

2.2.2.2 - Composição de colas com pregos

Ozelton e Baird (12) mencionam no "Timber Desiner's Manual", a colagem sob pressão de pregos. O requisito para a maioria das colas utilizadas é que as superfícies devem estar em íntimo contato durante a cura, para isto, deve haver uma pressão que será notada quando a cola espirra fora da junta. Na prática, a pressão é aplicada exceto nas emendas dentadas "Finger Joints". A pressão na linha de cola é raramente medida. Quando são usados pregos para aplicar a pressão esta não pode ser medida, mas, quando a pressão é aplicada com parafusos apertados pode ser medida com um Torquímetro.

Os pregos são deixados no lugar depois da cura, ainda que não se considere que estes resistam aos esforços quando a peça é solicitada. Considerando-se que os esforços são resistidos apenas pela cola, exceto nas emendas das dentadas "Finger Joints", nas quais Ozelton considera como resistentes também os pregos.

Dos resultados obtidos na experimentação de madeira laminada colada sob pressão de pregos, pode-se observar que os resultados deste tipo de composição são favoráveis tanto ao módulo de elasticidade quanto a resistência ao cisalhamento, momento fletor e compressão, sendo o ponto desfavorável deste tipo de composição a beleza e trabalhabilidade da peça (corte, aparelhagem) devido a presença de pregos.

2.2.2.3 - Composição de colas aplicadas sob prensagem

A fabricação de madeira laminada colada sob prensagem é um método de construção de estruturas muito divulgado na América do Norte e na Europa e, em menor escala, na América Latina e no Brasil.

Este método é empregado para a fabricação de grandes estruturas de madeira, e recebe especial atenção pela literatura moderna de construção com madeira.

A pressão aplicada deve ser entre 7Kg/cm^2 e 14Kg/cm^2 segundo recomendado pelo Forest Products Laboratory, de Madison Wisconsin (20). Para espécies coníferas, estas recomendações tem o fim de obter uma pressão mínima para a colagem, e evitar estragos na madeira sob altas pressões.

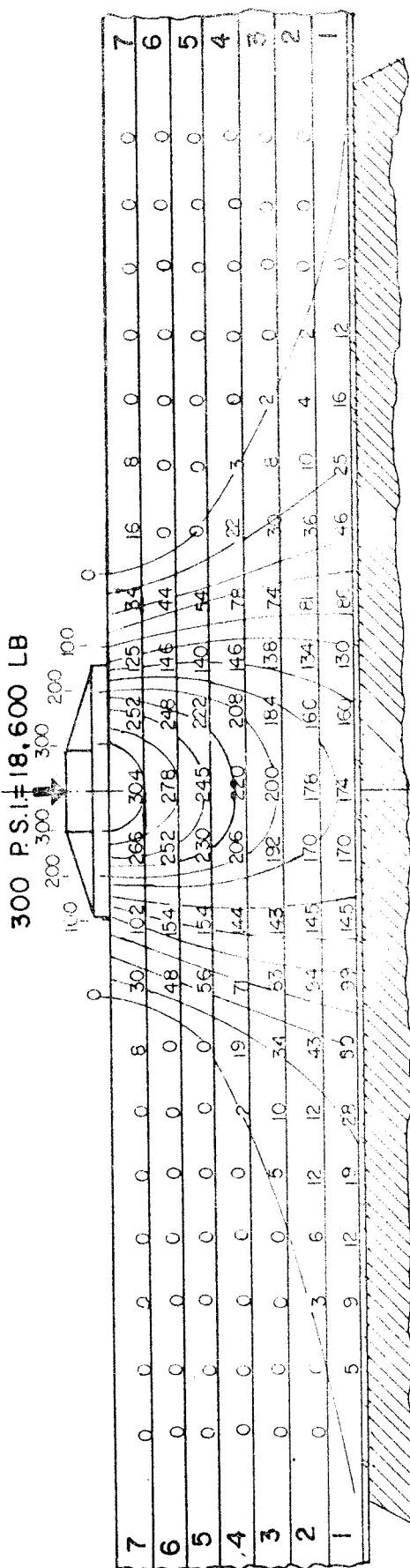
Um método para calcular as pressões internas das peças de madeira laminada, foi desenvolvido por Gary Dale Smith como Tese de Mestrado, na Universidade de Wisconsin (20). Ele desenvolveu fórmulas a serem usadas a partir da teoria da Fundação Elástica, supondo que o ponto em que a pressão é investigada, estará entre uma "viga" acima e uma "fundação" que suporta a viga.

Desenvolvendo a teoria elástica, Smith chega a um método de cálculo para as pressões internas nas peças laminadas. Por outro lado, realizou experimentação impondo cargas às vigas laminadas e lendo em células de cargas as pressões internas da viga. Obteve valores bastante coerentes entre a experimentação e a teoria desenvolvida. (ver figura 8).

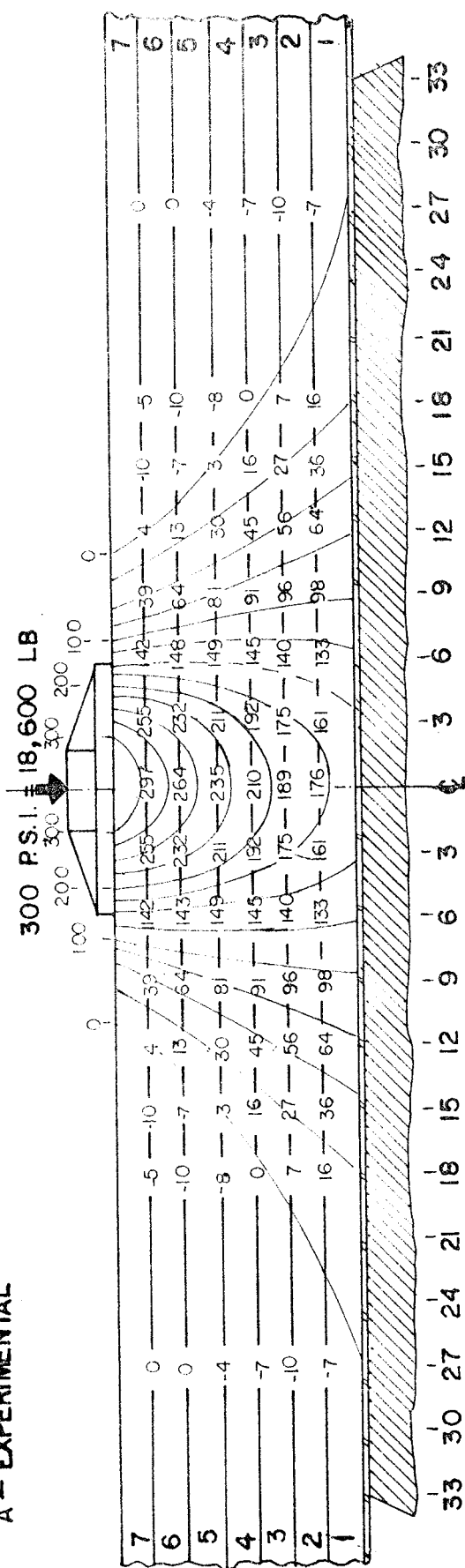
Aplicação da Teoria: a placa de pressão distribua carga num comprimento finito. É aplicada a teoria desenvolvida para uma carga uniformemente distribuída usando a Lei da Superposição quando há várias placas de pressão. Pode-se observar na figura (8) as diferentes pressões na viga experimentada por Smith. Sob a placa, a pressão diminui com a profundidade da viga; nas laterais, o fenômeno se inverte. Desse modo, Smith chegou a duas fórmulas para o cálculo de pressões:

$$q' = \frac{W}{2b} (2 - D\beta m - D\beta n)$$

A ser usada sob a placa de pressão



A - EXPERIMENTAL



B - TEORICO

FIG. 8 - Comparação de pressões internas.

$$e \cdot q' = \frac{W}{2b} \quad (D\beta m - D\beta n)$$

A ser usada fora das placas de pressão

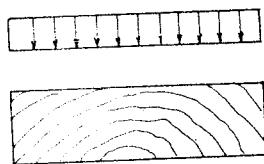
Onde: q' = pressão investigada
 w = carga/comprimento da placa
 b = largura da placa e da peça

$$D\beta x = e^{-\beta x} \quad (\text{Cos } \beta x)$$

O módulo de mola elástica K é determinado pela divisão do módulo de elasticidade perpendicular à face maior da lâmina, E_x , pela profundidade da fundação, df , multiplicando pela largura da viga, b .

$$K = \left(\frac{E_x}{df} \right) b$$

A laminação é carregada perpendicularmente na direção radial ou tangencial.



O módulo de elasticidade radial é 10% do módulo de elasticidade na compressão paralela. O valor da compressão tangencial é de 5% da compressão paralela. Smith achou, mediante experimentação, que o valor a ser usado está entre o tangencial e o radial e é de 7,2%.

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}}$$

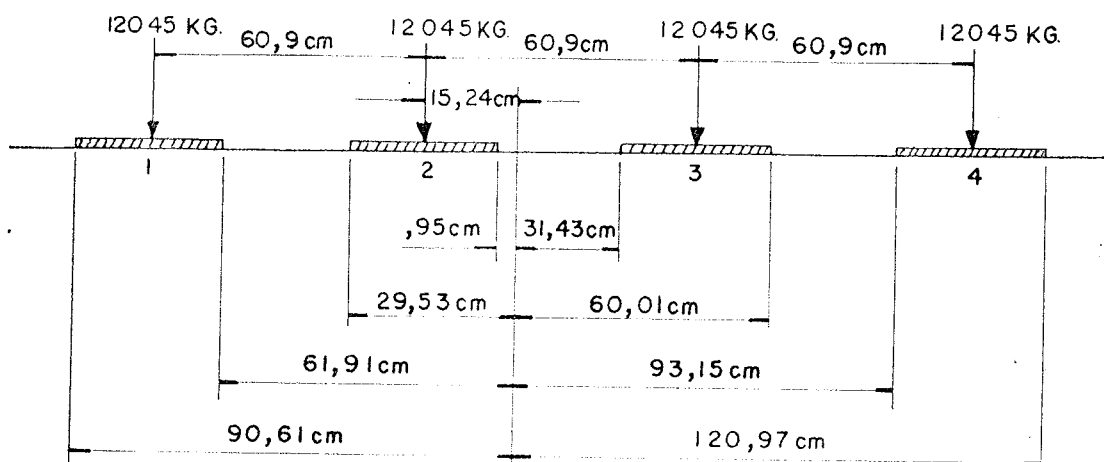
O valor de E na fórmula de β , é o módulo de elasticidade paralelo às fibras da madeira usada; I é o momento de inércia da "viga", ou seja, da parte superior do ponto investigado. Como no momento em que a pressão é aplicada na cola, as peças da "viga" ainda não são um corpo sólido nem são peças completamente separadas, temos que o valor de I se encontra entre estes dois casos:

$$I = \frac{b}{12} (t_1 + t_2 + t_3 \dots)^3$$

$$I = \frac{b}{12} (t_1^3 + t_2^3 + t_3^3 \dots)$$

O valor de I efetivo está entre estas duas fórmulas (mais perto da primeira), podendo-se usar a primeira como a aproximação.

Exemplo - Determine a pressão na interface 6-7 (fig 8) para uma seção a 15,24cm do centro de uma placa de pressão, com placas espaçadas a 60,9cm com um carregamento de 12045Kg. (Ver figura 8).



$$K = \frac{E_x}{d_f} b$$

$$\begin{aligned} E_x &= 0,072 E \\ &= 0,072 (13909 \text{ Kg/cm}^2) \\ &= 9425 \text{ Kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$d_f = 24,06 \text{ cm}$$

$$K = 5472 \text{ Kg/cm}^2$$

$$I = 80,75 \text{ cm}^4$$

$$E = 13909 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\beta' = \sqrt[4]{\frac{K}{4EI}}$$

$$\beta' = 0,27$$

$$q' = \frac{w}{2b} (D\beta m_1 - D\beta n_1) + (D\beta m_2 - D\beta n_2) + \\ + (D\beta m_3 - D\beta n_3) + (D\beta m_4 - D\beta n_4)$$

$$w = \frac{12045 \text{ Kg}}{28,575 \text{ cm}} = 421 \text{ Kg/cm de placa}$$

$$\frac{w}{2b} = \frac{421,5}{2(13,97)} = 15,08 \text{ Kg/cm}^2$$

	x	βx	$D\beta x = e^{-\beta x} (\text{Cos } \beta x)$
m_1	61,91	6,6	0,0015
n_1	90,61	9,64	0
m_2	0,95	0,1014	0,8990
n_2	29,53	3,15	-0,0428
m_3	31,43	3,346	-0,0366
n_3	60,01	6,4	0,0017
m_4	93,15	9,85	0
n_4	120,97	12,9	0

Substituindo por q'

$$q' = 15,08 (0,0015 - 0) + (0,8998 + 0,0428) \\ + (-0,0366 - 0,0017) + (0 - 0)$$

$$q' = 13,64 \text{ Kg/cm}^2$$

Na prática, a aplicação desta teoria é bastante complicada. É recomendável, para quem se inicia na construção de madeira laminada, o uso do torquímetro e desta teoria para poder ter uma boa idéia do local e a quantidade de pressão que de

ve ser aplicada. Deve-se lembrar que na colagem da madeira laminada é necessário um íntimo contato portanto, deve-se cuidar para que as tábuas não estejam empenadas, o teor da umidade esteja entre 10 e 15% e a madeira deve ser aparelhada minutos antes da colagem.

2.2.2.4 - Composição das vigas

As vigas podem ser laminadas vertical ou horizontalmente.

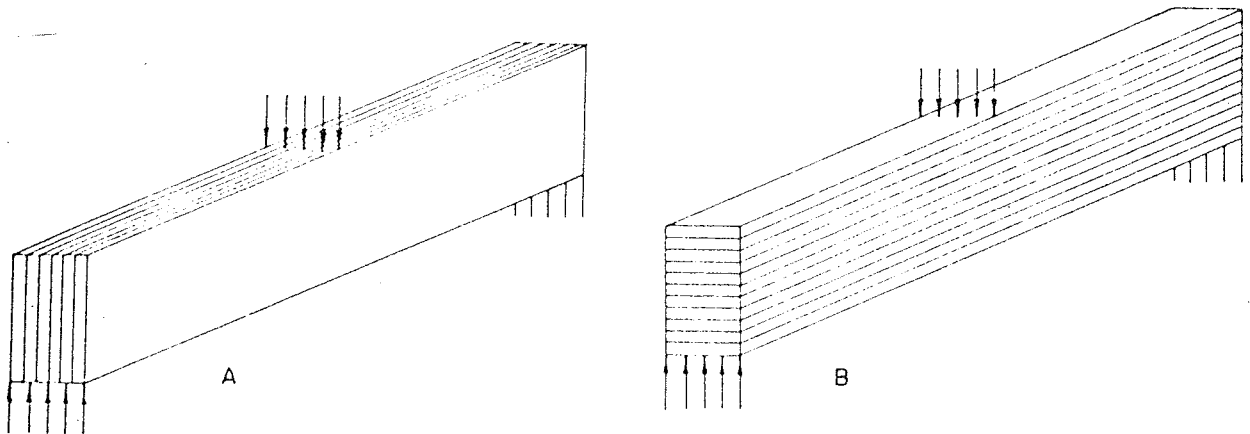


FIG. 10 - A vertical, B horizontal.

É mais eficiente a laminação vertical sempre que não for preciso fazer uma composição vertical, como mostra a figura 11.

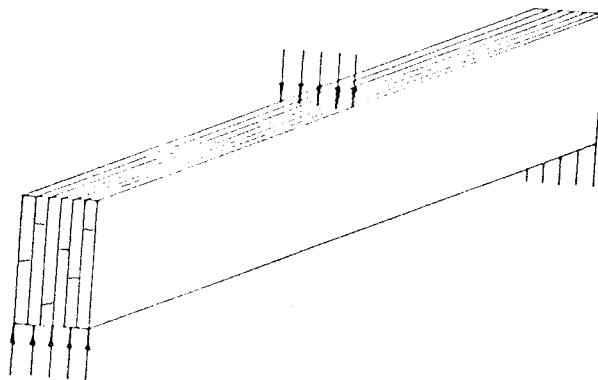


FIG. 11 - Viga com composição vertical.

A composição vertical não é necessária quando a largura da tábua tem a altura necessária da viga, mas a laminação torna-se ineficiente quando é preciso fazer uma composição vertical, já que a emenda lateral (no sentido vertical) passa a ser um ponto fraco devido à tensão de cisalhamento, que age numa área pequena.

A laminação horizontal é mais usual devido a não ter limitação quanto a altura além da possibilidade de se construir

peças curvas.

2.3 - Emendas

2.3.1 - Emendas transversais

Na fabricação de estruturas de madeira laminada, é normal o uso de tábua de menor comprimento que a peça necessária. Para obter este comprimento é necessário ligar transversalmente as tábuas.

Há tres tipos principais de ligações transversais e muitas variações destes tres tipos. Quanto maior a área de contato, maior a área de colagem, melhor a ligação, porém é maior o desperdício de madeira.

Os tres tipos principais de emendas transversais são: de topo, cunha e dente (ver figura).

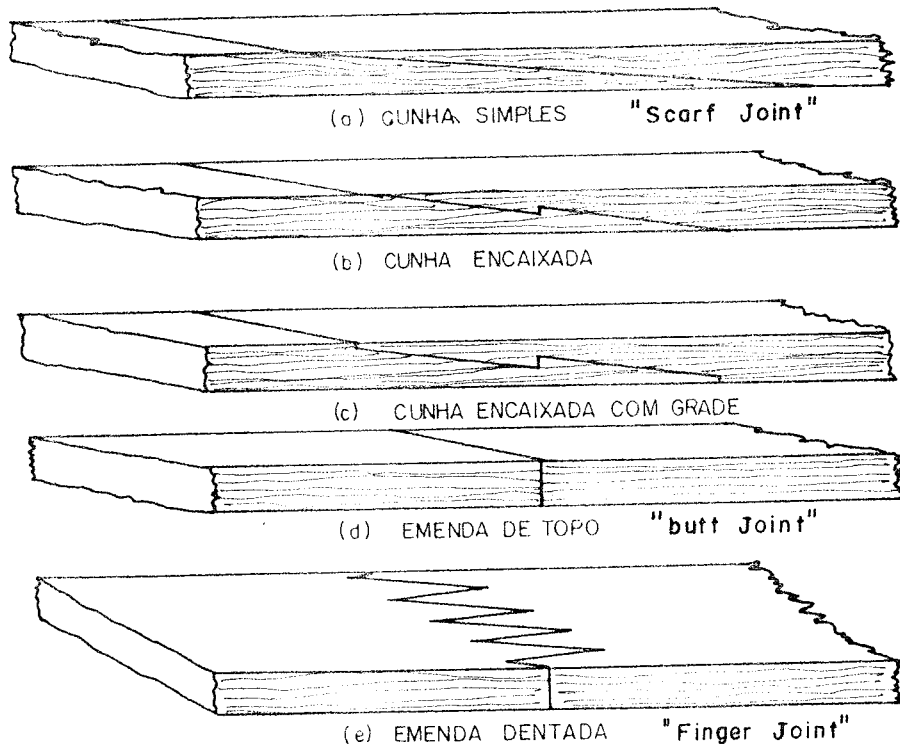


FIG. 12

TIPOS DE EMENDAS USADAS EM MADEIRA LAMINADA

2.3.1.1 - Emendas de topo

A emenda de topo é a mais simples, não desperdiça madeira, mas também é a de menor resistência mecânica. Considera-se que as ligações transversais de topo não podem transmitir nenhuma tensão. As tensões devem passar através das lâminas adjacentes. Chugg (5) não recomenda o uso de ligações de topo, mas menciona seu uso em estruturas na Suíça. O autor considera que estas ligações podem ser usadas com uma ou mais camadas a mais que nos outros tipos de ligações e também com enchimento de cola, dos espaços que possam aparecer em peças curvas (5). (Ver figura 13).

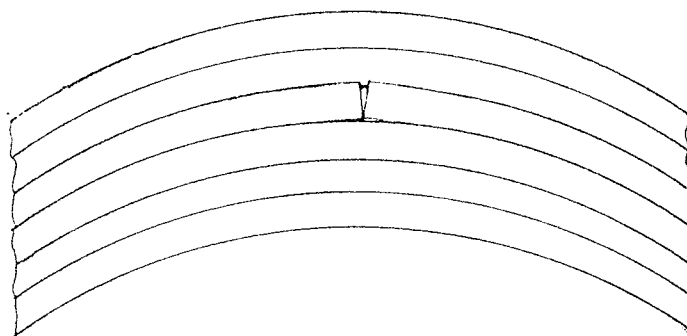


FIG.13 EMENDA DE TOPO EM MEMBRO CURVO

2.3.1.2 - Emendas em cunha

Hã dois tipos principais de ligações em cunha: simples e encaixada.

2.3.1.2.1 - Emendas em cunha simples

Pesquisas mostraram que a ligação em cunha simples quando fabricada corretamente, é a mais eficiente das ligações transversais. Varia com o ângulo no qual é cortada e quanto menor o ângulo, maior será a área de colagem e maior a resistência. Deve-se levar em consideração o ângulo de inclinação das fibras: quanto maior o ângulo, menor é a inclinação efetiva (5). A emenda em cunha se adapta muito bem a peças curvas e são ligações de grande durabilidade utilizadas em peças expostas a

intempéries (5). A desvantagem principal do encaixe em cunha simples é o grande desperdício de madeira e o maior consumo de mão-de-obra. A emenda em cunha simples foi fabricada pelo autor na plaina tirando camadas inclinadas das lâminas até conseguir a cunha desejada. Este método não é muito complexo e pode ser usado no caso de não se contar com máquinas especializadas.

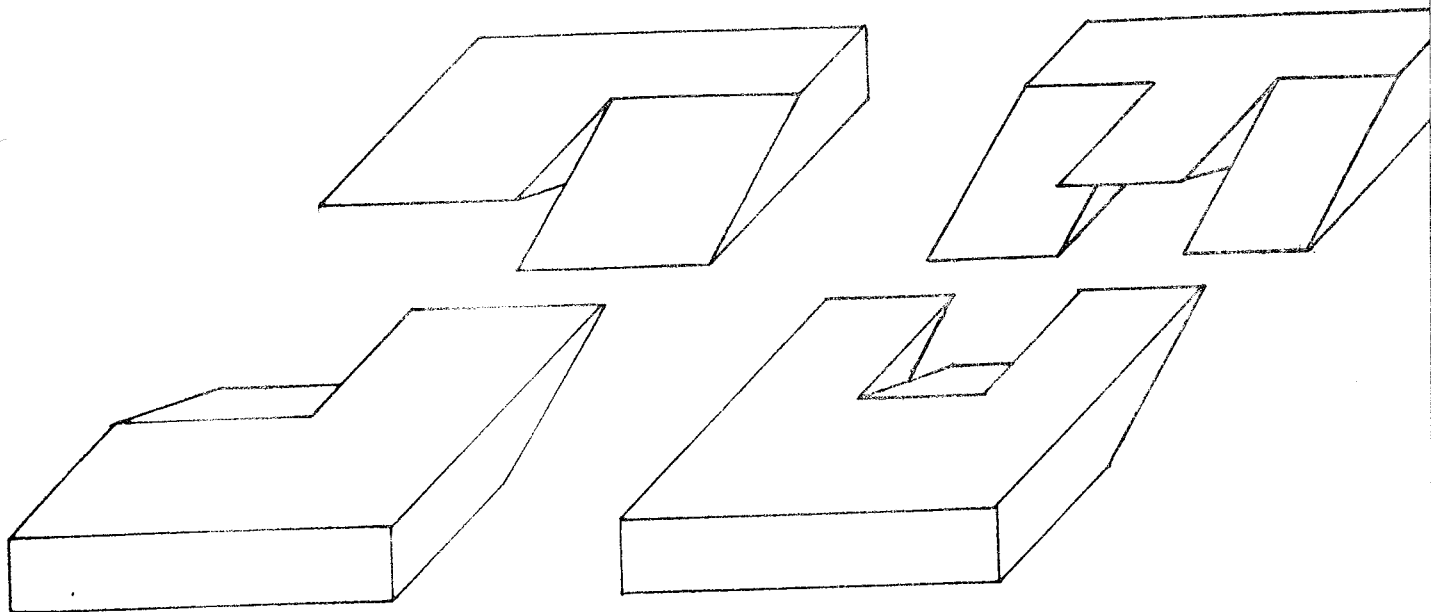


FIG. 14.- DUAS MODIFICAÇÕES DE CUNHA SIMPLES

Para calcular a tensão admissível de uma emenda de cunha calcula-se a resistência ao cisalhamento inclinado das tábuas de madeira. A resistência ao cisalhamento normal das fibras "Rolling Shear". Q é considerado por Ozeltou (12) como sendo uma quarta parte do cisalhamento paralelo.

A tensão inclinada de cisalhamento é determinada pela fórmula do Hankinson.

$$N = \frac{P \cdot Q}{P \operatorname{Sen}^2 \theta + Q \operatorname{Cos}^2 \theta}$$

Onde: P = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

Q = resistência ao cisalhamento normal às fibras.

θ = ângulo de inclinação

Para o caso de $Q = P/4$, pode ser simplificada a

$$N = \frac{P}{1 + 3 \operatorname{Sen}^2 \theta}$$

Portanto, para encontrar uma inclinação apropriada de uma emenda de cunha podemos fazer um equilíbrio entre a resistência à tração ou compressão de lâmina, e a resistência ao cisalhamento da emenda. No caso de tração temos:

$$\bar{\sigma}_t St = N Sem$$

Onde: $\bar{\sigma}_t$ = tensão admissível de tração
 St = área tracionada
 Sem = área de emenda colada
 N = tensão admissível ao cisalhamento no ângulo usado

2.3.1.2.2 - Emenda em cunha encaixada

A emenda em cunha encaixada pode ser com ou sem grades (Ver figura 15). Estes tipos de modificações no encaixe em cunha são utilizados porque são mais fáceis de alinhar e impede o deslizamento de uma tábua com relação a outra (5).

FIG. 15

(1) CUNHA ENCAIXADA

MOVIMENTO DAS LAMINAS RESTRINGIDO SOMENTE PELO ENCAIXE.



(2) CUNHA ENCAIXADA COM GRADE

MOVIMENTO DAS LAMINAS RESTRINGIDO POR ENCAIXE E GRADES



RESTRIÇÃO DE MOVIMENTO DE LAMINAS FORMADAS POR CUNHAS INTRODUZINDO ENCAIXES E GRADES.

2.3.1.3 - emenda dentada

A maioria das emendas transversais é feita com emendas dentadas, embora existam outras alternativas, devido ao fato de que na emenda de topo a resistência às tensões é muito pequena, e a emenda de cunha desperdiça muita madeira.

Há dois tipos de encaixe dentados: Um é estrutural, com dentes compridos e pontas finas, e o outro é não estrutural, com dentes menores e pontas mais largas (5). (ver figura 16).

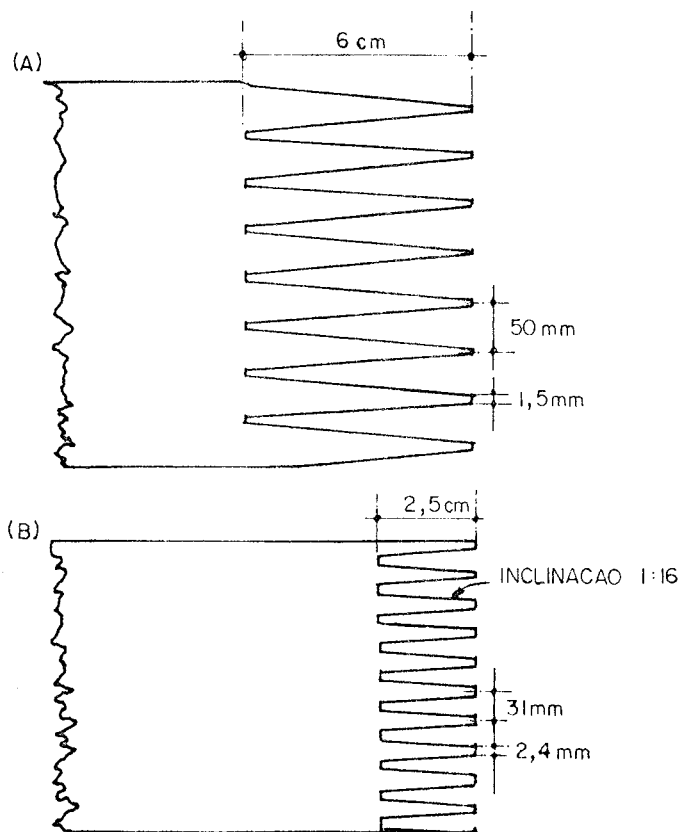


FIG.16 - DIMENSÕES COMPARATIVAS DE ENCAIXES DENTADOS
(A) ESTRUTURAL (B) NÃO ESTRUTURAL

Um estudo do Forest Products Laboratory (17) mostra que maior resistência é conseguida em maior área de colagem, e com utilização de pontas finas nos dentes. Do ponto de vista prático é anti-econômico cortarem-se dentes finos, por serem necessárias fresas bem afiadas e maior cuidado no corte (13). Este dilema geralmente leva à produção de dentes mais curtos, com pontas largas. Sheaffer (15), utilizando cola derretida, pré-curada, de poliuretano para preencher os espaços vazios entre os dentes com pontas largas, encontrou experimentalmente a resistência de $6400 \text{ Lb/Po}1^2$ (450 Kg/cm^2) à tração, nos encaixes.

2.3.1.3.1 - Resistência mecânica da emenda dentada

O cálculo do entalhe através de dentes foi feito por Blömer (3, 13). É obtido pelo equilíbrio entre a resistência ao cisalhamento, no plano de colagem e a resistência à tração da madeira. Portanto,

$$N \cdot S_c = \bar{\sigma}_t \cdot S_t$$

Onde: N = tensão admissível de cisalhamento no plano de colagem

S_c = superfície de colagem

$\bar{\sigma}_t$ = tensão admissível de tração na madeira

S_t = seção da madeira submetida à tração

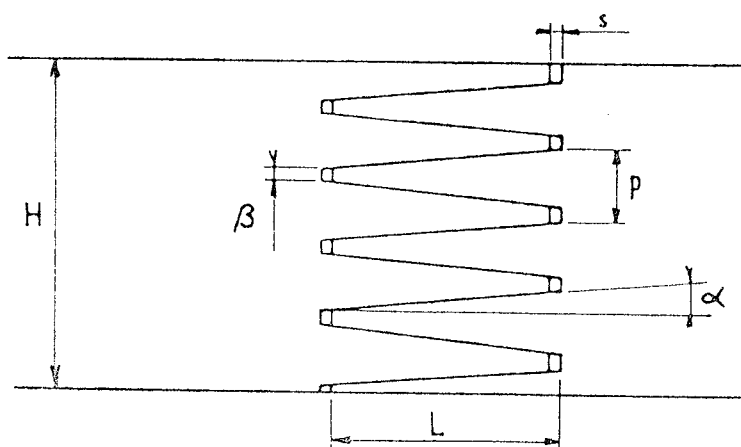


FIG. 17 - Partes de uma emenda dentada.

L = comprimento dos dentes

P = largura do dente

β = espessura da ponta do dente

α = inclinação

S = espaço no fundo do dente

H = largura total do entalhe

$e = S/L$ jogo relativo do dente

$V = \beta/p$ grau de enfraquecimento

Nota: O perfil dos dentes está descrito com precisão pela norma DIN 68-140, de outubro de 1971, que recomenda diferentes valores segundo o tipo empregado e o uso.

$$S_c = 2(L - s) \quad (\text{por dente})$$

$$= 2L(1 - s/L)$$

$$S_c = 2L(1 - e)$$

Por outro lado, temos:

$$S_t = P - 2\beta$$

$$= P(1 - 2\beta/P)$$

$$S_t = P(1 - 2v)$$

$$L \geq \frac{P(1 - 2v)}{2(1 - e)} \cdot \frac{\bar{\sigma}_t}{N}$$

Para que a emenda seja tão resistente quanto a madeira.

2.3.1.3.2 - Influência da orientação dos dentes

Hã tres possibilidades de orientação dos dentes na seção (ver figura 18). (13)

a) Perpendiculares: o perfil é aparente na face maior da peça encaixada.

b) Paralelos: o perfil é aparente na face menor da peça encaixada.

c) Inclínadas: o perfil é aparente tanto na face maior como na face menor.

A orientação perpendicular tem uma resistência à flexão 9% maior que a orientação paralela. Por outro lado, o corte de dente em orientação paralela é mais fácil e mais usado.

A orientação inclinada é a 45°, e este tipo de entalhe é usado na Finlândia com resultados superiores aos demais tipos.

2.3.1.3.3 - Influência da inclinação dos dentes

A inclinação é dada pela fórmula (13),

$$\text{Tg}\alpha = \frac{1/2 P - \beta}{L}$$

Inclinação de 1/8 a 1/12 dão ótimos resultados. Para inclinações mais acentuadas, se obtêm menores resistências. Na prática, as inclinações são limitadas de 1/8 a 1/10, já que para inclinações maiores é muito pequeno o aumento de resistência, além de dificultar bastante a fabricação.

Ensaio realizado por Selbo (17), mostraram o aumento da resistência com o aumento da inclinação.

Madeira: Douglas Fir

β : 1,1mm

P: 11mm

cola: resorcina

Inclinação	-	1/6	1/8	1/10	1/12	1/14	1/16
Resistência a tração Kg/cm ²	-	478	633	688	717	717	808

A norma alemã DIN 68-140 (outubro 1971) indica para a inclinação os valores seguintes:

· Categorias (segundo o uso da estrutura)	V	L	α
I	0,18	≤ 10	$\leq 7,5^\circ(1:7,6)$
		> 10	$\leq 7,1^\circ(1:8)$
II	0,25	≤ 10	$\leq 7,5^\circ(1:7,6)$
		> 10	$\leq 7,1^\circ(1:8)$

Onde: L = comprimento

V = β/P

Sendo: β = espessura da extremidade do dente

P = largura do dente

α = inclinação do dente

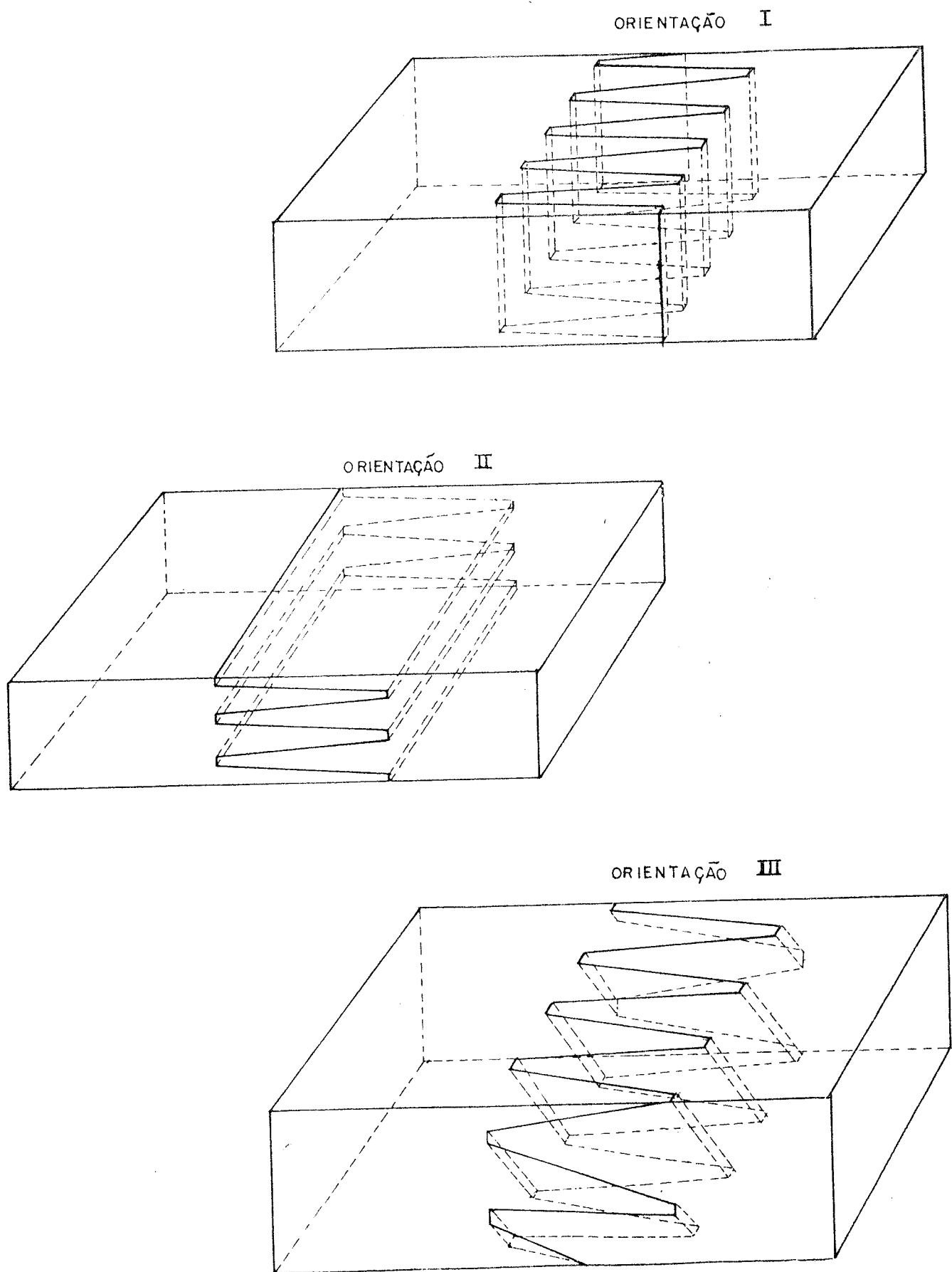


FIG. 18 - Diferentes Orientações de uma emenda dentada.

2.3.1.3.4 - Influência da largura da extremidade do dente

Os extremos dos dentes são pontos de fraqueza devido à má colagem nestes pontos. Então, quanto mais larga a extremidade, ou maior o número de dentes, maior será a área enfraquecida ou número de pontos enfraquecidos (13).

O grau de enfraquecimento é medido pela razão:

$$V = \beta/P$$

A tendência seria reduzir a zero a espessura da extremidade dos dentes, mas há o perigo de desgaste rápido das fre-sas e um risco de estilhamento.

A Norma alemã prevê os valores máximos de V , 0,18 para grandes cargas (estruturas) e 0,25 para cargas menores.

Ensaio feitos por Marian (13) mostram a resistência à tração, variando com a extremidade do dente.

Cola: resorcinol

Inclinação: 1/10

Largura do dente: 11mm

Resistência à tração em Kg/cm^2

Madeira β	3,40mm	2,30mm	1,10mm
Douglas Fir	422	464	668
Spruce	281	422	633

2.3.1.3.5 - Influência da razão - comprimento do dente/largura do dente

Para uma largura de extremidade " β " constante, a resistência da emenda aumenta segundo a razão L/P .

Esta resistência aumenta proporcionalmente, até atingir um ótimo correspondente ao equilíbrio entre o esforço à tração entre os dentes e a resistência ao cisalhamento das faces coladas. Isto é traduzido pela seguinte fórmula (13):

$$N S_c = \bar{\sigma}_t S_t$$

temos:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1/2 P - \beta}{L}$$

A superfície da extremidade de um dente para uma Seção Unitária é:

$$S = \beta/P$$

Sendo a seção submetida à tração

$$S_t = 1 - \beta/P$$

Superfície de colagem na madeira (razão comprimento efetivo/largura do dente)

$$S_c = \frac{2 \sqrt{L^2 + (1/2 P - \beta)^2}}{P}$$

$$S_c = \frac{2L}{P} \sqrt{1 + \frac{(1/2 P - \beta)^2}{L^2}}$$

Ou temos,

$$S_c = \frac{2 L \sqrt{1 + \operatorname{Tg} \alpha^2}}{P}$$

No caso de pequenos ângulos pode-se admitir,

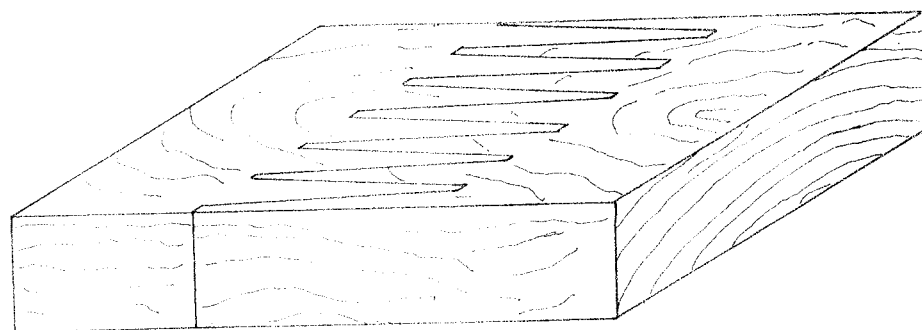
$$\sqrt{1 + (\operatorname{tg} \alpha^2)} \cong 1$$

Donde,

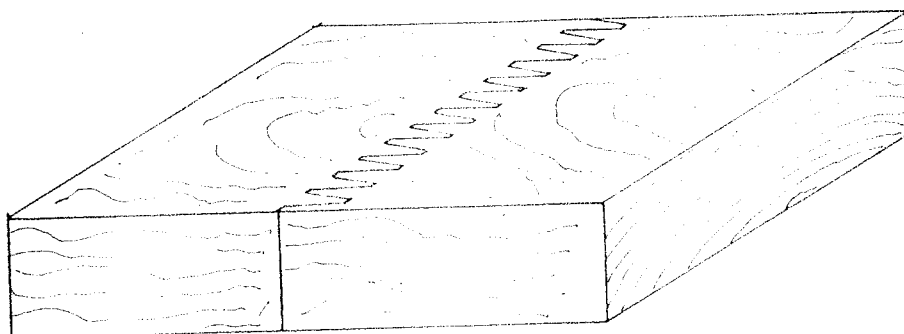
$$S_c = \frac{2 L}{P}$$

Para um "β" constante temos:

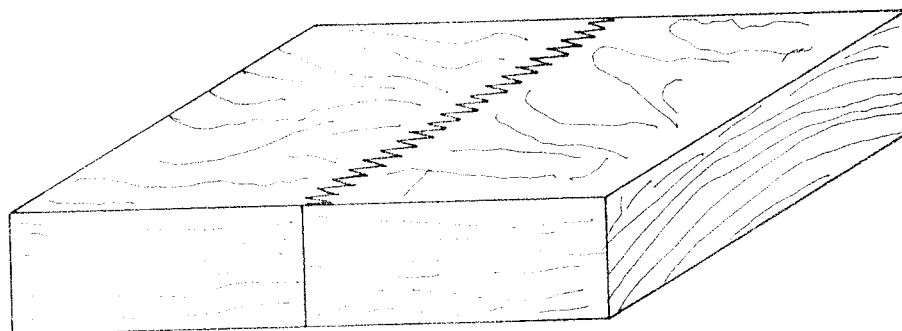
$$L/P = 1/2 \frac{\bar{\sigma}_t}{N}$$



DENTES COMPRIDOS



MINIDENTES



MICRO DENTES

FIG. 19 - Diferentes comprimentos de dentes.

Para a maioria das espécies, a resistência à tração é da ordem de 8 a 10 vezes a resistência ao cisalhamento. Portanto, $L/P = 4$ ou 5 para obter a resistência máxima. (dependendo da espécie).

2.3.1.3.6 - Comprimento dos dentes

Há tres tipos de dentes estruturais (13)

- a) O dente comprido "Finger Joint"
- b) O minidente "Mini Joint"
- c) O microdente "Micro Joint"

a) Dente comprido "Finger Joint" - A Norma alemã - DIN 68-140 (junho 1960) admite que os comprimentos para peças submetidas a grandes cargas devem ser de 40 a 60mm. Para peças submetidas a cargas menores, de 35 a 25mm. E de 20 a 25mm para peças não carregadas.

b) Minidente "Mini Joint" - Tem um comprimento de linha de cola por largura da peça menor que o comprimento de linha de cola do dente comprido, mas também são considerados dentes estruturalmente bons devido à maior pressão na qual o "Mini Joint" pode ser montado sem prejudicar a integridade da madeira. Além disso, eles não tem a folga " β " anteriormente mencionada nos dentes compridos, que é seu ponto de fraqueza.

Em ensaios realizados pelo Instituto Alemão Otto Graf, da Universidade de Stuttgart, foi mostrado que se pode obter, com os "Mini-Joints" (7,5mm), resistências à tração superiores de 9 a 10% aos dentes compridos clássicos.

c) Microdente "Micro-Joint" - Este tipo de dente é curto (cerca de 5mm) e precisa de bastante pressão ao ser colado (da ordem de 200Kg/cm^2). Contudo, já foram obtidas resistências superiores aos dentes clássicos, mas ainda são encontrados numerosos problemas para a realização industrial, mas que podem ser superados no futuro.

2.3.1.4 - Conclusão

As emendas transversais em cunha e em dente resistem mais à tração. A ligação de topo, praticamente não resiste a esforços mas, desperdiça madeira. A emenda dentada desperdiça de 3 a 4 cm, e a em cunha uns 35cm (usando inclinação 1/10 em peças de 3,5cm de espessura).

Nos processos industriais usa-se principalmente a emenda dentada, de boa resistência, e onde o desperdício de madeira é relativamente baixo. Todavia, sua fabricação sem máquinas especializadas não é recomendável: neste caso, a solução é usar emendas em cunha nas peças tracionadas ou fletidas.

Deve-se evitar o uso de qualquer tipo de emendas em áreas de momentos máximos, já que é possível usarem-se peças inteiras nestas áreas, passando as emendas para posições onde os esforços de flexão são menores.

2.3.2 - Emendas laterais

Se a madeira disponível não apresentar a largura da peça laminada desejada, as peças podem ser emendadas lateralmente. Tais emendas também são necessárias em peças laminadas pré-fabricadas e em peças expostas, por razões estéticas.

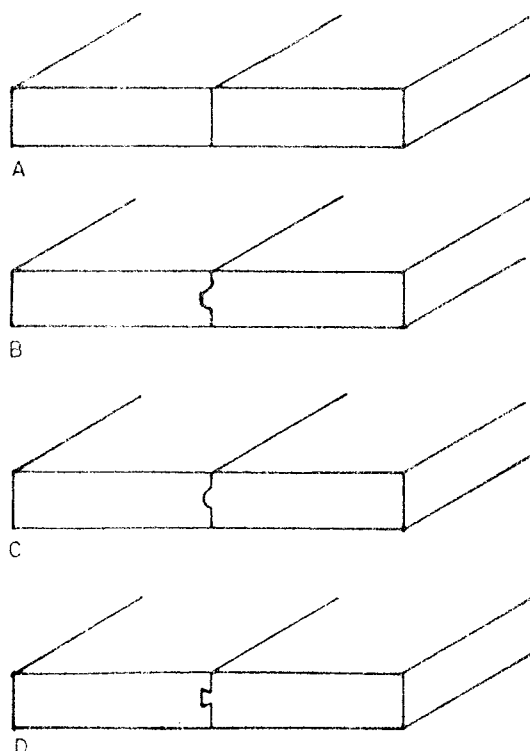


FIG. 20 - Alguns tipos de ligação lateral

2.4 - Controle de qualidade

O controle de qualidade de uma peça laminada deve ser feito durante a fabricação, devido à impossibilidade de avaliar o produto laminado após sua fabricação. Não se pode saber a qualidade da madeira das lâminas internas, se estavam empenadas, se foram aparelhadas antes da colagem, se a quantidade de cola foi aplicada propriamente e a pressão a que foi colada. Devido a isto, é necessário um inspetor durante a fabricação. Chugg (5) menciona controle de qualidade governamental, que operam no Canadá, Estados Unidos e Europa. Na Inglaterra, o controle é realizado através do "Official Institute for Research and Materials Testing in Building Industry". Em Stuttgart, os fabricantes são divididos em dois tipos: "A" e "B". Os de tipo "A" podem fabricar qualquer peça laminada, enquanto que os de tipo "B" apenas podem fabricar peças estruturais que não excedam 12 metros.

Na inspeção durante a fabricação deve constar:

- qualidade da madeira (classificação, módulo de elasticidade)
- teor de umidade
- condição da superfície
- espessura e uniformidade das lâminas
- emendas laterais (tipo)
- emendas transversais (tipo e colagem)
- preparação da cola
- tempo entre a preparação e aplicação
- quantidade de cola aplicada
- uniformidade de aplicação da cola
- pressão aplicada
- tempo em que foi aplicada a pressão

Entre os ensaios que podem ser feitos para avaliar a colagem, temos:

ASTM D-905-49 (2). Apresenta um ensaio para avaliar a resistência da cola ao cisalhamento. Este teste é usado pelo autor na experimentação para avaliar a resistência da colagem do Pinho do Paraná e outras madeiras. ASTM D-1101-59 (2). Apresenta um ensaio para avaliar a resistência da cola à delaminação causada pela intempérie. Este ensaio coloca a peça laminada ensaiada dentro de uma autoclave a uma pressão de 150 Lb/Po1^2 ($1,03 \text{ MN/m}^2$) em vários ciclos.

3 - DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento de estruturas de madeira laminada considera uma série de fatores que não existem numa estrutura feita com peças maciças. No entanto, se consegue um melhor aproveitamento da madeira permitindo colocar apropriadamente as lâminas segundo sua resistência e possibilitando projetos mais econômicos e versáteis. Por exemplo, pode-se construir peças cuja seção transversal varie segundo os esforços atuantes.

As emendas transversais tem muita importância na resistência de peças laminadas. As emendas de topo devem ser usadas somente onde não existem esforços atuantes ou estes são relativamente pequenos. Por exemplo, perto da linha neutra de peças fletidas, mas, nunca nas lâminas externas. Com emendas em cunha ou dentadas, cuja resistência ao cisalhamento é maior que a tensão admissível das lâminas, consegue-se uma resistência igual à da madeira maciça.

No caso de peças curvas, a flexão das lâminas induz esforços que são tanto maiores quanto maior é a curvatura.

A presença de nós, do mesmo modo que numa peça maciça, afeta a resistência da peça laminada. Este depende da dimensão, da quantidade e da posição deles na lâmina. Para reduzir o efeito destes defeitos é costume usar madeira de melhor qualidade nas lâminas externas, onde os esforços são maiores, e a madeira mais fraca no centro da peça.

Outros defeitos, como fibras irregulares, também afetam a resistência. Mas isto pode ser levado em consideração estabelecendo limitações que considerem o defeito equivalente a nós de dimensão admissível.

A presença de rachaduras e fendas num plano horizontal afetam a resistência ao cisalhamento como acontece numa viga maciça. Devido ao fato do material usado ser secado em camadas finas. Não é normal encontrar fendas, e em qualquer caso estas serão menores que em peças maiores de madeira maciça.

Em geral, os problemas de análise podem ser resolvidos com os mesmos métodos usados em estruturas convencionais de madeira, sendo os problemas de estabilidade, flecha e dimensionamento de ligações semelhantes.

3.1 - Cálculo de esforços de trabalho

Os esforços de tensão admissíveis são os apropriados para usar-se no projeto. Para cada caso em particular, estes esforços dependem de fatores como (σ , τ): como tipo e localização de emendas transversais, dimensão e localização de nós, fibras irregulares, rachadura e dimensão da peça. Estes fatores reduzem o esforço de trabalho considerado no projeto. O projetista pode admitir a existência de emendas que resistam menos que o esforço admissível na lâmina, ou outros tipos de defeitos, quando se trata de peças laminadas super dimensionados onde o projeto arquitetônico manda o uso de peças robustas, como muitas vezes acontece em projetos de madeira laminada.

Em outros casos, os defeitos podem ser admitidos, na falta de melhor material. Em qualquer caso, o projetista deve conhecer o efeito destes fatores no esforço de trabalho da peça laminada projetada. Estes fatores são usados para madeira laminada colada sob pressão, podendo-se usar também para madeira laminada colada e pregada, já que de acordo com a experimentação este tipo de laminado se comporta com as mesmas propriedades do outro.

3.1.1 - Esforços básicos

Os esforços básicos para peças estruturais tabeladas pelo I.P.T. Boletim nº 31 (10) são tabelados para madeira úmida e seca. No caso de madeira laminada, pode-se usar o valor seco devido a existir um efeito benéfico pelo fato da madeira usada estar seca, e este efeito benéfico pode ser tomado em consideração em peças não expostas às intempéries.

3.2 - Peças submetidas a flexão

Devem ser considerados vários fatores, ao calcular os esforços de trabalho da peça laminada:

- a) emendas transversais
- b) altura e forma da peça
- c) curvatura
- d) nós
- e) fibras irregulares

Os dois últimos itens são considerados defeitos da madeira. Freas e Selbo (?) recomendam usar como fator de redução o menor dos fatores: emendas transversais, forma da peça, nós e fibras irregulares, e multiplicar este fator pelo fator de curvatura, no caso de peças curvas.

É preciso analisar separadamente as peças de laminação horizontal e vertical, por ter sido comprovado em ensaios que os fatores que afetam a resistência atuam diferentemente segundo as duas modalidades.

3.2.1 - Peças laminadas horizontalmente

3.2.1.1 - Fator de emendas transversais

3.2.1.1.1 - Emendas transversais, zona comprimida

Freas e Selbo (?) admitem o uso de emendas de topo ou outras emendas não coladas na zona de compressão, contanto que no cálculo do momento de inércia da seção transversal, as lâminas que tenham estas emendas não sejam levadas em consideração. Admitem, ainda, que não é necessário este cuidado, quando se usam emendas em cunha com inclinação menor que 1:5.

No caso de usar emendas dentadas pode-se calcular o esforço admissível da emenda por cisalhamento e compará-lo com o esforço admissível na lâmina emendada (o procedimento deste cálculo está descrito no capítulo de fabricação de emendas dentadas).

Seguindo o mesmo critério usado para as emendas em cunha, pode-se admitir emendas dentadas nas lâminas internas da zona comprimida com uma resistência igual a 0,65 da resistência da lâmina. Na lâmina externa da zona comprimida a emenda deve ser de cunha ou dentada, e deve ter uma resistência igual à da própria lâmina.

O autor ensaiou emendas de topo na lâmina externa, da zona comprimida e constatou uma redução para 0,87 na resistência, que é pequena em relação à obtida nos ensaios que foram feitos na lâmina externa da zona tracionada, onde a resistência cai a 0,5. Daí se deduz que as emendas são mais críticas na área tracionada.

3.2.1.1.2 - Emendas transversais, zona tracionada

Freas e Selbo (7) admitem os seguintes fatores de redução para emendas em cunha na lâmina externa.

Inclinação	Fator F_e
1:12 ou maior	0,90
1:10	0,85
1:8	0,80
1:5	0,65

Estes fatores foram estudados pelo autor e encontrou-se resultados favoráveis a seu uso.

Outro fator que é considerado na eficiência das emendas transversais é a inclinação das fibras da madeira. Devido a isto, é preciso fazer uma correção na inclinação real da emenda de tal forma que o fator de dimensionamento não seja a inclinação real, mas sim a efetiva (ver figura abaixo).

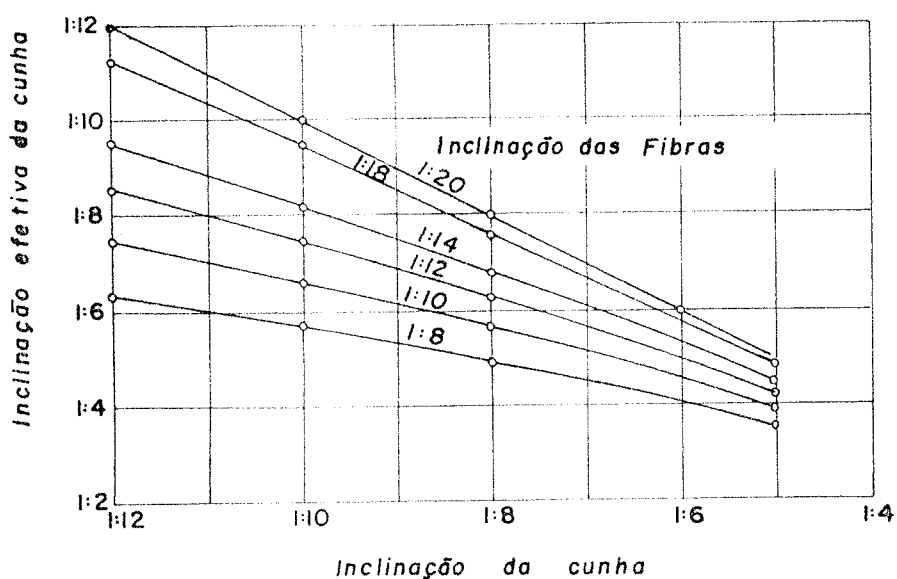


FIG. 21 - Inclinação efetiva da cunha.

Para obter um fator em emendas dentadas pode-se calcular o esforço admissível da emenda por cisalhamento usando como tensão admissível:

$$N = \frac{P}{1 + 3 \sin^2 \theta}$$

Logo, multiplicando N pela área efetiva da emenda dentada e comparando com o esforço admissível $\bar{\sigma}_t$ da lâmina, temos o fator de emendas dentadas. Este método é descrito por Ozelton e Baird no Timber Designer's Manual (12).

Freas e Selbo recomendam considerar inefetiva a lâmina com emenda de topo na seção transversal de lâminas internas da zona tracionada, e reduzir o momento de inércia da seção restante em 0,8. O manual da A.I.T.C. (1) e o Manual de Ozelton e Baird (12) não recomendam o uso de emendas de topo em nenhum lugar. O autor realizou ensaios com emendas de topo nas lâminas internas em vigas com sete lâminas e não encontrou evidência de enfraquecimento causado por estas emendas nas lâminas internas. Portanto, considera-se as recomendações de Freas e Selbo como conservadoras e recomenda seu uso como fator de redução, no caso de emendas de topo nas lâminas internas.

Foi constatado pelo autor, na experimentação, que se as emendas forem colocadas muito perto uma das outras, a ruptura avança mais ou menos instantaneamente, avançando aproximadamente a 45° no caso de não existir emendas.

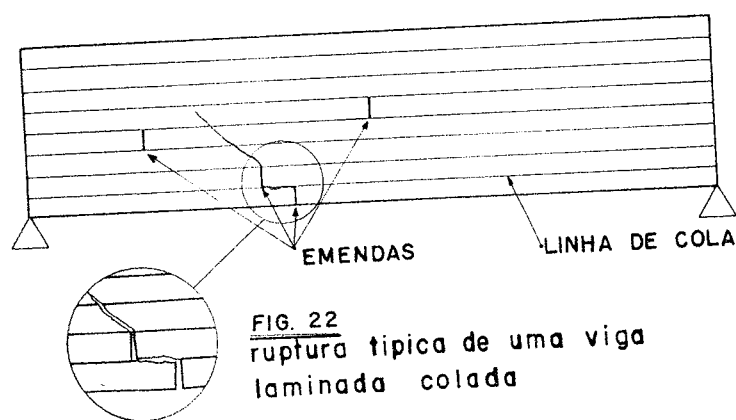


FIG. 22
ruptura típica de uma viga
laminada colada

Pelo que se deduz, uma emenda na laminação adjacente é prejudicial. Freas e Selbo recomendam uma separação de 24 vezes a espessura da lâmina nas seções onde os esforços são próximos aos ad-

missíveis, mas permitem variar esta separação segundo o esforço atuante.

É, portanto, conveniente planejar antes da colagem uma separação das emendas, apresentando o conjunto de lâminas na forma que devem ficar .

No caso de flexo-compressão o fator de emendas para peças fletidas é usado se $\frac{M}{W_R} > P/A$, mas se $P/A > \frac{M}{W_R}$, o fator de emendas para peças comprimidas é recomendável.

3.2. 1.2 - Fator de altura e forma da viga

O Timber Construction Manual da A.I.T.C. (1) dá o seguinte fator de altura F_h :

$$F_h = \left(\frac{30,48}{h} \right)^{1/9}$$

Onde: h é altura em cm.

Esta equação é baseada nas seguintes hipóteses:

- a) a viga é bi-apoiada
- b) carga é uniformemente distribuída
- c) a razão comprimento/altura é igual a 21

Esta equação resulta num F_h unitário quando a altura da viga é menor ou igual a 30,48cm. Para peças com seção variável, deve-se tomar a altura na qual as tensões são analisadas.

Para vigas contínuas e em balanço, determina-se o fator de dimensão supondo as peças bi-apoiadas, com uma carga uniformemente distribuída. Isto surge como um fator de segurança em estruturas diferentes da bi-apoiada.

Para condições de carregamento diferentes e uniformemente distribuída temos:

- carga concentrada: + 7,8% de mudança
- tres cargas concentradas: - 3,2% de mudança

Estas condições de carregamento satisfazem a maioria das situações comumente encontradas. Situações mais complicadas de carregamento podem ser simuladas por uma destas tres condições básicas.

Para uma relação comprimento/altura diferentes de 21, a porcentagem indicada a seguir pode ser usada para modificar o

fator. Para relações intermediárias de comprimento/altura usa-se uma interpolação entre os valores mostrados.

Comprimento/altura	% de mudança
7	+ 6,3
14	+ 2,3
21	0
28	- 1,6
35	- 2,8

No caso de flexo-compressão, o fator de redução é usado se $\frac{MJ}{y} > P/A$ mas não é usado se $P/A > \frac{MJ}{y}$.

O fator de redução é sempre usado no caso da flexo tração. Para vigas laminadas em I ou caixão, Freas e Selbo(?) dão a seguinte fórmula:

$$F_{rj} = 0,81 \left[1 + \left(\frac{h^2 + 923}{h^2 + 568} - 1 \right) S \right]$$

Onde: F_{rj} é a relação do módulo de ruptura de uma viga I ou caixão comparado com o módulo de ruptura de uma viga retangular de 30,48cm de altura.

h = altura da viga em cm

$$S = p^2 (6 - 8p + 3p^2) (1 - q) + q$$

Onde: p é a razão entre a altura da mesa comprimida e altura da viga, e q é a razão entre a espessura da alma e a espessura do total da viga.

O motivo deste fator de redução de altura e forma da viga é explicado por Freas e Selbo (?), como a hipótese da "ação suportadora" que consiste em considerar as fibras da madeira como pequenas colunas esbeltas sujeitas a esforços de compressão não uniforme. Como acontece numa viga ou numa peça comprimida carregada excêntricamente, onde as fibras mais solicitadas são impedidas de flambar por aquelas menos carregadas. Por este motivo, vigas circulares e em losango tem mais suporte que vigas retangulares; vigas em I e caixão tem menos suporte que vigas retangulares; e vigas altas tem menos suporte que vigas baixas, devido à menor razão de diminuição de tensões da fibra extrema ao centro.

3.2.1.3 - Fator de curvatura

Uma tensão σ é induzida às lâminas que são dobradas para formar peças curvas. Ainda que muita desta tensão seja rapidamente aliviada, alguma parte permanece e tende a reduzir a resistência da peça curva, porém a tensão admissível na flexão deve ser ajustada pelo fator de curvatura F_c .

Segundo a A.I.T.C. (1) e Freas e Selbo (7), temos:

$$F_c = 1 - 2000 (t/r)^2$$

Onde: t = espessura da lâmina em cm ou Pol

r = raio de curvatura do lado interno da laminação em cm ou Pol.

A A.I.T.C. recomenda não ultrapassar o valor de t/r em 1/100 para dicotiledôneas (madeiras duras) e 1/135 para coníferas (madeiras moles).

Na tração normal ou compressão normal. Freas e Selbo (7) consideram que quando uma peça curva é submetida a um momento fletor e se induz um esforço na direção radial, ou seja, em ângulo reto às fibras, o valor máximo desse esforço é, no eixo neutro, aproximadamente,

$$S_r = \frac{3M}{2rbh}$$

Onde: M = momento fletor

r = raio de curvatura

b = largura da seção

h = altura da seção

Quando o momento fletor tende a diminuir a curvatura da peça, o esforço desenvolvido é de tração. E quando tende a aumentá-lo, o esforço é de compressão.

Os esforços de compressão estão limitados pelas tensões admissíveis em compressão normal às fibras, enquanto os esforços de tração estão limitados pelas tensões admissíveis em tração normal às fibras. Não havendo valores seguros de tração normal, pode-se limitar como parte da resistência ao cisalhamento. Esta pode ser de 1/3 para coníferas e 3/8 para dicotiledôneas.

3.2.1.4 - Fator dos nós

Usando os coeficientes de segurança da Norma brasileira não é estritamente necessário levar em consideração o efeito dos nós, já que o coeficiente de segurança já leva em consideração este defeito da madeira. No entanto, é interessante para o projetista conhecer a influência dos nós na madeira laminada.

A Norma americana, na designação ASTM D-245, manda classificar a madeira pelo método visual, classificação esta que é usada por textos americanos para dar valores admissíveis às diferentes espécies. Entre estes textos temos o Manual da A.I. T.C. (1), o Manual de R. Hoyle Wood Technology in the Designer of Structures (9), e o Manual de Freas e Selbo (7).

Freas e Selbo dão, através do diagrama abaixo, o fator F_n a ser usado na presença de nós:

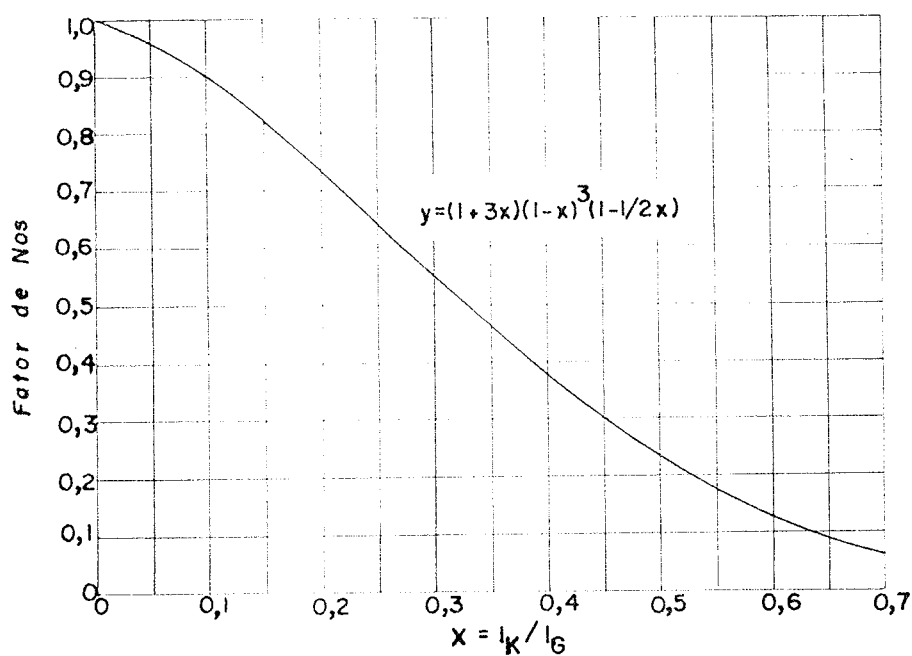


FIG. 23 - fator de nós em peças fletidas.

A abscissa da curva é $x = IK/Ig$, na qual Ig é o momento de inércia de toda a seção transversal, e IK é a soma dos momentos de inércia das áreas de nós num comprimento de 15cm. Ambos os valores são determinados com relação à linha neutra da seção, um nó, nas lâminas externas contribui mais que um nó perto da linha neutra, no acréscimo de IK .

3.2.1.5 - Fator de fibras irregulares

Do mesmo modo que no caso dos nós, a norma brasileira leva em consideração as fibras irregulares no fator de segurança recomendado, o que não torna necessário reduzir a tensão admissível por causa destes defeitos.

Freas e Selbo (7) recomendam, de acordo com a tabela abaixo, fatores de redução no caso de inclinação de fibras nas lâminas externas.

Inclinação da fibra	Lâmina extrema em flexão ou tração	Lâmina em compressão paralela
1:6	-	0,56
1:8	0,53	0,66
1:10	0,61	0,74
1:12	0,69	0,82
1:14	0,74	0,87
1:15	0,76	1,0
1:16	0,80	1,0
1:18	0,85	1,0
1:20	1,0	1,0

Em geral, os desvios locais das fibras não são levados em consideração, sendo a inclinação geral a considerada. No entanto, na construção de peças muito estreitas, pode ser preciso levar-se em consideração estes desvios já que afetam sensivelmente grande parte da seção transversal.

Freas e Selbo não recomendam usar peças com uma inclinação maior que 1:8 na construção de estruturas de madeira laminada. Embora estas inclinações possam ser levadas em consideração no dimensionamento, não é conveniente usar o material pela tendência ao empenamento e torcedura, desenvolvendo grandes esforços quando as peças são prensadas.

3.2.1.6 - Efeito dos nós no módulo de elasticidade

Quando é necessário maior precisão no cálculo das flechas, pode-se usar o diagrama abaixo, recomendado por Freas e Selbo (?), multiplicando o módulo pelo fator de redução.

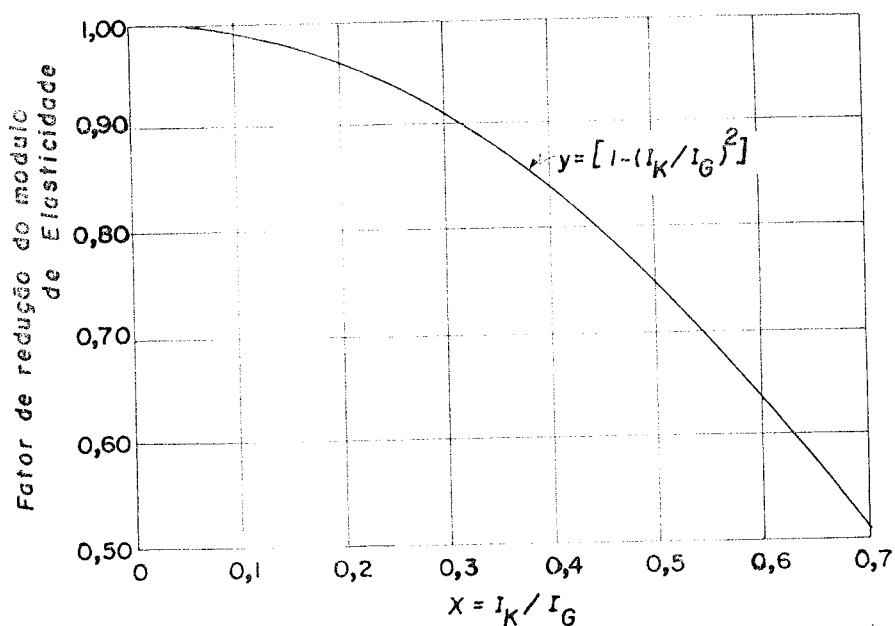


FIG. 24 - fator de redução do módulo de elasticidade.

Este diagrama vale também para o módulo de elasticidade usado em colunas longas e intermediárias.

3.2.2 - Peças laminadas verticalmente

Peças laminadas com lâminas verticais são menos usadas e, portanto, existem menos pesquisas sobre o assunto.

Quanto aos esforços admissíveis, pode-se usar o mesmo fator de redução recomendado pela NB-11, de 1951, para madeira sólida, ou usar algum tipo de classificação da madeira, como o recomendado pela ASTM D-245 (2).

Quanto às emendas, pode-se dizer, a partir da experimentação, que as emendas de topo são menos prejudiciais que na madeira laminada horizontalmente. Pode-se também usar um fator de redução de 0,8.

3.2.3 - Tensão de cisalhamento

As tensões admissíveis não precisam ser reduzidas pela presença de nós ou emendas transversais na viga. Em vigas de laminação horizontal com lâminas de corte tangencial, as fissuras que possam aparecer são basicamente verticais e não afetam a resistência ao cortante. O que afeta a resistência ao cisalhamento da viga, é a resistência da madeira ou da linha de colagem. No caso do Pinho do Paraná, é a resistência da madeira que governa o dimensionamento. Noutras madeiras, como o Eucalipto, é a linha de cola que domina a tensão admissível de cisalhamento (usando Cascophen). Isto deve-se ao fato de que às vezes a cola não consegue dar uma ligação perfeita, devido aos poros da madeira serem muito fechados.

3.2.4 - Esforço de contato perpendicular às fibras

Freas e Selbo (?) dão os seguintes fatores de acréscimo dos esforços para contatos menores que 15cm, que fiquem a mais de 7,5cm dos apoios.

comprimento de contato em cm	fator de acréscimo
1,25	1,75
2,50	1,38
3,75	1,25
5,00	1,19
7,50	1,13
10,00	1,10
15,00 ou mais	1,00

3.3 - Peças comprimidas

Devem-se considerar os seguintes fatores no cálculo dos esforços de trabalho da peça laminada comprimida:

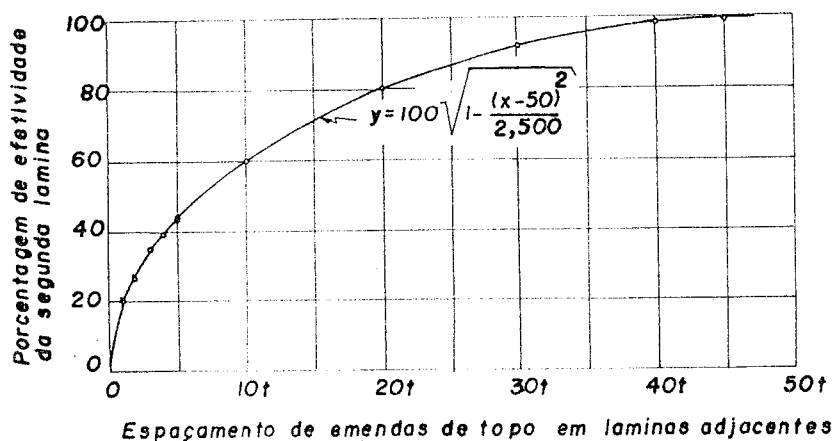
- a) emendas transversais
- b) nós
- c) fibras inclinadas

Os dois últimos são considerados defeitos da madeira. Também é considerado o efeito dos nós no módulo de elasticidade para colunas longas e intermediárias, no qual é usado o mesmo diagrama de peças fletidas.

3.3.1 - Emendas transversais

As emendas de topo não devem ser utilizadas por serem de difícil ajuste, ainda quando completamente ajustadas, seu uso é restrito. Foi observado pelo autor nos corpos de prova ensaiados à compressão que quando há emenda de topo numa lâmina, esta não começa a trabalhar até que as lâminas adjacentes se deformem, juntando os extremos dos topos, pelo que deve-se omitir as lâminas com emendas de topo na hora de estimar a área efetiva de seção transversal.

Freas e Selbo (7) recomendam reduzir a seção transversal de uma lâmina adjacente a outra que tenha emenda de topo, se esta lâmina também apresentar emenda de topo (fora da seção transversal considerada). Deve-se considerar parcialmente efetiva aumentando o grau de efetividade com o aumento de espaçamento. A figura abaixo mostra a proporção em que a seção pode ser considerada efetiva.



t = Espessura da lâmina

FIG. 25 - Efetividade da segunda lâmina em peças comprimidas com emendas de topo.

Como exemplo de uso desta curva, considere-se uma coluna feita de 12 lâminas, na qual as lâminas 2 e 11 tenham emendas de topo numa seção e as lâminas 3 e 10 tenham emendas de topo noutra seção a 20t de distância, com todas as outras lâminas contínuas. Na seção contendo emendas de topo, nas lâmi

nas 2 e 11, há oito lâminas efetivas, duas parcialmente efetivas (3 e 10) e duas inefetivas (2 e 11).

A proporção de seção inteira que pode ser considerada efetiva é porém $[8 + 2 (0,8)] / 12 = 0,8$.

O autor ensaiou corpos de prova comprimidos com cinco lâminas sem emendas, com uma emenda e com duas emendas (ver experimentação). Os corpos com uma emenda tiveram uma redução de 20%, e com duas emendas de 21%, indicando estes ensaios que é necessário um fator de redução no caso de peças comprimidas com emendas de topo, mas também que a redução recomendada por Freas e Selbo (7) é conservadora.

Freas e Selbo recomendam usar emendas transversais em cunha com inclinação de pelo menos 1:5. Seguindo este mesmo critério, as emendas dentadas nas peças comprimidas devem resistir pelo menos a 0,46 do esforço admissível à compressão. Portanto,

$$N A_c = \bar{\sigma}_t A_t (0,46)$$

Onde: A_c = área cisalhada

A_t = área da lâmina tracionada

N = tensão admissível de cisalhamento no ângulo em que se verifica

$\bar{\sigma}_t$ = tensão admissível de tração na lâmina

3.3.2 - Nós

Usando o coeficiente de segurança para compressão da Norma brasileira, não é estritamente necessário levar em consideração os nós. Mas para ter uma boa idéia de como eles afetam a resistência de uma coluna, apresenta-se o diagrama de Freas e Selbo.

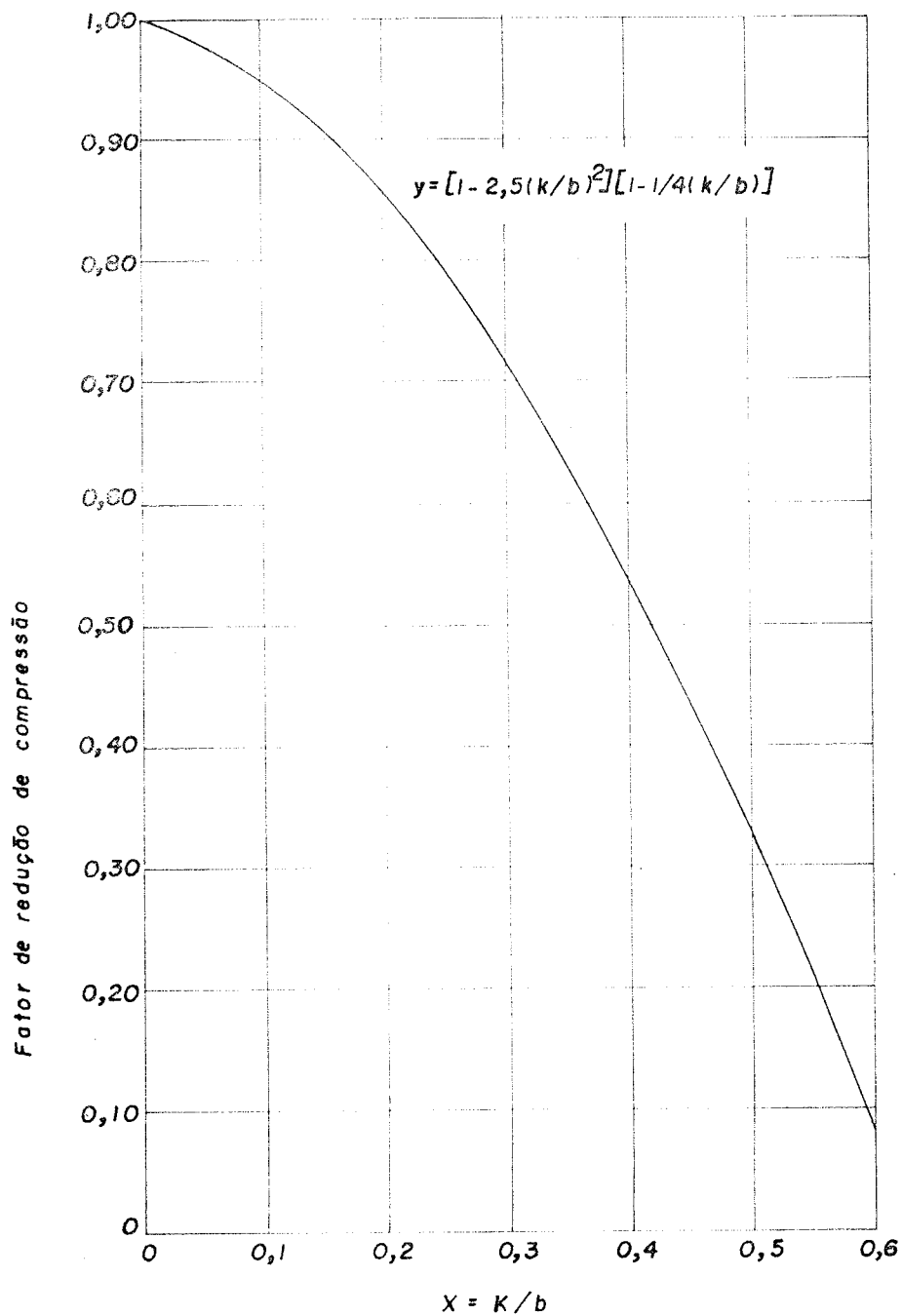


FIG. 26 - Fator de nos em peças comprimidas

A abscissa da curva é K/b , onde K é a média (sobre todas as lâminas) das dimensões dos maiores nós que ocorrem num intervalo de um metro em cada lâmina, e b é a largura final da lâmina.

3.3.3 - Fibra inclinada em colunas

Para fibras inclinadas em colunas pode-se usar a mesma tabela de flexão.

3.4 - Peças tracionadas

Estas peças estão sujeitas às mesmas considerações das a peças comprimidas.

3.4.1 - Emendas transversais

Freas e Selbo (7) recomendam o mesmo critério usado para flexão, aplicar o fator de redução em emendas em cunha em peças tracionadas. Recomendam também não usar emendas em cunha com inclinações menores que 1:10 e condenam o uso de emendas de topo, recomendando, no caso de serem usadas, subtrair a área da lâmina com a emenda de topo da área total, e fazer uma redução adicional de 20%.

No caso de emendas dentadas "Finger Joints", pode-se usar um fator de redução da porcentagem de resistência ao cisalhamento da emenda sob a resistência à tração da lâmina emendada.

$$N A_c = F_e \bar{\sigma}_t A_t$$

Onde: N = tensão admissível de cisalhamento no ângulo em que se verifica

$\bar{\sigma}_t$ = tensão admissível de tração na lâmina emendada

A_t = área tracionada na lâmina emendada

A_c = área cisalhada na emenda

F_e = fator de redução causado pela emenda

3.4.2 - Defeitos da madeira

Os defeitos da madeira estão incluídos nos fatores de redução recomendados pela Norma Brasileira.

Freas e Selbo recomendam usar como fator de redução, no caso de nós, o mesmo critério usado para peças comprimidas, e no caso de fibras irregulares, o mesmo critério usado em flexão.

3.5 - Exemplos numéricos

3.5.1 - Viga laminada reta para telhado

- vão 20m
- espaçamento 4m
- carga acidental 25Kg/m^2
- carga permanente (telha cerâmica + água) 50Kg/m^2
- carga permanente (madeiramento) 20Kg/m^2
- madeira Pinho do Paraná
- tábuas de 30cm de largura

$$\bar{\sigma}_f = 91\text{Kg/cm}^2$$

$$\bar{\tau}_{flex} = 6,1\text{Kg/cm}^2$$

$$E_a = 109300\text{Kg/cm}^2$$

$$E_p = 72900\text{Kg/cm}^2$$

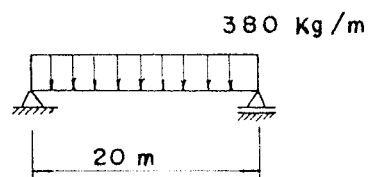
1. Dimensões requeridas para flexão

$$\begin{aligned} \text{carga permanente: } 4\text{m } (70\text{Kg/m}^2) &: 280\text{Kg/m} \\ \text{carga acidental : } 4\text{m } (25\text{Kg/m}^2) &: \underline{100\text{Kg/m}} \\ &380\text{Kg/m} \end{aligned}$$

Supor fator de altura: 0,9

fator de emendas: 0,75 (fator que controla)

$$\bar{\sigma}_f^* = 0,75 (91\text{Kg/cm}^2) = 68,25\text{Kg/cm}^2$$



$$M_{max} = 19000\text{Kg-m}$$

$$W_R = \frac{1900.000\text{Kg-cm}}{68,25\text{Kg/cm}^2} = 27838,82\text{cm}^3$$

- Provar seção 30 x 77cm (usando tábua de 30cm de largura)

$$J = 1097440,0 \text{cm}^4$$

$$Y = 38,0 \text{cm}$$

$$W_R = 28880 \text{cm}^3$$

$$\text{fator de altura} = \left(\frac{30,48}{77} \right)^{1/9} = 0,9021$$

$$\text{fator comprimento/altura} = 25,97$$

$$\text{fator de altura ajustado} = 0,8906$$

$$0,8906 > 0,75 \text{ fator que controla}$$

$$28880 > 27838,82 \quad \text{aceitável}$$

2. Verificação da estabilidade lateral (NB-11-1951)

$$\lambda' = \ell/b = \frac{2000 \text{cm}}{30 \text{cm}} = 66,66$$

$$\lambda'_0 = \frac{0,39 E_m}{K \bar{\sigma}_f} = \frac{0,39 (109300 \text{Kg/cm}^2)}{3,96 (91 \text{Kg/cm}^2)} = 118,3$$

Viga com $\lambda' < \lambda'_0$

$$66,6 < 118,3$$

$$\sigma'_f = \frac{4}{3} \bar{\sigma}_f \left(1 - \frac{1}{2} \frac{\lambda'}{\lambda'_0} \right) \leq \bar{\sigma}_f$$

$$= \frac{4}{3} (91) \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{66,6}{118,3} \right) \right] \leq 91 \text{Kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}'_f = 87,2 \text{Kg/cm}^2 < 91 \text{Kg/cm}^2 \quad \text{aceitável}$$

3. Verificação do cisalhamento

$$\tau = \frac{Q M_s}{bJ}$$

$$M_s = \frac{30 (76)^2}{8} = 21660 \text{cm}^3$$

$$\tau = \frac{3800 \text{Kg} (21660 \text{cm}^3)}{(30 \text{cm}) (1097440 \text{cm}^4)} = 2,5 \text{Kg/cm}^2$$

$$2,5 \text{Kg/cm}^2 < 6,1 \text{Kg/cm}^2 \quad \text{aceitável}$$

4. Verificação da flecha

$$f_{\text{max.}} = \frac{5wl^4}{384EJ}$$

$$f_{\text{acidental}} = \frac{5 (1,00 \text{Kg/cm}) (2000 \text{cm})^4}{384 (109300 \text{Kg/cm}^2) (1097440 \text{cm}^4)}$$

$$f_{\text{acidental}} = 1,74 \text{cm}$$

$$f_{\text{permanente}} = \frac{5 (2,8 \text{Kg/cm}) (2000 \text{cm})^4}{384 (72900 \text{Kg/cm}^2) (1097440 \text{cm}^4)}$$

$$f_{\text{permanente}} = 7,29 \text{cm}$$

$$\text{flecha total} = 9,03 \text{cm}$$

Flecha admissível segundo a NB-11

$$\frac{\ell}{350} = \frac{2000 \text{cm}}{350} = 5,71 \text{cm}$$

$$9,03 > 5,71 \quad \text{não satisfaz}$$

Flecha admissível segundo a Norma Americana (A.I.T.C.)
(1)

Carga acidental

$$\frac{\ell}{240} = 8,33 \text{cm}$$

$$8,33 \text{cm} > 1,74 \text{cm} \quad \text{aceitável}$$

Carga total

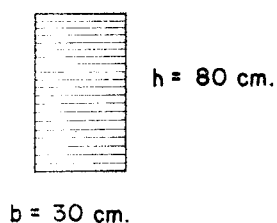
$$\frac{\ell}{180} = 11,11 \text{ cm}$$

11,11 > 9,03 cm aceitável

A flecha é admissível segundo a Norma Americana da A.I.T.C. mas inadmissível segundo a Norma Brasileira NB-11-1951.

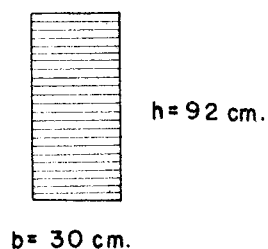
Dimensionando uma viga que passa na flecha admissível da NB-11-1951 com a largura de 30cm, obtemos uma viga de ... 88,53cm de altura. Portanto, usando tábuas de 30cm de largura e 4cm de espessura podemos usar as seguintes vigas:

1. Seção



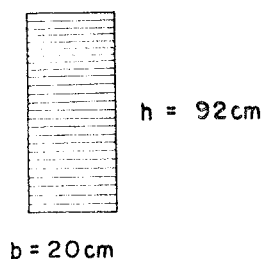
Uma viga de vinte lâminas de 4cm de espessura x 30cm de largura passa a flecha admissível recomendada pela A.I.T.C.

2. Seção



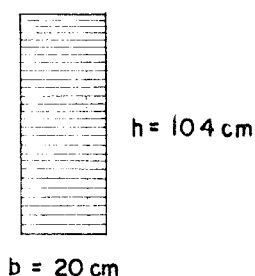
Uma viga de vinte e tres lâminas de 4cm de espessura x 30cm de largura passa a flecha admissível recomendada pela ... A.I.T.C. e NB-11-1951. Usando tábua de 20cm de largura e o mesmo método de dimensionamento obteremos:

1. Seção



Uma viga de vinte e tres lâminas de 4cm de espessura x 20cm de largura passa a flecha admissível recomendada pela ... A.I.T.C.

2. Seção



Uma viga de vinte e seis lâminas de 4cm de espessura x 20cm de largura passa a flecha admissível recomendada pela ... A.I.T.C. e NB-11-1951.

Comparando as duas vigas que passam a flecha recomendada pela NB-11-1951 temos:

- Tábuas de 30cm de largura
 $30 \times 92 = 2760\text{cm}^2$ Seção transversal
- Tábuas de 20cm de largura
 $20 \times 104 = 2080\text{cm}^2$ Seção transversal

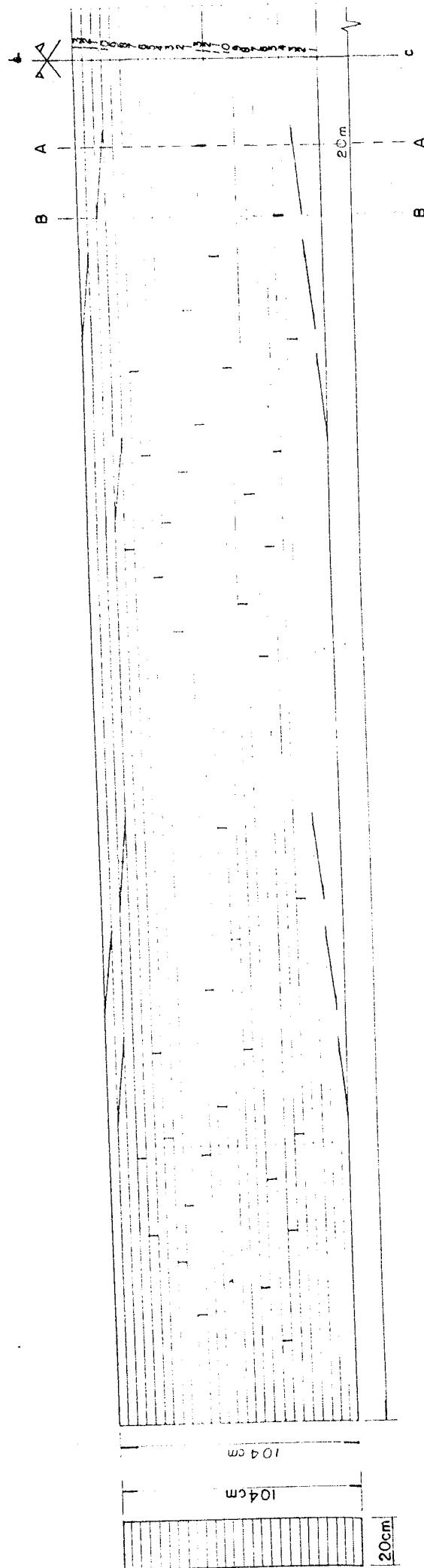


FIG. 27 - Exemplo de viga laminada reta para telhado para um vão de 20 m.

Verificação do fator de emenda:

$$\text{Momento de inércia da seção} = 1874773,3\text{cm}^4$$

Verificando a seção A-A (6,5cm do centro). Segundo o critério de Freas e Selbo anteriormente descrito, calculamos o momento de inércia:

Seis lâminas externas com emendas em cunha 1:15.

$$0,9 \left[(2) \frac{20(12)^3}{12} + (2) (20) (12) (46)^2 \right] = 919296\text{cm}^4$$

Lâminas 4 a 12 parte inferior

$$0,8 \left[\frac{(20)(36)^3}{12} + 20(36) (22)^2 \right] = 340992\text{cm}^4$$

Lâminas 1 a 10 parte superior

$$0,8 \left[\frac{(20)(40)^3}{12} + (20) (40) (20)^2 \right] = 341333,4\text{cm}^4$$

Lâmina 13 = 0

$$919296\text{cm}^4 + 340992\text{cm}^4 + 341333,4\text{cm}^4 + 0 = 1601621,4\text{cm}^4$$

Fator de emenda da seção:

$$\frac{1601621,4}{1874773,3} = 0,85$$

Momento máximo = 19000Kg-m

Momento na seção 1-1:

$$380 (10) (9,35) - \frac{380 (9,35)^2}{2} = 18919,7\text{Kg-m}$$

$$\frac{19000}{18919} = 1,004$$

Fator de emenda para a viga será:

$$0,85 (1,004) = 0,853$$

$$0,853 > 0,75 \quad \text{aceitável}$$

Verificando a seção B-B, usando o mesmo critério obtemos um fator de emenda para a viga = 0,796

$$0,796 > 0,75 \quad \text{aceitável}$$

3.5.2 - Viga inclinada de duas águas

- vão 20m
- espaçamento 4m
- inclinação 5° (8,7%)
- carga accidental (vento) 25Kg/m²
- carga permanente (madeiramento) 20Kg/m²
- madeira Pinho do Paraná

$$\bar{\sigma}_f = 91 \text{Kg/cm}^2$$

$$\bar{\tau}_{flex} = 6,1 \text{Kg/cm}^2$$

$$\bar{\sigma}_n = 16,0 \text{Kg/cm}^2$$

$$E_a = 109300 \text{Kg/cm}^2$$

$$E_p = 72900 \text{Kg/cm}^2$$

$$G = 0,06 (109300 \text{Kg/cm}^2) = 6558 \text{Kg/cm}^2$$

1. Determinação da altura mínima

Supor largura 20cm

carga accidental 25Kg/m² - 100Kg/m

carga permanente 40Kg/m² - 160Kg/m

$$Q = \frac{w\ell}{2} = \frac{260 \text{Kg/m} (20\text{m})}{2} = 2600 \text{Kg}$$

Para uma seção retangular:

$$h_e = \frac{3Q}{2b\tau_f} = \frac{3 (2600 \text{Kg})}{2 (20\text{cm}) (6,1 \text{Kg/cm}^2)} = 31,96 \text{cm}$$

Usar 32cm

2. Determinação da altura no centro da viga

$$h_c = h_e + \text{Inclinação (vão/2)}$$

$$h_c = 32\text{cm} + (0,087) (1000\text{cm})$$

$$h_c = 119\text{cm}$$

3. Verificação da flecha máxima (método A.I.T.C.) (1)

a) Flecha devida à flexão

$$\text{coeficiente} = C_y = \frac{h_c - h_e}{h_e} = \frac{119 - 32}{32} = 2,72$$

A ordenada na figura (28) é 1,1

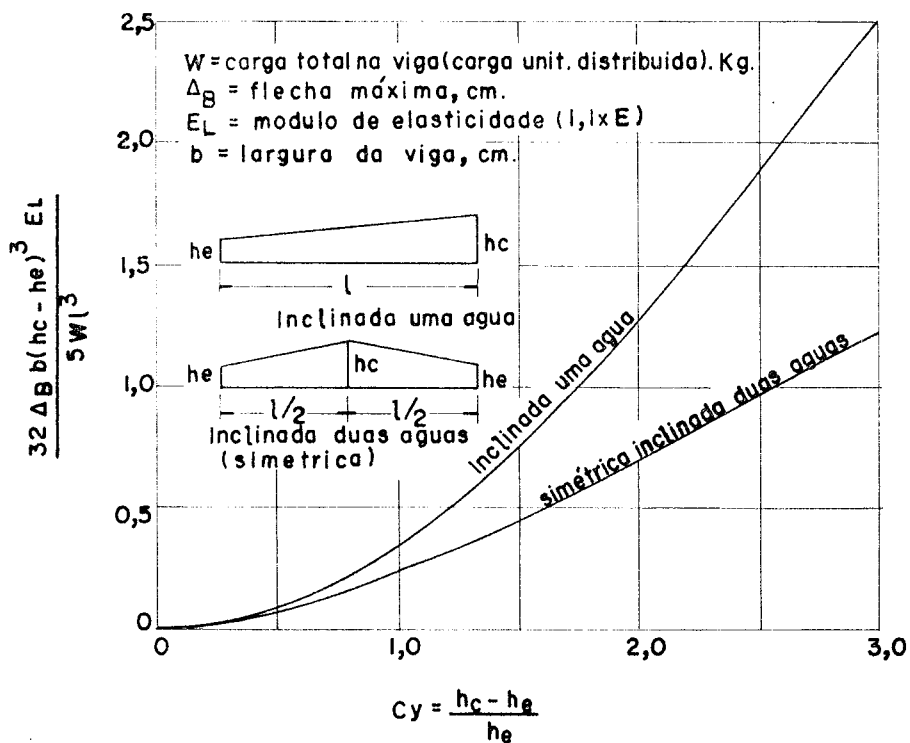


FIG. 28 - Diagrama para cálculo de flechas (A.I.T.C.).

$$1,1 = \frac{32 f (\text{flexão}) b (h_c - h_e)^3 E (1,1)}{5w\ell^4}$$

$$f (\text{flexão}) = \frac{1,1 (5) (1,0) (2000)^4}{32 (20)(119-32)^3 (109300) (1,1)}$$

$$+ \frac{1,1 (5) (1,6) (2000)^4}{32 (20) (119 - 32)^3 (72900) (1,1)}$$

$$= 1,73 + 4,16 = 5,89 \text{ cm}$$

b) Flecha devida ao cisalhamento

$$f_{\text{cisal.}} = \frac{3w\ell^2}{20G.b.h_e} = \frac{3 (2,6) (2000)^2}{20 (6558) (20) (32)} = 0,37 \text{ cm}$$

$$\text{flecha total} = 5,89 + 0,37 = 6,26 \text{ cm}$$

flecha admissível segundo a A.I.T.C.

$$\frac{\ell}{180} = \frac{2000}{180} = 11,11 \text{ cm}$$

$$6,26 < 11,11 \text{ cm} \quad \text{aceitável}$$

flecha admissível segundo a NB-11-1951

$$\frac{\ell}{350} = \frac{2000}{350} = 5,71 \text{ cm}$$

$$6,26 > 5,71 \text{ cm} \quad \text{não passa}$$

A flecha é admissível segundo a Norma da A.I.T.C., mas inadmissível segundo a NB-11-1951.

4. Verificação das tensões atuantes

Altura onde acontecem as maiores tensões para uma carga uniformemente distribuída.

$$h = \frac{h_e}{h_c} (2h_c - h_e)$$

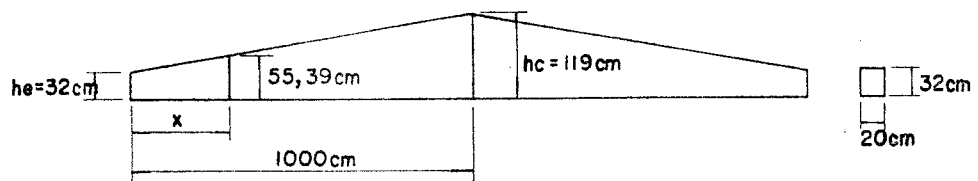
$$= \frac{32}{119} (2(119) - 32) = 55,39\text{cm}$$

Supor fator de emendas: 0,75
fator de altura

$$F_a = \left(\frac{30,48}{55,39} \right)^{1/9} = 0,935$$

fator de altura ajustado: 0,907
usar fator de emendas: 0,75

$$\bar{\sigma}_f^* = 0,75 (91) = 68,25\text{Kg/cm}^2$$



$$x = \left(\frac{h - h_e}{h_c - h_e} \right) \ell / 2 = \frac{55,39\text{cm} - 32\text{cm}}{119\text{cm} - 32\text{cm}} \left(\frac{2000\text{cm}}{2} \right)$$

$$x = 268,85\text{cm}$$

$$M = \frac{W\ell}{2} (x) - \frac{Wx^2}{2} = \frac{2,6(2000)(268)}{2} - \frac{2,6(268)^2}{2}$$

$$M = 603428,8$$

$$\sigma_f \text{ atuante} = \frac{M}{W_R} = \frac{603428,8 (6)}{20 (55,39)^2} = 59,0\text{Kg/cm}^2$$

$$59 < 68,25\text{Kg/cm}^2 \quad \text{aceitável}$$

Tensão de cisalhamento (A.I.T.C.)

$$\tau_{\text{atuante}} = \sigma_f \text{ atuante } (\text{tang } \theta)$$

$$\tau_{\text{atuante}} = 59 (\text{tang } 5^\circ) = 5,16 \text{ Kg/cm}^2$$

$$5,16 < 6,1 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{aceitável}$$

Compressão normal (A.I.T.C.)

$$\sigma_n \text{ atuante} = \sigma_f \text{ atuante } \text{tang}^2 \theta$$

$$\sigma_n \text{ atuante} = 59 (\text{tang } 5^\circ)^2 = 0,45 \text{ Kg/cm}^2$$

$$0,45 < 16 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{aceitável}$$

5. Verificação do efeito da combinação de tensões atuantes no ponto de maior tensão ($h = 55,39 \text{ cm}$)

Fórmula de combinação:

$$\frac{\sigma_f \text{ atuante}^2}{\bar{\sigma}_f^2} + \frac{\tau \text{ atuante}^2}{\tau \text{ flexão}} + \frac{\sigma_n \text{ atuante}^2}{\bar{\sigma}_n} \leq 1$$

$$\frac{59^2}{91^2} + \frac{5,16^2}{6,1^2} + \frac{0,45^2}{16^2} = 0,42 + 0,71 + 0,0007$$

$$1,13 > 1 \quad \text{não passa}$$

Provar com viga com $h_e = 40 \text{ cm}$, $h_c = 127 \text{ cm}$

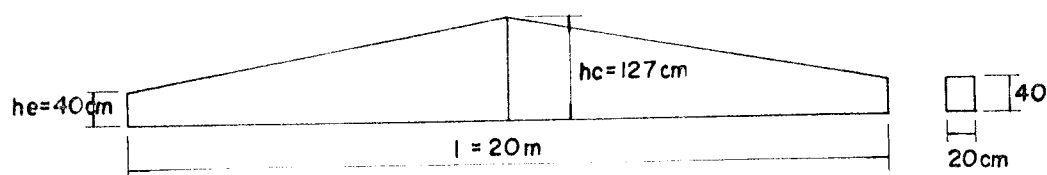


FIG. 29 - Seção a usar em viga inclinada com duas águas com vão de 20m.

$$h_{\text{crítico}} = \frac{h_e}{h_c} (2h_c - h_e)$$

$$h_{\text{crítico}} = \frac{40}{127} (2(127) - 40) = 67,40\text{cm}$$

$$x = \left(\frac{h - h_e}{h_c - h_e} \right) \ell / 2 = \frac{67,40 - 40}{127 - 40} (1000) = 314,9\text{cm}$$

$$M = \frac{2,6 (2000) 314,9}{2} - \frac{2,6 (314,9)^2}{2}$$

$$M = 818740 - 128910,6 = 689829,38\text{Kg-cm}$$

$$\sigma_f \text{ atuante} = \frac{689829,4 (6)}{20 (67,4)^2} = 45,55\text{Kg/cm}^2$$

$$\tau \text{ atuante} = 45,55 (\text{tang } 59) = 3,98\text{Kg/cm}^2$$

$$\tau \text{ atuante} = 45,55 (\text{tang } 59)^2 = 0,348\text{Kg/cm}^2$$

$$\frac{(45,55)^2}{91^2} + \frac{3,98^2}{6,1^2} + \frac{0,348^2}{16^2} = 0,25 + 0,43 + 0,0004$$

0,68 < 1 aceitável

6. Verificação da flecha

flecha por flexão:

$$C_y = \frac{h_c - h_e}{h_e} = \frac{127 - 40}{40} = 2,175$$

da figura () temos:

$$0,7 = \frac{32 f_{\text{flexão}} b (h_c - h_e)^2 F (1,1)}{5W\ell^4}$$

$$f_{\text{flexão}} = \frac{0,7 (5) (1,0) (2000)^4}{32 (20) (167 - 40)^3 (109300) (1,1)}$$

$$+ \frac{0,7 (5) (1,6) (2000)^4}{32 (20) (127 - 40)^3 (72900) (1,1)} = 1,1 + 2,65$$

$$f_{\text{flexão}} = 3,75 \text{ cm}$$

flecha devido ao cisalhamento

$$f_{\text{cisal.}} = \frac{3W^2}{206 b h_e} = \frac{3 (2,6) (2000)^2}{20 (6558) (20) (40)} = 0,297$$

$$f_{\text{total}} = 3,75 + 0,3 = 4,05 \text{ cm}$$

4,05 cm < 5,89 cm aceitável

flecha admissível na NB-11-1951 e na A.I.T.C.

3.5.3 - Arco laminado circular biarticulado

- vão 30m
- espaçamento 5m
- $A = \text{ângulo da tangente} = 42^\circ$
- $R = 22,4\text{m}$
- espessura da lâmina $t = 38\text{mm}$
- fator de curvatura $F_c = 1 - 2000 (t/R)^2 = 0,994$
- fator de emendas a flexão $F_e = 0,9$
- fator de emendas a compressão $F_e = 1,0$

carregamentos:

- carga acidental (vento) $q = 60\text{Kg/m}^2$
- carga permanente - madeiramento = 20Kg/m^2
- cimento amianto + água = 20Kg/m^2
- madeira = Pinho do Paraná

tensões admissíveis :

- momento fletor $\bar{\sigma}_f = 91\text{Kg/cm}^2$
- cisalhamento $\bar{\tau} = 6,1\text{Kg/cm}^2$
- compressão paralela $\bar{\sigma}_c = 53,5\text{Kg/cm}^2$
- compressão normal $\bar{\sigma}_n = 16\text{Kg/cm}^2$
- módulo de elasticidade $E = 109300\text{Kg/cm}^2$

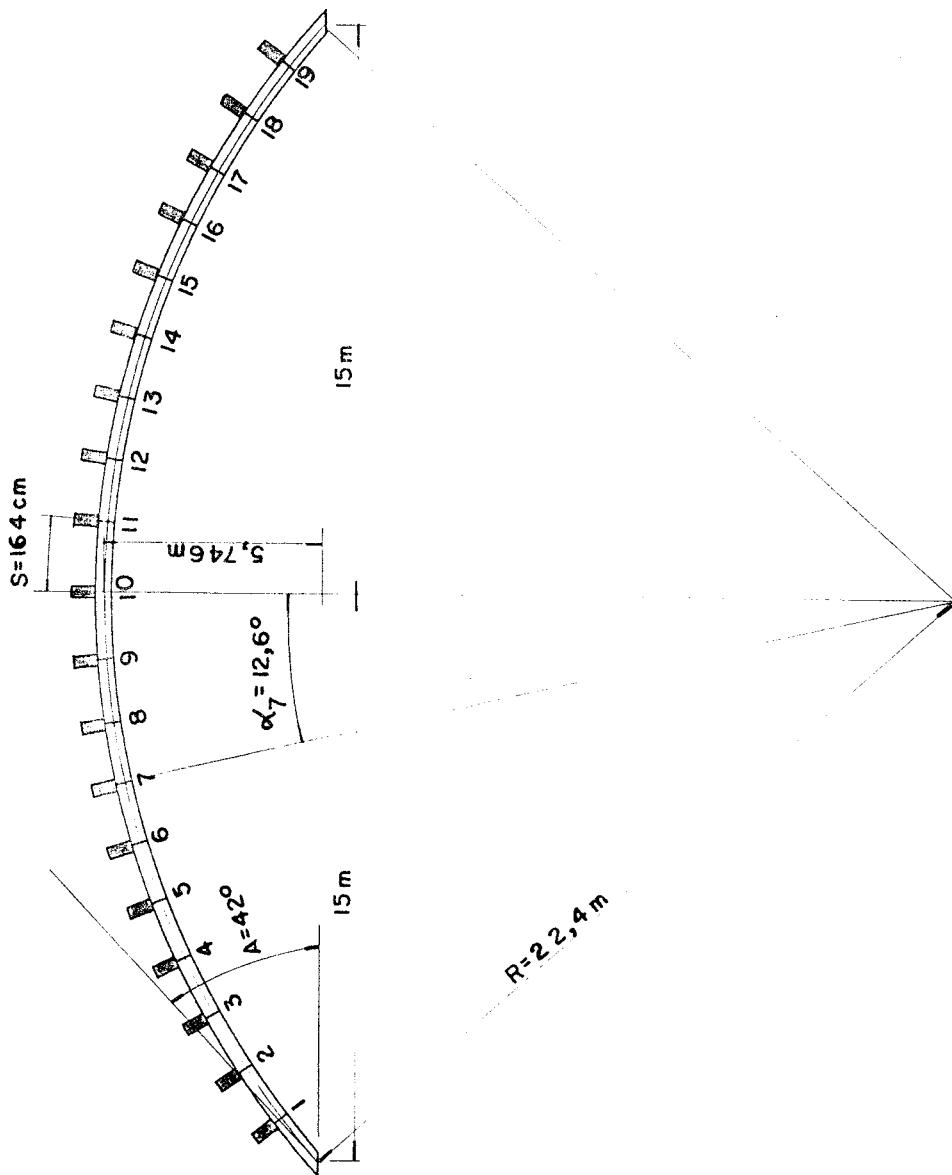
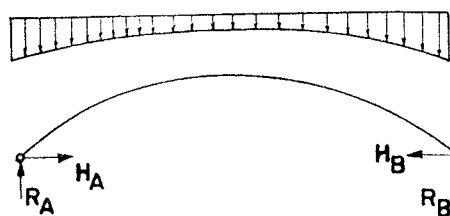


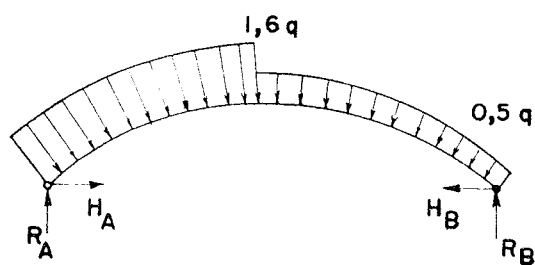
FIG. 30 - Notações de arco laminado bi articulado.

1. Cálculo estático

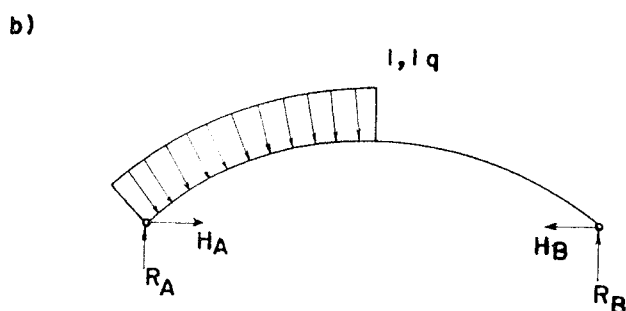
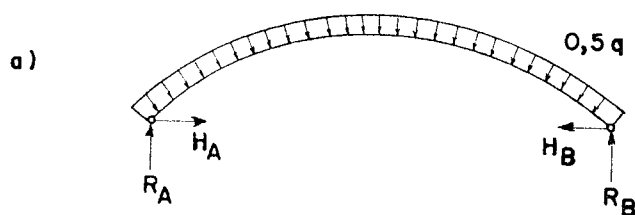
carga permanente:



- Vento com edifício aberto (8)

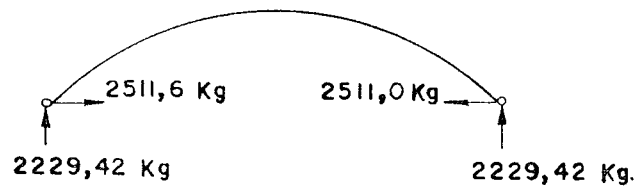
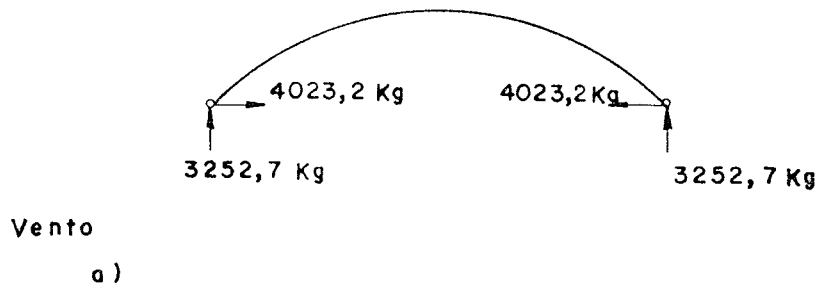


- Para facilitar o cálculo, o vento é calculado em duas partes:

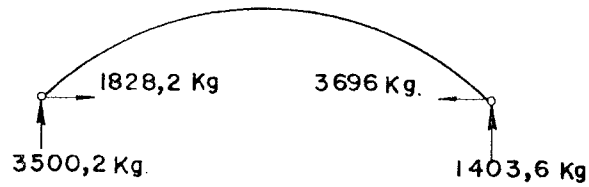


- Das tabelas de Szymczyk (21) obtemos,

Para carga permanente:

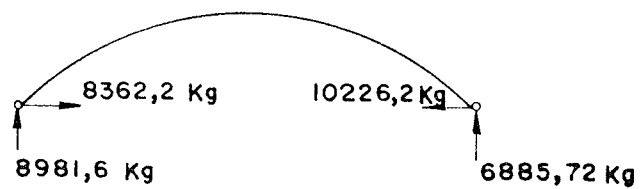


momento em todos
os pontos = 0 (zero).



Combinação

C.P. + Vento



Ponto	Ângulo α_n Graus	Momento Carga permanente (Kg-m)	Momento Vento (b) (Kg-m)	Combinação (Kg-m)
1	37,8	- 293,5	2068,0	1774,5
2	33,6	- 418,0	3689,4	3271,4
3	29,4	- 831,9	4853,2	4021,3
4	25,2	- 328,2	5554,3	5226,1
5	21	- 193,2	5788,6	5595,4
6	16,8	- 38,1	5554,3	5516,2
7	12,6	108,4	4853,2	4961,6
8	8,4	232,3	3689,4	3921,7
9	4,2	307,6	2068,0	2375,6
10	0	334,2	0,0	334,2
11	4,2	307,6	- 2068,0	- 1760,4
12	8,4	232,3	- 3689,4	- 3457,1
13	12,6	108,4	- 4853,2	- 4744,8
14	16,8	- 38,1	- 5554,3	- 5592,4
15	21	- 193,2	- 5725,6	- 5918,8
16	25,2	- 328,2	- 5554,3	- 5882,5
17	29,4	- 831,9	- 4853,2	- 5685,1
18	33,6	- 418,0	- 3689,4	- 4107,4
19	37,8	- 293,5	- 2068,0	- 2361,5

O momento máximo ocorre no ponto 15, neste ponto as forças normais são :

carga permanente:

$$N = 4339,3 \text{ Kg}$$

vento (a):

$$N = 3360 \text{ Kg}$$

vento (b):

$$N = 3954,4 \text{ Kg}$$

Força normal para a combinação:

$$N' = 11654 \text{ Kg}$$

2. Determinação da seção

$$A = \frac{N'}{\bar{\sigma}_c} = \frac{11654}{53,5} = 218 \text{ cm}^2$$

$$W_R = \frac{H}{\bar{\sigma}_f (F_e) (F_c)} = \frac{5918(100)}{91(0,9)(0,992)} = 7284,2 \text{ cm}^3$$

Para a seção 20 x 48cm, $W_R = 7680 \text{ cm}^3 > 7284 \text{ cm}^3$

3. Verificação da combinação de tensões

O ponto de inversão de momentos para a combinação carga permanente + vento ocorre perto do meio do arco (a direita) portanto $\ell = 16,06 \text{ m}$.

$$\lambda = \ell / i = \frac{16,06}{13,85} = 115,9 \text{ (coluna longa)}$$

i = raio de giro tomado no mesmo sentido do momento atuante.

$$\sigma_f' = \frac{\pi^2 E}{4 \lambda^2} = \frac{\pi^2 (109300)}{4 (115,9)^2} = 20,1 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\frac{M}{W_R} = \frac{5918(100)}{7680} = 77,06 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\frac{N'}{A} = \frac{11654}{960} = 12,13 \text{ Kg/cm}^2 < \frac{M}{W_R}$$

$$\frac{P'}{A \bar{\sigma}_c} + \frac{H}{W_R \bar{\sigma}_f F_e} = \frac{11654}{960(20,1)} + \frac{5918(100)}{7680(9)(0,9)}$$

$$= 0,603 + 0,94 = 1,54 < 1 \quad \text{não passa}$$

-Tentar seção 20 x 60cm

$$\lambda = l/i = 92,72 \quad (\text{coluna longa})$$

$$\bar{\sigma}_c = \frac{\pi^2 E}{4 \lambda^2} = \frac{\pi^2 (109300)}{4 (92,72)^2} = 31,37 \text{ Kg/cm}^2$$

$$W_R = 12000 \text{ cm}^3$$

$$\frac{N'}{A \bar{\sigma}_c} + \frac{M}{W_R \bar{\sigma}_f F_e} = \frac{11654}{1200(31,37)} + \frac{5918(100)}{12000(91)(0,9)}$$

$$= 0,309 + 0,602 = 0,911 < 1 \text{ aceitável}$$

4. Verificação do cisalhamento

$$Q = 6885,72 (\cos 42^\circ) - 10226,2 (\sin 42^\circ)$$

$$Q = 1725,57 \text{ Kg}$$

$$\tau = \frac{Q M_s}{b J}$$

$$J = \frac{b h^3}{12} = \frac{20 (60)^3}{12} = 360000 \text{ cm}^4$$

$$M_s = \frac{b h^2}{8} = 9000 \text{ cm}^3$$

$$\tau = \frac{1725,57 (9000)}{20 (360000)} = 2,16 < 6,1 \text{ aceitável}$$

5. Verificação da estabilidade lateral do arco segun- do critério da A.I.T.C. (1)

$$h/b = 60/20 = 3 < 5 \quad \text{aceitável}$$

- fazer verificação de "coluna" entre as terças (índice de esbeltez " λ " com o valor mínimo do raio de giro " i ").

$$\lambda = \ell/i = 28,42 \quad (\text{coluna curta})$$

$$\text{usar } \bar{\sigma}_c = 53,5 \text{ Kg/cm}$$

$$\frac{N'}{A \bar{\sigma}_c} + \frac{N}{R \bar{\sigma}_f F_e} = \frac{11654}{1200(53,5)} + \frac{591800}{12000(91)(0,9)}$$

$$= 0,182 + 0,602 = 0,784 < 1 \text{ aceitável}$$

6. Verificação da tensão radial

$$R = \text{raio de curvatura} + h/2$$

$$= 22,4 (100) + 30 = 227 \text{ cm}$$

O momento máximo é negativo (aumenta o raio de curvatura, porém a tensão é de compressão).

$$\bar{\sigma}_n = 16 \text{ Kg/cm}$$

$$S_r = \frac{3 N}{2 R b h} = \frac{3(5981,8)(100)}{2(2270)(20)(60)} = 0,33 \text{ Kg/cm}^2$$

$$= 0,33 < 16 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{aceitável}$$

Passando esta última verificação usa-se uma seção de 20 x 60,8 cm

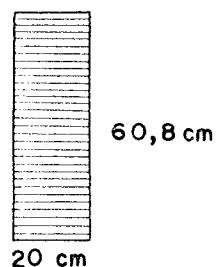
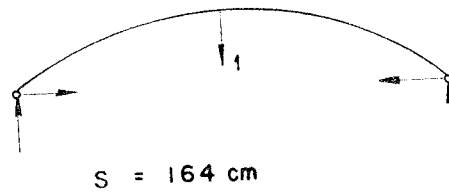


FIG. 31 - Seção a usar em arco laminado biarticulado com vão de 30m.

7. Determinação da flecha no centro do arco com:

a) - Carga permanente



$$f_c = \frac{S \sum Mm}{EJ}$$

Ponto	Carga unitária m (m)	Carga permanente M (Kg-m)	Mm (Kg-m ²)
1	- 0,018	- 293,5	5,283
2	- 0,03	- 418,0	12,540
3	- 0,037	- 831,9	30,780
4	- 0,038	- 328,2	12,472
5	- 0,032	- 193,2	6,182
6	- 0,021	- 38,1	0,800
7	- 0,004	108,4	- 0,434
8	- 0,018	232,3	- 4,181
9	0,047	307,6	14,457
10	0,08	334,6	26,736
11	0,047	307,6	14,457
12	0,018	232,3	- 4,181
13	- 0,04	108,4	- 0,434
14	- 0,021	- 38,1	0,800
15	- 0,032	- 193,2	6,182
16	- 0,038	- 328,2	12,472
17	- 0,037	- 831,9	30,780
18	- 0,03	- 418,0	12,540
19	- 0,018	- 293,5	5,283
			5,283
		ΣMm	182,534 (Kg-m ²)

$$f_c = \frac{164 \text{ cm } (182,534) (10000) \text{ Kg-cm}^2}{(109300 \text{ Kg/cm}^2) (360000 \text{ cm}^4)}$$

$$f_c = 0,076 \text{ mm}$$

b) Combinação carga permanente + vento

Ponto	Carga unitária m (m)	Combinação M (Kg-m)	Mm (Kg-m ²)
1	- 0,018	1774,5	- 31,941
2	- 0,03	3271,4	- 98,142
3	- 0,037	4021,3	-148,788
4	- 0,038	5226,1	-198,592
5	- 0,032	5595,4	-179,053
6	- 0,021	5516,2	-115,840
7	- 0,004	4961,6	- 19,846
8	0,018	3921,7	70,591
9	0,047	2375,6	111,653
10	0,08	334,2	26,736
11	0,047	- 1760,4	- 82,739
12	0,018	- 3457,1	- 62,228
13	- 0,004	- 4744,8	18,979
14	- 0,021	- 5592,4	117,44
15	- 0,032	- 5918,8	189,402
16	- 0,038	- 5882,5	223,535
17	- 0,037	- 5685,1	210,349
18	- 0,03	- 4107,4	123,222
19	- 0,018	- 2361,5	42,507
			<u>Σ Mm</u> 197,245 (Kg-m ²)

$$f_c = \frac{164 \text{ cm } (197,245) (10000) \text{ Kg-cm}^2}{(109300 \text{ Kg/cm}^2) (360000 \text{ cm}^4)}$$

$$f_c = 0,0822 \text{ mm}$$

4 - EXPERIMENTAÇÃO

4.1 - Pesistência ao cisalhamento do Pinho do Paraná colado

Iniciou-se a experimentação com ensaios da resistência ao cisalhamento. Os corpos de prova foram colados usando-se "sargentos" e pregos como elemento de pressão cuidando-se para estudar a influência da densidade e umidade na ligação colada.

4.1.1 - Cola usada

A cola usada foi Cascophen RS-216-M, fabricada pela Alba S.A. O boletim técnico do fabricante descreve a cola da seguinte maneira:

Generalidades: É uma resina sintética, à base de fenol-resorcinol, em solução de álcool e água, especialmente recomendada para colagens resistentes à água fria ou fervente, muitos solventes orgânicos, fungos e mofo, ao calor seco ou úmido, etc. Cola perfeitamente todos os tipos de madeira, inclusive alguns tipos tratados com preventivos contra fogo, duratex, eucatex, fórmica, formiplac, perstore e outros materiais densos, proporcionando uma liga perfeita e duradoura. Excelente para trabalhos navais, hidráulicos e outros, onde a colagem deverá ficar exposta temporária ou definitivamente à ação de intempéries ou água, como é o caso de barcos, caixas d'água, etc.

Mistura e preparação: Cascophen RS-216-M é usada em conjunto como catalizador em pó FM 60-M na seguinte proporção:
(Os ingredientes devem ser sempre pesados).

Cascophen RS-216-M	100
Catalizador FM 60-M	20

A preparação é feita misturando o catalizador FM 60-M à resina, até que sua dispersão fique homogênea. A cola assim preparada, numa temperatura de 20°C terá uma vida útil de aproximadamente 5 horas, e a 32°C a vida útil será de apenas 1 hora e 45 minutos. A adição de 5 a 10% de álcool é recomendada quando a cola estiver grossa por evaporação de solvente, e quando for necessário melhorar a penetração da cola na colagem de madeiras densas.

Espalhamento da cola: A aplicação da cola poderá ser feita com pincel ou escova nos serviços pequenos. Em séries grandes é recomendado o uso de passadeiras de cola, com rolos revestidos de borracha. Em geral, a aplicação da cola em apenas uma face é suficiente, porém nos casos de madeiras pouco porosas e outros materiais densos sugerimos a aplicação nas duas faces a serem coladas. (O autor foi aconselhado pelo Sr. Mário de Andrade da Assessoria Técnica da Alba a aplicar sempre a cola nas duas faces).

Tempo de montagem: Regular o tempo mínimo da montagem, isto é, o tempo compreendido entre o espalhamento da cola na superfície até a aplicação de pressão a fim de permitir a penetração da cola, de acordo com o quadro seguinte:

Tempo máximo de montagem em minutos.

Temperatura ambiente da madeira e da cola	20°C	27°C	32°C	38°C
Montagem aberta.....	15	10	7	5
Montagem fechada.....	60	40	25	15

Tempo mínimo de prensagem em horas.

Temperatura ambiente da madeira e da cola	20°C	24°C	27°C	32°C
Tempo mínimo sob pressão em horas.....	8a10	6a8	4a6	4a5

Após a retirada das peças dos grampos de prensagem, as colagens atingirão o máximo de resistência depois de 8 a 10 dias, mantidos em repouso à temperatura ambiente.

Pressão : É necessário que a pressão total seja proporcional às dimensões das peças ou que as atinga por igual, de maneira uniforme, a fim de proporcionar um contato perfeito em toda a extensão (Andrade, da Assistência Técnica da Alba, recomenda aplicar 10Kg/cm^2 de pressão).

Umidade da madeira: Para uma boa colagem, a umidade da madeira deve ser de 10 a 15%. O uso de madeiras com umidade superior a 15% resultará num tempo de penetração e montagem maior, permitindo assim uma completa secagem da cola. Esses tempos serão menores para a madeira no (ou abaixo do) limite mínimo de umidade, isto é, madeira muito seca.

Temperatura de trabalho: O ideal é uma temperatura de 25 a 30°C. Nas temperaturas baixas é exigido um tempo de penetração e montagem maior. Cuidados devem ser observados quando a temperatura for muito baixa, pois em ambiente frio a penetração é menor. As baixas temperaturas elevam a viscosidade da cola, reduzindo sua penetração. O aquecimento posterior à aplicação na madeira não aumenta esta penetração, resultando numa colagem muito fraca ou defeituosa.

Preparação da madeira: A madeira deverá ser preparada, aplainada e lixada pouco tempo antes de aplicação da cola. As movimentações, empenamentos e deformações ocorrem em menos de 48 horas após a preparação e, portanto, para compensados de alta qualidade e resistência o ideal será que a laminação ou preparação da superfície seja feita muito próxima à aplicação da cola. Andrade, da Assessoria Técnica da Alba, (fabricante do Cascophen) recomendou a aplicação da cola em ambas as faces, das lâminas colocando 300g/m² da cola e aplicando a pressão de 10 Kg/cm². Para medir a pressão aplicada na cola o autor usou um torquímetro calibrado aplicando pressão contra dois anéis dinamométricos (ver foto).

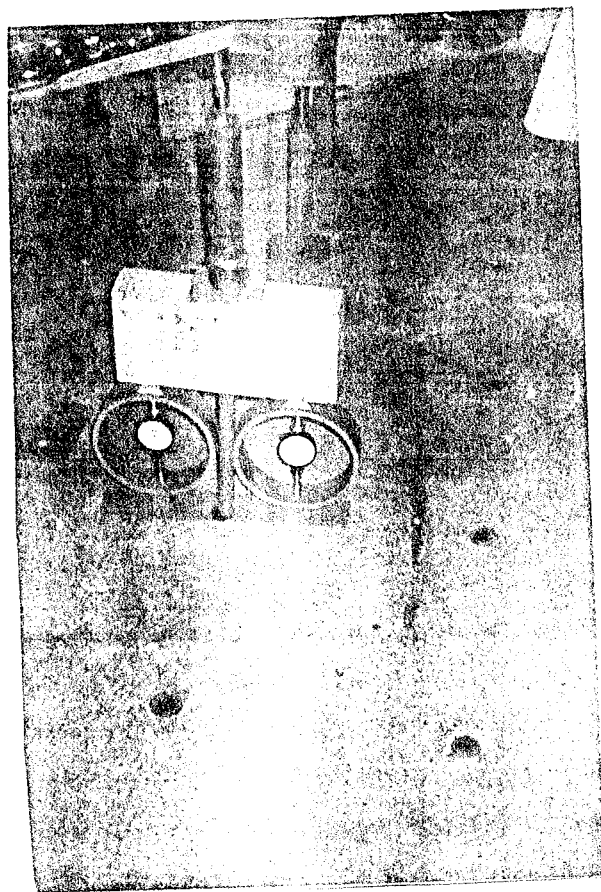


FOTO Nº 7 - Calibração do Torquímetro

4.1.2 - Descrição do ensaio

A colagem do Pinho do Paraná sob pressão de prensa de parafusos e através de prenos foi testada de acordo com a Norma A.S.T.M. D905-49, (9) que especifica a colagem de pequenos blocos de madeira de 4,44 x 5 x 1,9cm. No ensaio foi adaptado para 5 x 5 x 2cm. Ver figura.

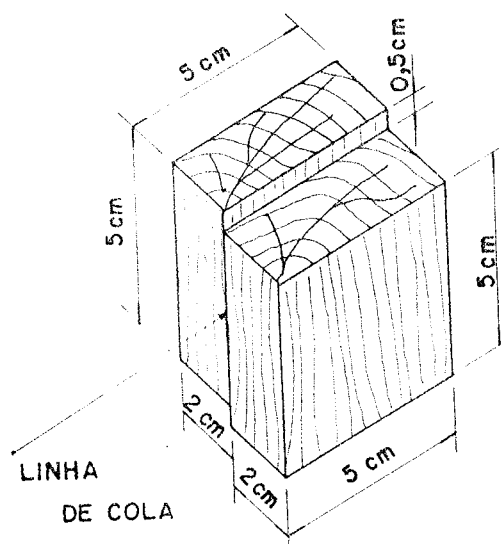


FIG. 32 - Corpo de prova usado para avaliar a resistência ao cisalhamento da colagem.

A pesquisa consiste em encontrar a influência da umidade e densidade na colagem, e por outro lado testar a viabilidade da aplicação de pressão com pregos, que é mencionada por Ozelton no Timber Designers Manual. Embora seja um método pouco divulgado e pouco mencionado na bibliografia, é interessante já que dispensa o uso de prensas de parafusos ou "sargentos".

A madeira testada foi o Pinho do Paraná. A pressão foi de 10Kg/cm^2 , usando 300g/m^2 . A colagem foi a frio (25°C), com um tempo de cura de 24 horas. Os corpos de prova foram preparados com pequenos blocos de 5cm de comprimento cortados de barras de seção 2 x 5cm. Quinze pares de blocos da mesma barra foram climatizados em diferentes níveis de umidade (30, 20, 15, 10 e 5%). As barras usadas apresentaram variação de densidade, sendo uma de $0,52\text{gr/cm}^3$, uma de $0,60\text{gr/cm}^3$, uma de $0,65\text{gr/cm}^3$, e outra de $0,68\text{gr/cm}^3$ antes da climatização. Para pressão promovida por pregos foram utilizados corpos de prova em diversos níveis de umidade, mas apenas para uma densidade de $0,66\text{gr/cm}^3$.

4.1.3 - Resultados - Tabela de influência da umidade e densidade
no cisalhamento da junta colada sob prensas

Corpo	Umidade*	Densidade	Cisalh. (Kg/cm ²)	% de rup. média na madeira do cis. (Kg/cm ²)	média de % de rup. na madeira
1			22,2	2	
2	30%	0,52	9,8	0	24,73
3			42,2	2	
4			105,4	30	
5	20%	0,52	107,4	50	105,4
6			103,4	20	
7			123,5	100	
8	15%	0,52	57,2	50	101,2
9			122,8	100	
10			142,6	100	
11	10%	0,52	123,8	98	135,5
12			140,0	98	
13			69,71	60	
14	5%	0,52	55,03	40	72,9
15			93,96	95	
16			124,43	100	
17	30%	0,60	118,7	100	124,6
18			130,7	100	
19	20%	0,60	65,8	80	98,6
20			131,4	100	
21			121,5	100	
22	15%	0,60	135,5	100	120,6
23			104,7	98	
24			143,6	100	
25	10%	0,60	150,4	100	143,3
26			135,8	100	
27			168,7	100	
28	5%	0,60	144	100	134,3
29			90,2	50	

continua

30			122,4	60		
31	30%	0,65	72,7	100	89,2	76,7
32			72,6	70		
33			117,6	100		
34	20%	0,65	112,4	100	101,33	100
35			74,0	100		
36			132,6	98		
37	15%	0,65	111,8	100	122,5	79,3
38			123	40		
39	10%	0,65	119,4	98	107,6	99
40			95,8	100		
41			96,5	85		
42	5%	0,65	104,6	100	97,23	93,3
43			90,6	95		
44			106,5	95		
45	30%	0,68	80	100	97,2	96,7
46			105,1	95		
47			113,9	100		
48	20%	0,68	115,8	100	103,2	90
49			80	70		
50			106,2	100		
51	10%	0,68	138,2	100	111,0	100
52			88,7	100		
53			121,1	98		
54	5%	0,68	82,0	70	86,53	89,3
55			56,6	100		
MADEIRA COLADA SOB PREGOS						
56			93,4	20		
57	30%	0,66	131,5	50	107,2	30,0
58			96,6	20		
59			56,8	50		
60	20%	0,66	94,9	70	71,2	50,0
61			61,8	30		
62			124,2	90		
63	15%	0,66	63,6	40	91,8	60,0
64			87,5	50		

Continuação ...

65			130,8	90		
66	10%	0,66	62,3	4	118	64,6
67			100,9	100		
68	5%	0,66	125,9	80	98	87,5
69			71,3	95		

*Umidade aproximada dos blocos durante a colagem.

4.1.4 - Análise estatística e observações

4.1.4.1 - Análise dos corpos colados a diversas umidades e densidades

A análise estatística dos ensaios de influência da umidade e densidade no cisalhamento da junta colada sob prensas, foi realizada fazendo uma regressão múltipla usando o sistema SAS (Statistical Analysis System), de propriedade do ICMSC - USP (Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos - Universidade de São Paulo), no computador IBM-370 mod.155 do IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas Nucleares). A seguir, a listagem fornecida pelo computador.

LABORATORIO DE ESTADISTICA
ICMSC-USP E DCEB-UFSCAR

CISALHAMENTO DE MADEIRA
ENG. JULIO R. TORRES L.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UMIDADE E DENSIDADE

PLT. DE UNID/DENS LEGENDA A = 1 OBS, B = 2 OBS, ETC.

30 + C C C C C

25 +

20 + B C C C C

JMID

15 + C C C C C

10 + C C C C C

5 + C C C C C
0.53 0.55 0.58 0.60 0.64 0.66 0.68

DENS

S T A T I S T I C A L A N A L Y S I S S Y S T E M
LABORATORIO DE ESTADISTICA
ICMSC-USP E OCES-UFSCAR

CISALHAMENTO DE MADEIRA
ENG. JULIO F. TORRES Z.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UNIDADE E DENSIDADE

FLCI-CF-CC*UNID LEGENDA A=1-OBS, B=2-OBS, ETC.

	D	H	F	E
1.0 + A			A	A
0.8 + A			A	A
0.6 + A			A	A
0.4 + A			A	A
0.2 + A			A	A
0.0 + A			A	A
0.0 + B			B	B
0.0 + C			C	C
0.0 + D			D	D
0.0 + E			E	E
0.0 + F			F	F
0.0 + G			G	G
0.0 + H			H	H
0.0 + I			I	I
0.0 + J			J	J
0.0 + K			K	K
0.0 + L			L	L
0.0 + M			M	M
0.0 + N			N	N
0.0 + O			O	O
0.0 + P			P	P
0.0 + Q			Q	Q
0.0 + R			R	R
0.0 + S			S	S
0.0 + T			T	T
0.0 + U			U	U
0.0 + V			V	V
0.0 + W			W	W
0.0 + X			X	X
0.0 + Y			Y	Y
0.0 + Z			Z	Z
0.0 + AA			AA	AA
0.0 + AB			AB	AB
0.0 + AC			AC	AC
0.0 + AD			AD	AD
0.0 + AE			AE	AE
0.0 + AF			AF	AF
0.0 + AG			AG	AG
0.0 + AH			AH	AH
0.0 + AI			AI	AI
0.0 + AJ			AJ	AJ
0.0 + AK			AK	AK
0.0 + AL			AL	AL
0.0 + AM			AM	AM
0.0 + AN			AN	AN
0.0 + AO			AO	AO
0.0 + AP			AP	AP
0.0 + AQ			AQ	AQ
0.0 + AR			AR	AR
0.0 + AS			AS	AS
0.0 + AT			AT	AT
0.0 + AU			AU	AU
0.0 + AV			AV	AV
0.0 + AW			AW	AW
0.0 + AX			AX	AX
0.0 + AY			AY	AY
0.0 + AZ			AZ	AZ
0.0 + BA			BA	BA
0.0 + BB			BB	BB
0.0 + BC			BC	BC
0.0 + BD			BD	BD
0.0 + BE			BE	BE
0.0 + BF			BF	BF
0.0 + BG			BG	BG
0.0 + BH			BH	BH
0.0 + BI			BI	BI
0.0 + BJ			BJ	BJ
0.0 + BK			BK	BK
0.0 + BL			BL	BL
0.0 + BM			BM	BM
0.0 + BN			BN	BN
0.0 + BO			BO	BO
0.0 + BP			BP	BP
0.0 + BQ			BQ	BQ
0.0 + BR			BR	BR
0.0 + BS			BS	BS
0.0 + BT			BT	BT
0.0 + BU			BU	BU
0.0 + BV			BV	BV
0.0 + BW			BW	BW
0.0 + BX			BX	BX
0.0 + BY			BY	BY
0.0 + BZ			BZ	BZ
0.0 + CA			CA	CA
0.0 + CB			CB	CB
0.0 + CC			CC	CC
0.0 + CD			CD	CD
0.0 + CE			CE	CE
0.0 + CF			CF	CF
0.0 + CG			CG	CG
0.0 + CH			CH	CH
0.0 + CI			CI	CI
0.0 + CJ			CJ	CJ
0.0 + CK			CK	CK
0.0 + CL			CL	CL
0.0 + CM			CM	CM
0.0 + CN			CN	CN
0.0 + CO			CO	CO
0.0 + CP			CP	CP
0.0 + CQ			CQ	CQ
0.0 + CR			CR	CR
0.0 + CS			CS	CS
0.0 + CT			CT	CT
0.0 + CU			CU	CU
0.0 + CV			CV	CV
0.0 + CW			CW	CW
0.0 + CX			CX	CX
0.0 + CY			CY	CY
0.0 + CZ			CZ	CZ
0.0 + DA			DA	DA
0.0 + DB			DB	DB
0.0 + DC			DC	DC
0.0 + DD			DD	DD
0.0 + DE			DE	DE
0.0 + DF			DF	DF
0.0 + DG			DG	DG
0.0 + DH			DH	DH
0.0 + DI			DI	DI
0.0 + DJ			DJ	DJ
0.0 + DK			DK	DK
0.0 + DL			DL	DL
0.0 + DM			DM	DM
0.0 + DN			DN	DN
0.0 + DO			DO	DO
0.0 + DP			DP	DP
0.0 + DQ			DQ	DQ
0.0 + DR			DR	DR
0.0 + DS			DS	DS
0.0 + DT			DT	DT
0.0 + DU			DU	DU
0.0 + DV			DV	DV
0.0 + DW			DW	DW
0.0 + DX			DX	DX
0.0 + DY			DY	DY
0.0 + DZ			DZ	DZ
0.0 + EA			EA	EA
0.0 + EB			EB	EB
0.0 + EC			EC	EC
0.0 + ED			ED	ED
0.0 + EE			EE	EE
0.0 + EF			EF	EF
0.0 + EG			EG	EG
0.0 + EH			EH	EH
0.0 + EI			EI	EI
0.0 + EJ			EJ	EJ
0.0 + EK			EK	EK
0.0 + EL			EL	EL
0.0 + EM			EM	EM
0.0 + EN			EN	EN
0.0 + EO			EO	EO
0.0 + EP			EP	EP
0.0 + EQ			EQ	EQ
0.0 + ER			ER	ER
0.0 + ES			ES	ES
0.0 + ET			ET	ET
0.0 + EU			EU	EU
0.0 + EV			EV	EV
0.0 + EW			EW	EW
0.0 + EX			EX	EX
0.0 + EY			EY	EY
0.0 + EZ			EZ	EZ
0.0 + FA			FA	FA
0.0 + FB			FB	FB
0.0 + FC			FC	FC
0.0 + FD			FD	FD
0.0 + FE			FE	FE
0.0 + FF			FF	FF
0.0 + FG			FG	FG
0.0 + FH			FH	FH
0.0 + FI			FI	FI
0.0 + FJ			FJ	FJ
0.0 + FK			FK	FK
0.0 + FL			FL	FL
0.0 + FM			FM	FM
0.0 + FN			FN	FN
0.0 + FO			FO	FO
0.0 + FP			FP	FP
0.0 + FQ			FQ	FQ
0.0 + FR			FR	FR
0.0 + FS			FS	FS
0.0 + FT			FT	FT
0.0 + FU			FU	FU
0.0 + FV			FV	FV
0.0 + FW			FW	FW
0.0 + FX			FX	FX
0.0 + FY			FY	FY
0.0 + FZ			FZ	FZ
0.0 + GA			GA	GA
0.0 + GB			GB	GB
0.0 + GC			GC	GC
0.0 + GD			GD	GD
0.0 + GE			GE	GE
0.0 + GF			GF	GF
0.0 + GG			GG	GG
0.0 + GH			GH	GH
0.0 + GI			GI	GI
0.0 + GJ			GJ	GJ
0.0 + GK			GK	GK
0.0 + GL			GL	GL
0.0 + GM			GM	GM
0.0 + GN			GN	GN
0.0 + GO			GO	GO
0.0 + GP			GP	GP
0.0 + GQ			GQ	GQ
0.0 + GR			GR	GR
0.0 + GS			GS	GS
0.0 + GT			GT	GT
0.0 + GU			GU	GU
0.0 + GV			GV	GV
0.0 + GW			GW	GW
0.0 + GX			GX	GX
0.0 + GY			GY	GY
0.0 + GZ			GZ	GZ
0.0 + HA			HA	HA
0.0 + HB			HB	HB
0.0 + HC			HC	HC
0.0 + HD			HD	HD
0.0 + HE			HE	HE
0.0 + HF			HF	HF
0.0 + HG			HG	HG
0.0 + HH			HH	HH
0.0 + HI			HI	HI
0.0 + HJ			HJ	HJ
0.0 + HK			HK	HK
0.0 + HL			HL	HL
0.0 + HM			HM	HM
0.0 + HN			HN	HN
0.0 + HO			HO	HO
0.0 + HP			HP	HP
0.0 + HQ			HQ	HQ
0.0 + HR			HR	HR
0.0 + HS			HS	HS
0.0 + HT			HT	HT
0.0 + HU			HU	HU
0.0 + HV			HV	HV
0.0 + HW			HW	HW
0.0 + HX			HX	HX
0.0 + HY			HY	HY
0.0 + HZ			HZ	HZ
0.0 + IA			IA	IA
0.0 + IB			IB	IB
0.0 + IC			IC	IC
0.0 + ID			ID	ID
0.0 + IE			IE	IE
0.0 + IF			IF	IF
0.0 + IG			IG	IG
0.0 + IH			IH	IH
0.0 + II			II	II
0.0 + IJ			IJ	IJ
0.0 + IK			IK	IK
0.0 + IL			IL	IL
0.0 + IM			IM	IM
0.0 + IN			IN	IN
0.0 + IO			IO	IO
0.0 + IP			IP	IP
0.0 + IQ			IQ	IQ
0.0 + IR			IR	IR
0.0 + IS			IS	IS
0.0 + IT			IT	IT
0.0 + IU			IU	IU
0.0 + IV			IV	IV
0.0 + IW			IW	IW
0.0 + IX			IX	IX
0.0 + IY			IY	IY
0.0 + IZ			IZ	IZ
0.0 + JA			JA	JA
0.0 + JB			JB	JB
0.0 + JC			JC	JC
0.0 + JD			JD	JD
0.0 + JE			JE	JE
0.0 + JF			JF	JF
0.0 + JG			JG	JG
0.0 + JH			JH	JH
0.0 + JI			JI	JI
0.0 + JJ			JJ	JJ
0.0 + JK			JK	JK
0.0 + JL			JL	JL
0.0 + JM			JM	JM
0.0 + JN			JN	JN
0.0 + JO			JO	JO
0.0 + JP			JP	JP
0.0 + JQ			JQ	JQ
0.0 + JR			JR	JR
0.0 + JS			JS	JS
0.0 + JT			JT	JT
0.0 + JU			JU	JU
0.0 + JV				

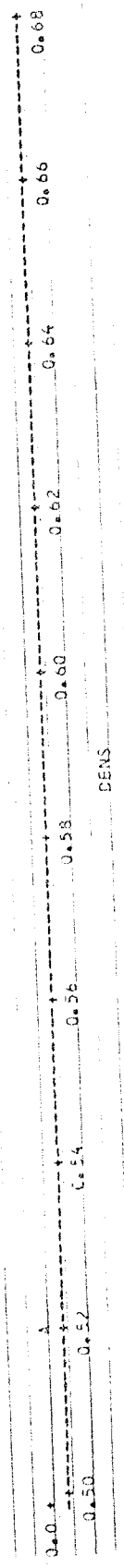
11 51 FRIDAY, JULY 6, 1979 7

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM
LABORATORIO DE ESTADISTICA
ICMSC-USP E DCES-UFESCAR

CISALMENTO DE MADEIRA
ENG. JULIO P. TORRES Z.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UMIDADE E DENSIDADE
PLOT DE QCDENS LEGEND A = 1-OBS, B = 2-OBS, ETC.

1.6 +	C	K	G	G
1.4 +	B	A	B	A
1.2 +	A	A	A	B
1.0 +	A	A	A	A
0.8 +	A	A	A	A
0.6 +	A	A	A	A
0.4 +	A	A	A	A
0.2 +	A	A	A	A
0.0 +	A	A	A	A
0.50	A	A	A	A



STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM
 LABORATORIO DE ESTADISTICA
 ICMSC-USP E DGES-UFSCAR

CISALMANTO DE MADEIRA
 ENG. JULIO R. TORRES Z.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UMIDADE E DENSIDADE

PLCI-CF-CC*GIS LEGEND A=1.085, B=2.085, ETC.

A

AA B A AB

AA A A

A A AA

A

A

AA

AA A A

A

AA

A

A

A

A

A

A

A

A

A

A

A

A

A

A

A

A

A

A

1.0 +

1.5 +

2.0 +

2.5 +

3.0 +

3.5 +

4.0 +

40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128	136	144	152	160	168
8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	120	128	136

CIS

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM
 LABORATORIO DE ESTADISTICA
 ICMSC-USP E OCES-UFSCAR

CISALHAMENTO DE MADEIRA
 ENG. JULIO R. TORRES L.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UNIDADE E DENSIDADE

GENERAL LINEAR MODELS PROCEDURE

DEPENDENT VARIABLE	CIS	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	DF	PR > F	R-SQUARE	Co V.
SOURCE	DF							
MODEL	16	37346.65319273	2334.1663295	4.05		0.0002	0.659264	21.7549
ERROR	34	18457.30240000	542.79488339			STJ DEV		CIS MEAN
CORRECTED TOTAL	54	55803.95559273				22.64231101		104.08236364
SOURCE	DF	TYPE I SS	F VALUE	PR > F	DF	TYPE IV SS	F VALUE	PR > F
IND	18	37346.65319273	4.05	0.0002	18	37346.65319273	4.05	0.0002

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM
 LABORATORIO DE ESTADISTICA
 ICMSC-USP E DCES-UFGAR

CISALVAMENTO DE MADEIRA
 ENG. JULIO P. IRRÉS L.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UNIDADE E DENSIDADE

GENERAL LINEAR MODELS PROCEDURE

DEPENDENT VARIABLE = C

OBSERVATION	OBSERVED VALUE	PREDICTED VALUE	RESIDUAL
25	1.57075633	1.52464451	0.04611182
26	1.57075633	1.22464451	0.34611182
27	1.57075633	1.47584445	0.09491188
28	1.57075633	1.47584445	0.09491188
29	0.78535816	1.47584445	-0.69048628
30	0.5557712	1.33752513	-0.78175393
31	1.57075633	1.33752513	0.23327120
32	1.57075633	1.33752513	0.23327120
33	1.57075633	1.53380214	0.03699419
34	1.57075633	1.53380214	0.03699419
35	1.57075633	1.53380214	0.03699419
36	1.57075633	1.54217225	-0.11147231
37	1.57075633	1.54217225	-0.11147231
38	0.58411520	1.54217225	-0.95745304
39	1.42895527	1.45689576	-0.06119759
40	1.57075633	1.45689576	0.11386057
41	1.17308591	1.37937559	-0.20627877
42	1.57075633	1.37937559	0.19142064
43	1.34528292	1.37937559	-0.03409276
44	1.57075633	1.37502554	-0.03274301
45	1.57075633	1.37502554	-0.03274301
46	1.36228292	1.37602554	0.19477039
47	1.57075633	1.37602554	-0.19477039
48	1.57075633	1.45271172	-0.07807860
49	0.58115655	1.45271172	-0.87155517
50	1.57075633	1.49271172	-0.50136114
51	1.57075633	1.57002714	0.20076819
52	1.57075633	1.57002714	0.20076819
53	1.42895527	1.57002714	-0.14107087
54	0.58115655	1.21951345	-0.63835690
55	1.57075633	1.21951345	-0.35188288

SUM OF RESIDUALS -0.00000000
 SUM OF SQUARED RESIDUALS 4.50832357
 SUM OF SQUARED RESIDUALS - ERROR SS -0.00000000
 FIRST ORDER AUTOCORRELATION 0.06626289
 DURBIN-WATSON D 1.83907465

DADOS ORIGINAIS DE MADEIRA
GENERAL LINEAR MODELS PROCEDURE

DEPENDENT VARIABLE	CIS					
SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	F VALUE	PR > F	R-SQUARE	C.V.
MODEL	5	21823.18255254	4366.63651051	6.29	0.391047	25.3024
ERROR	45	33583.6394010	693.54767021			
CORRECTED TOTAL	54	55407.0189273				104.08236364
			26.33523324			

SOURCE	TYPE III SS	R VALUE	PR > F	DF	TYPE IV SS	F VALUE	PR > F
INTERCEPT	470.54451093	0.1741	0.6822	1	1384.82423527	1.83	0.1761
DATE	4.5248955	0.0179	0.8179	1	724.79273419	10.44	0.0022
MO	1531.56323705	0.0179	0.8179	1	419.21504718	5.81	0.0179
DENS	5.94057378	0.0114	0.3114	1	433.67235608	6.24	0.0159
JO	0.03244175	0.0016	0.9616	1	7787.35577754	11.23	0.0016

STD ERROR OF ESTIMATE

PARAMETER	ESTIMATE	STD ERROR	PR > F	DF
INTERCEPT	470.54451093	0.01741	0.6822	1
DATE	4.5248955	0.0179	0.8179	1
MO	1531.56323705	0.0179	0.8179	1
DENS	5.94057378	0.0114	0.3114	1
JO	0.03244175	0.0016	0.9616	1

RESIDUAL

DEFFINITION	RESIDUAL VALUE
1	22.20000000
2	45.33162283
3	-5.21199283
4	-3.13186283
5	45.33182283
6	57.21592075
7	86.21592075
8	107.40600000
9	131.40600000
10	123.50800000
11	97.20000000
12	127.80000000
13	174.50000000
14	123.80000000
15	139.00000000
16	139.00000000
17	139.00000000
18	139.00000000
19	139.00000000
20	139.00000000

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM
 LABORATORIO DE ESTATISTICA
 ICMSC-USP E DCES-UFGAR

CISALHAMENTO DE MADEIRA
 ENG. JULIO A. TORRES L.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UMIDADE E DENSIDADE

GENERAL LINEAR MODELS PROCEDURE

DEPENDENT VARIABLE=CIS

SOURCE	DF	SUM OF SQUARES	MEAN SQUARE	F VALUE	DF	PR > F	R-SQUARE	C.V.
MODEL	3	21823.13235254	7274.377751	8.29	1	0.0001	0.391047	25.3024
ERROR	35	33583.63354015	962.390118		1	0.0001		
CORRECTED TOTAL	38	55406.76589269			1	0.0001		104.08236354

SOURCE	DF	TYPE I SS	F VALUE	PR > F	DF	TYPE IV SS	F VALUE	PR > F
UNID	1	2921.77269590	5.67	0.0212	1	1306.82823527	1.88	0.1761
DENS	1	1039.11223543	1.97	0.1661	1	7240.79273419	10.44	0.0022
UD	1	4241.86607354	8.12	0.0169	1	4165.21904718	6.01	0.0179
UD	1	4173.21874713	7.95	0.0119	1	4329.57235638	6.24	0.0159
UD	1	7787.03577754	14.23	0.0016	1	7787.03577754	11.23	0.0015

OBSERVED VALUE

OBSERVATION	OBSERVED VALUE	PREDICTED VALUE	RESIDUAL
1	22.20000000	45.33186283	-23.13186283
2	5.80000000	45.33186283	-39.53186283
3	42.20000000	45.33186283	-3.13186283
4	105.40000000	88.41592075	16.98407925
5	107.40000000	88.41592075	18.98407925
6	103.40000000	100.43075515	-7.03075515
7	57.20000000	100.43075515	-43.23075515
8	122.80000000	100.43075515	22.36920485
9	142.50000000	105.59423319	36.90576681
10	123.80000000	105.59423319	18.20576681
11	140.50000000	105.59423319	34.90576681
12	65.71000000	104.40823486	-38.69823486
13	52.31000000	104.40823486	-52.09823486
14	93.95000000	104.40823486	-10.45823486
15	124.43000000	55.47425780	68.95574220
16	118.70000000	55.47425780	63.22574220
17	130.70000000	95.47425780	35.22574220
18	65.80000000	125.53543378	-59.73543378
19	151.40000000	131.33884721	20.06115279
20	121.50000000	131.33884721	-9.83884721
21	155.50000000	131.33884721	24.16115279
22	104.70000000	131.33884721	-26.63884721
23	143.90000000	131.33884721	12.56115279
24	143.90000000	131.33884721	12.56115279

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM
LABORATORIO DE ESTADISTICA
ICMSC-USP E DCES-UFGAR

CISALVAMENTO DE MADEIRA
ENG. JULIO R. TORRES Z.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UNIDADE E DENSIDADE
GENERAL LINEAR MODELS PROCEDURE

DEPENDENT VARIABLE C15

OBSERVATION	OBSERVED VALUE	PREDICTED VALUE	RESIDUAL
25	150.40000000	120.18082429	30.20917572
26	150.50000000	130.13082429	20.36917572
27	100.70000000	122.49136498	-21.79136498
28	150.10000000	122.49136498	27.60863502
29	50.20000000	122.49136498	-72.29136498
30	120.70000000	58.00055843	62.69944157
31	70.70000000	58.00055843	12.70055843
32	70.50000000	120.44736819	-49.94736819
33	117.50000000	120.44736819	-3.94736819
34	117.50000000	120.44736819	-3.94736819
35	70.50000000	141.84251352	-71.34251352
36	117.50000000	121.84251352	-4.34251352
37	117.50000000	116.88543248	0.61456752
38	118.40000000	116.88543248	1.51456752
39	90.50000000	164.98310007	-74.48310007
40	90.50000000	164.98310007	-74.48310007
41	100.40000000	104.98310007	95.41690000
42	100.40000000	104.98310007	95.41690000
43	100.40000000	88.87755682	11.52244318
44	100.40000000	88.87755682	11.52244318
45	100.40000000	88.87755682	11.52244318
46	110.50000000	106.51570855	4.98429145
47	110.50000000	106.51570855	4.98429145
48	110.50000000	106.51570855	4.98429145
49	100.40000000	97.84843941	2.55156059
50	100.40000000	97.84843941	2.55156059
51	100.40000000	97.84843941	2.55156059
52	121.10000000	83.83751514	37.26248486
53	121.10000000	83.83751514	37.26248486
54	121.10000000	83.83751514	37.26248486
55	50.60000000	63.83751514	-13.23751514

SUM OF RESIDUALS -0.00000000
 SUM OF SQUARED RESIDUALS 3193.83358304
 SUM OF SQUARED RESIDUALS - ERROR SS -0.00000015
 FIRST ORDER AUTOCORRELATION 0.00333407
 DUREIN-WATSON D 1.85568150

LABORATORIO DE ESTADISTICA
ICMSP-USP, EDCES-UFGAR

CISALHAMENTO DE MADEIRA
EAG, JULIO P. TORRES L.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UNIDADE E DENSIDADE

GENERAL LINEAR MODELS PROCEDURE

DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST FOR VARIABLE QC

MEANS WITH THE SAME LETTER ARE NOT SIGNIFICANTLY DIFFERENT.

ALPHA LEVEL=.05 DF=49 MS=0.10018

GROUPING	MEAN	N	LOMO
A	1.570796	3	6
A	1.570796	3	9
A	1.570796	3	12
A	1.570796	3	18
A	1.523497	3	8
A	1.499848	2	14
A	1.476193	3	4
A	1.420454	3	16
A	1.377583	3	17
A	1.363059	3	15
A	1.338973	2	7
A	1.330284	3	19
A	1.309997	3	3
A	1.303997	3	10
A	1.283138	3	13
A	1.149343	3	11
B	0.972026	3	5
B	0.609562	3	2
C	0.094558	3	1

S T A T I S T I C A L A N A L Y S I S S Y S T E M

LABORATORIO DE ESTADISTICA
ICKSC-USP E DCES-UFSCAR

CISALHAMENTO DE MADEIRA
ENG. JULIO F. TORRES L.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UMIDADE E DENSIDADE

GENERAL LINEAR MODELS PROCEDURE

DURKAN'S MULTIPLE RANGE TEST FOR VARIABLE C15

MEANS WITH THE SAME LETTER ARE NOT SIGNIFICANTLY DIFFERENT.

ALPHA LEVEL=.05 DF=49 MS=693.548

GROUPING	MEAN	N	UMID
A	143.256667	3	3
A	135.466667	3	4
A	134.300000	3	10
A	124.610000	3	5
A	122.466667	3	13
A	120.566667	3	8
A	111.033333	3	18
A	107.500000	2	14
A	105.400000	3	2
A	103.233333	3	17
A	101.333333	3	12
A	101.166667	3	3
A	98.600000	2	7
A	97.233333	3	15
A	97.200000	3	16
A	89.233333	3	11
A	80.566667	3	19
A	72.900000	3	5
A	24.733333	3	1

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM

LABORATORIO DE ESTADISTICA
ICMSC-USP E DCES-UFSCAR

CISALHAMENTO DE MADEIRA
ENG. JULIO R. TORRES Z.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UMIDADE E DENSIDADE

GENERAL-LINEAR MODELS PROCEDURE

MEANS

UMID	N	LM10	DENS	UD	UJ	DQ
1	2	30.000000	0.52000000	15.000000	900.000000	0.27340000
2	3	20.000000	0.52000000	10.400000	400.000000	0.27040000
3	3	15.000000	0.52000000	7.000000	200.000000	0.27040000
4	3	10.000000	0.52000000	5.200000	100.000000	0.27040000
5	3	5.000000	0.52000000	4.000000	25.000000	0.27040000
6	3	30.000000	0.60000000	18.000000	900.000000	0.36000000
7	2	20.000000	0.60000000	14.000000	400.000000	0.36000000
8	3	15.000000	0.60000000	9.000000	225.000000	0.36000000
9	3	10.000000	0.60000000	5.000000	100.000000	0.36000000
10	3	5.000000	0.60000000	3.000000	25.000000	0.36000000
11	3	30.000000	0.65000000	15.500000	900.000000	0.42250000
12	3	20.000000	0.65000000	13.000000	400.000000	0.42250000
13	2	15.000000	0.65000000	7.750000	225.000000	0.42250000
14	2	10.000000	0.65000000	6.500000	100.000000	0.42250000
15	3	5.000000	0.65000000	3.250000	25.000000	0.42250000
16	3	30.000000	0.68000000	20.400000	900.000000	0.46240000
17	3	20.000000	0.68000000	13.500000	400.000000	0.46240000
18	3	10.000000	0.68000000	6.800000	100.000000	0.46240000
19	3	5.000000	0.68000000	3.400000	25.000000	0.46240000

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM
LABORATORIO DE ESTADISTICA
ICMSC-USP E OCES-UFSCAR

CESALHAMENTO DE MADEIRA
ENG. JULIO P. TORRES Z.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UMIDADE E DENSIDADE

GENERAL LINEAR MODELS PROCEDURE

DUCCAN'S MULTIPLE RANGE TEST FOR VARIABLE QC

MEANS WITH THE SAME LETTER ARE NOT SIGNIFICANTLY DIFFERENT.

ALPHA LEVEL=.05 DF=49 MS=0.10018

GROUPING	MEAN	N	IDENS
A	1.471443	14	2
A	1.424775	12	4
A	1.392408	14	3
A	0.892276	15	1

ST A T I S T I C A L A N A L Y S I S S Y S T E M 11 51 FRIDAY, JULY 6, 1979 21

LABORATORIO DE ESTATISTICA
ICMSP-USP E DCS-UFSCAR

CISALHAMENTO DE MADEIRA
ENG. JULIO R. TORRES Z.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UMIDADE E DENSIDADE

GENERAL LINEAR MODELS PROCEDURE

DUNCAN'S MULTIPLE RANGE TEST FOR VARIABLE CIS

MEANS WITH THE SAME LETTER ARE NOT SIGNIFICANTLY DIFFERENT.

ALPHA LEVEL=.05 DF=49 MS=893.548

GROUPING	MEAN	N	IDENS
A	126.102143	14	2
B	103.235714	14	3
B	99.503333	12	4
B	87.933333	15	1

11.51.FRIDAY, JULY 6, 1979

S T A T I S T I C A L A N A L Y S I S S Y S T E M

LABORATORIO-CE-ESTADISTICA
ICMSC-USP E DCES-UFGAR

CISALHAMENTO DE MADEIRA
ENG. JULIO R. TORRES Z.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UMIDADE E DENSIDADE

GENERAL LINEAR MODELS PROCEDURE

MEANS

UMID	IDENS	N	UMID	DENS	UMID	DENS	UD	UR	UD	UR
1	1	156	15.0000000	0.5200000	0.5200000	0.5200000	330.00000	0.2704000	0.2704000	0.2704000
2	1	14	15.7142857	0.6000000	0.5200000	0.5200000	325.00000	0.2704000	0.2704000	0.2704000
3	1	14	15.7142857	0.5500000	0.5200000	0.5200000	340.25000	0.2704000	0.2704000	0.2704000
4	1	12	15.2500000	0.6500000	0.5200000	0.5200000	355.25000	0.2704000	0.2704000	0.2704000
1	1	6.15655854	24.733333	30.000000	0.5200000	0.5200000	15.600000	900.00000	900.00000	0.2704000
2	1	6.60556184	105.400000	20.000000	0.5200000	0.5200000	10.400000	400.00000	400.00000	0.2704000
3	1	1.34555854	101.156667	15.000000	0.5200000	0.5200000	7.600000	225.00000	225.00000	0.2704000
4	1	1.47615829	135.466667	10.000000	0.5200000	0.5200000	5.200000	100.00000	100.00000	0.2704000
5	1	0.51202742	74.900000	5.000000	0.5200000	0.5200000	2.600000	25.000000	25.000000	0.2704000
6	2	1.57075633	124.610000	30.000000	0.6000000	0.6000000	18.000000	900.00000	900.00000	0.3600000
7	2	1.38112522	55.600000	20.000000	0.6000000	0.6000000	12.000000	400.00000	400.00000	0.3600000
8	2	1.52345721	129.566667	15.000000	0.6000000	0.6000000	9.000000	225.00000	225.00000	0.3600000
9	2	1.57075633	143.266667	10.000000	0.6000000	0.6000000	6.000000	100.00000	100.00000	0.3600000
10	2	1.32655854	134.300000	5.000000	0.6000000	0.6000000	3.000000	25.000000	25.000000	0.3600000
11	3	1.1554335	59.233333	30.000000	0.5500000	0.5500000	18.500000	900.00000	900.00000	0.4225000
12	3	1.57075633	101.333333	20.000000	0.5500000	0.5500000	13.000000	400.00000	400.00000	0.4225000
13	3	1.2613227	122.466667	15.000000	0.5500000	0.5500000	9.750000	225.00000	225.00000	0.4225000
14	3	1.45584760	107.600000	10.000000	0.5500000	0.5500000	6.500000	100.00000	100.00000	0.4225000
15	3	1.2005672	97.233333	5.000000	0.5500000	0.5500000	3.250000	25.000000	25.000000	0.4225000
16	4	1.42645406	57.200000	30.000000	0.6800000	0.6800000	28.400000	900.00000	900.00000	0.4624000
17	4	1.3735305	103.233333	20.000000	0.6800000	0.6800000	13.600000	400.00000	400.00000	0.4624000
18	4	1.57075633	111.033333	10.000000	0.6800000	0.6800000	8.800000	100.00000	100.00000	0.4624000
19	4	1.33025406	56.505667	5.000000	0.6800000	0.6800000	4.400000	25.000000	25.000000	0.4624000

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM
LABORATORIO DE ESTADISTICA
ICPSC-USP E DGES-UFSCAR

CISALHAMENTO DE MADEIRA
ENG. JULIO P. TORRES Z.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UNIDADE E DENSIDADE

ELCICECCR*CCAJ LEGEND A = 1 OBS; B = 2 OBS; ETC.

	B	C	A	A	E	A	A	BC	B	CD					
-0.6 t															
0.4 t															
0.2 t															
0.0 t															
CCR															
-0.2 t															
0.4 t															
-0.6 t															
-0.8 t															
-1.0 t															
0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM 11 51 FRIDAY, JULY 6, 1979 28

LABORATORIO DE ESTADISTICA
ICMSC-USP E DCS-UFSCAR

CISALHAMENTO DE MADEIRA
ENG. JULIO R. TORRES Z.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UMIDADE E DENSIDADE

PLC OF CORR-DENS LEGEND A = 1.0BS, B = 2.0BS, ETC.

0.6 +	B				
0.4 +	A				A
0.2 +	B				E
	A				B
	C				
0.0 +	A				B
CCR	A				A
	B				A
-0.2 +	A				A
	B				A
	A				A
	B				A
	A				A
-0.4 +	A				A
	B				A
	A				A
-0.6 +	A				A
	B				A
	A				A
-0.8 +	A				A
	B				A
	A				A
-1.0 +	A				A
	B				A
	A				A

0.50 0.52 0.54 0.56 0.58 0.60 0.62 0.64 0.66 0.68

DENS

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM JUL 51 FRIDAY, JULY 6, 1979 31

LABORATORIO DE ESTATISTICA
ICMSC-USP E OCES-UFSCAR

CIRCUITAMENTO DE MADEIRA
ENG. JULIO R. TORRES L.

SUPERFICIE DE RESPOSTA EM FUNCAO DE UMIDADE E DENSIDADE

PLCI CF CRANK#SCR LEGEND A = 1 OBS. B = 2 OBS. ETC.

2.5 +
2.0 +
1.5 +
1.0 +
0.5 +
0.0 +
-0.5 +
-1.0 +
-1.5 +
-2.0 +
-2.5 +

A
A B
A
C
AA

0.5 + AB
0.0 + B
-0.5 + B
-1.0 + AC
-1.5 + B
-2.0 + B
-2.5 + B

0.5 + A
0.0 + A
-0.5 + A
-1.0 + A
-1.5 + A
-2.0 + A
-2.5 + A

0.5 + A
0.0 + A
-0.5 + A
-1.0 + A
-1.5 + A
-2.0 + A
-2.5 + A

0.5 + A
0.0 + A
-0.5 + A
-1.0 + A
-1.5 + A
-2.0 + A
-2.5 + A

SCR

OBSERVAÇÕES

A - Método de análise

Procedeu-se a construção de diversos gráficos de dispersão, apenas para obter uma visualização da dependência de CIS e QC em relação às variáveis independentes. A seguir ajustou-se a cada uma dessas variáveis dependentes um modelo quadrático completo (superfície de resposta):

$$\text{CIS} = b_0 + b_1(\text{unid}) + b_2(\text{DENS}) + B_{12}(\text{UNID} * \text{DENS}) + B_{11}(\text{UNID} **2) + B_{22}(\text{DENS} **2) + e$$

onde $e \sim N(\phi, \sigma^2 I)$ (a ser verificado) e análogo modelo para QC.

Para análise e também apresentação dos resultados, várias médias foram impressas e testadas pelo método de Duncan de comparações múltiplas.

B - Análise da variável cisalhamento (CIS). B.1 - Análise de dispersão

Análise de Gráficos

Pág.90 CIS x UNID	Revela discreta (talvez sem importância) dependência de CIS e UNID, com tendência decrescente.
Pág.91 CIS x DENS	Revela dependência acentuada de CIS e DENS, do tipo quadrático com máximo por volta de ... DENS = 0,60.

B.2 - Ajuste de uma superfície de resposta

B.2.1 - Parâmetros

Foi obtido o seguinte modelo (pág.99):

$$\text{CIS} = -1362.32 - 6.11 \text{ UMID} + 5110.58 \text{ DENS} + \\ 10.03 \text{ UMID} \times \text{DENS} - 0.13 (\text{UMID})^2 - \\ 4432.73 (\text{DENS})^2$$

com um coeficiente de correlação múltipla da ordem de 39%, o que indica que os valores não podem ser extrapolados.

Quadro de análise de variância

FONTE DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DE QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F	Pr > F
Modelo	5	21823.18	4364.64	6.29	0,0001
Erro	49	33983.84	693.55		
Total	54	55807.02			

Verificou-se que UMID ajustada para os outros termos do modelo não é significativamente diferente de zero ... ($\alpha = 0.1761$), mas como $(\text{UMID})^2$ é significativamente diferente de zero ($\alpha = 0,0159$), decidiu-se manter UMID no modelo.

B.2.2 - Análise dos resíduos

Foi obtido (pág.101) o coeficiente de autocorrelação de ordem 1 igual a 0,003, não significativo e o valor do teste de Durbin Watson para correlação serial igual a 1.96 (bem próximo de 2). Os resíduos podem ser considerados não-correlacionados.

Os gráficos dos RESÍDUOS versus UMID não revelam problemas (outliers, heterocedasticidade acentuada,...), págs. 109 e 110.

O gráfico probabilístico (pág.114) mostra que os resíduos podem ser considerados como sendo normalmente distribuídos.

B.2.3 - Adequabilidade do ajustamento

Analisando a soma de quadrados de resíduo, calculou-se a seguinte análise de variância:

FONTE DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DE QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F
Eficiência do ajustamento	13	17526.47	1348.2	2.63*
Erro puro	36	18457.37	512.7	

O valor de F é significativo a 2%, mas decidiu-se adotar o modelo assim mesmo. Note-se que a significância não é exagerada.

B.2.4 - Ponto extremal

Obtida a superfície quadrática, procedeu-se a uma análise para busca de um ponto crítico.

Um ponto extremo é dado por:

$$UMID = 13.42 \quad e$$

$$DENS = 0.60$$

A forma canônica na vizinhança de um ponto é dada por:

$$CIS = 131.69 - 4432.75\omega_1 - 0.12\omega_2^2$$

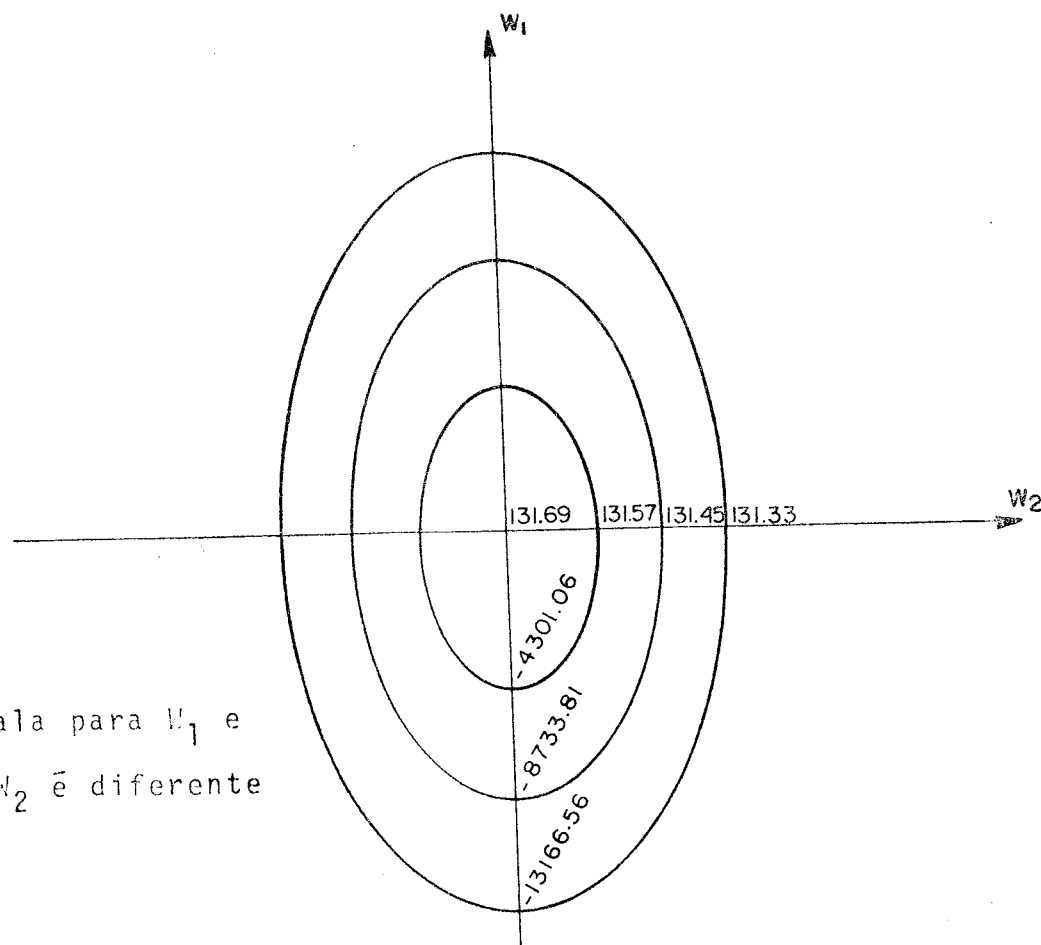
Como os coeficientes de ω_1^2 e de ω_2^2 são negativos, tratam de um ponto de máximo para CIS.

Tem-se então nas variáveis originais:

Ponto extremo

UMID	DENS	CISMAX
13.42	0.60	131.69

O aspecto da superfície de resposta pode ser visto no gráfico e curvas de nível abaixo.



A escala para W_1 e para W_2 é diferente

C - Análise da variável quantidade de material cisalhado(Q.C)

Como a variável quantidade de cisalhamento (Q.C) é uma proporção, para se empregar a técnica de superfície de resposta é conveniente fazer uma transformação do tipo

$$\text{arc sen } \frac{QC}{100}$$

a fim de obter normalidade nos resíduos (uma análise prévia foi feita com os dados originais e não se verificou a normalidade dos mesmos). Para essa transformação os resultados obtidos foram os descritos seguir:

C.1 - Análise de dispersão

Análise de gráficos

Pág.93 Verifica-se uma concentração de pontos para QC
QC * UMID igual a 1.4 e 1.6, correspondente a 100% cisalhado. O gráfico não apresentou nada mais notável.

Pág.94 A mesma concentração do gráfico QC * UMID foi
QC * DENS verificada. Nenhuma outra comparação foi possível.

C.2 - Ajuste de uma superfície de resposta

C.2.1 - Análise de variância

Para o modelo ajustado o coeficiente de correção múltipla foi da ordem de 51%. Verificou-se que as variáveis UMID, DENS, UMID*DENS, $(UMID)^2$ e $(DENS)^2$ são significativamente diferentes de zero; e todas serão mantidas no modelo.

Quadro de análise de variância

FONTE DE VARIACÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DE QUADRADOS	F	Pr >F
Modelo	5	5.04	10.06	0.0001
Erro	49	4.91		
Total	54	9.95		

C.2.2 - Análise de resíduos

Obteve-se (pág.98) coeficiente de autocorrelação de ordem 1 igual a .066 não significante e o valor do teste de Durbin-Watson para correlação serial igual a 1.84 (próximo de 2). Os resíduos podem ser considerados não-correlacionados.

Os gráficos dos resíduos versus UMID e DENS não revelaram problemas (pág.112 e 113), mas versus QC ajustado (pág.111) apresentou uma tendência.

O gráfico probabilístico (pág.115) mostra que os resíduos podem ser considerados normais,

C.2.3 - Adequabilidade do ajustamento

Pela soma de quadrados dos resíduos, calculou-se a seguinte análise de variância:

FONTE DE VARIAÇÃO	GRAUS DE LIBERDADE	SOMA DE QUADRADOS	QUADRADO MÉDIO	F
Eficiência do ajustamento	13	2.40	0.18	2.65*
Erro puto	36	2.51	0.07	

O valor de F é significativo a 2%, mas decidiu-se adotar o modelo assim mesmo. Porém, a significância não é exagerada.

CONCLUSÃO

Uma conclusão tirada a partir do gráfico ... QC * DENS (pág.94), e confirmada (ver tabela de Média - Teste de Duncan), foi a divisão dos pontos em dois grupos. Um grupo tendo densidade baixa (igual a 0.52) e outro com densidade mais elevada (0,60).

4.1.4.2 - Comparação dos corpos colados
com prensas e com pregos

Para comparar os resultados dos corpos cisalhados colados com prensas e com pregos, foi encontrado o intervalo de confiança.

Umidade	Sob prensas X_1	Sob pregos X_2	$X_1 - X_2$	$(X_1 - X_2)^2$
30	89,2	107,2	-18	324
20	101,2	71,2	30,13	907,8
15	122,5	91,8	30,7	942,5
10	107,6	118	-10,4	108,16
5	97,2	98	-0,77	0,54
			Σ 31,66	2283,05

$$\bar{X}_1 = 103,9$$

$$\bar{X}_2 = 97,2$$

$$S_d^2 = \frac{\Sigma (x_{1j} - x_{2j})^2 - \Sigma (x_{1j} - x_{2j})^2 / n}{n(n-1)}$$

$$S_d^2 = \frac{2283,05 - 200,47}{(5)(4)} = 104,13$$

$$S_d^2 = 10,2$$

$$t' = \frac{d}{s_d} = \frac{6,7}{10,2} = 0,65$$

Obtemos 45% de confiança, o que indica que não pode concluir-se que um método de colagem seja melhor que o outro.

4.2 - Ensaio de cisalhamento para diversas madeiras

4.2.1 - Preparação usual

4.2.1 - Descrição do ensaio

O objetivo destes ensaios consiste em encontrar a viabilidade de fabricação de peças estruturais de madeira laminada com diversas madeiras: Eucalipto citriodora, Peroba rosa, Ipê, e madeiras de El Salvador, como Pinus oocarpa, Teca e Eucalipto citriodora.

As colagens das diferentes madeiras foram testadas de acordo com a norma A.S.T.M. D905-49, que especifica a colagem de blocos de madeira de 4,44 x 5 x 1,9cm (adaptado para .. 5 x 5 x 2cm). A cola aplicada foi Cascophen (já descrita anteriormente), na quantidade de 300g/m². A pressão foi aplicada através de prensas de parafusos durante 24 horas. Usou-se nestes ensaios madeira seca ao ar livre, a um teor de 12% de umidade.

4.2.1.2 - Resultados

Corpos colados com Cascophen (Resorcinol)

Corpo	Madeira	Densidade	Cisalhamento (Kg/cm ²)	% rup. na madeira
70	Euc.citr.	1,03	54,66	2
71	"	1,03	92,48	20
72	"	1,03	66,73	15
73	"	1,03	64,89	15
74	"	1,03	71,43	15
75	Per.rosa	0,75	108,71	80
76	"	0,75	152,13	100
77	"	0,75	53,12	30
78	"	0,75	82,52	70
79	"	0,75	104,79	80
80	Euc.cit.E.S.	0,73	68,29	5
81	"	0,73	47,55	5
82	"	0,73	98,8	60
83	"	0,73	106,8	70
84	"	0,73	105,05	70
85	Pin.ooc.	0,74	61,07	60
86	"	"	87,79	90
87	"	"	56,63	50
88	"	"	49,47	40
89	"	"	55,83	50
90	Teca	0,59	68,55	80
91	"	"	54,31	95
92	"	"	79,6	70
93	"	"	107,73	100
94	"	"	68,4	70
95	Ipê	0,90	115,5	40
96	"	"	155,4	80
97	"	"	103,6	50
98	"	"	122,5	50
99	"	"	113,2	30

Médias:	Cis. (Kg/cm ²)	% rup. na madeira
Pinho do Paraná*	119,6	93
Euc.citriodora	70,0	13
Peroba rosa	100,3	72

continua

Continuação...

Ipê	122,0	50
Eucalipto citriodora (El Salv.)	85,30	42
Pinus oocarpa	62,2	58
Teca	75,7	83

*Umidade a 10 e 15%.

4.2.1.3 - Observações

Os ensaios realizados foram poucos para terem validade estatística, mas pode-se observar a dificuldade de penetração da cola em madeirastensas como Eucalipto citriodora, onde a média de 70kg/cm^2 é apenas a metade do resultado para madeira pura ensaiada pelo IPT (150kg/cm^2), além de observar-se que os corpos romperam principalmente na cola e não na madeira, como foi o caso do Pinho do Paraná.

4.2.2 - Adição de álcool

4.2.2.1 - Descrição do ensaio

Na segunda tabela aparecem corpos colados com Cascophen mais 10% de álcool. Isto foi feito para melhorar a penetração da cola na madeira, e é recomendado para madeiras densas, no Boletim técnico do fabricante.

4.2.2.2 - Resultados

Corpos colados com Cascophen + 10% de álcool

Corpo	Madeira	Densidade	Cisalh. (kg/cm ²)	% de rup. na madeira
100	Pinho do Par.	0,49	19,65	0
101	"	"	52,33	2
102	"	"	29,81	3
103	"	"	47,49	1
104	Euc.citriod.	0,99	85,78	30
105	"	"	119,58	40
106	"	"	121,6	50
107	"	"	110,08	40
108	"	"	58,37	15
109	Peroba rosa	0,87	125,84	50
110	"	"	86,17	50
111	"	"	67,0	50
112	"	"	76,84	60
113	"	"	72,8	40
114	Ipê	0,90	85,9	20
115	"	"	46,63	2
116	"	"	70,71	30
117	"	"	51,8	20
118	"	"	105,79	40
119	Pinus Ooc.	0,71	31,53	2
120	"	"	23,16	0
121	"	"	8,54	0
122	"	"	16,08	0
123	"	"	38,99	0
124	Teca	0,54	27,15	5
125	"	"	23,16	4
126	"	"	48,83	40
127	"	"	26,77	5
128	"	"	15,58	2
129	Euc.cit.El Sal.	0,78	65,08	20
130	"	"	65,1	20
131	"	"	66,0	15
132	"	"	46,02	15
133	"	"	47,05	15

Médias:

	Cis. (kg/cm ²)	% rup. na madeira
Pinho do Paraná	37,32	1,5
Eucalipto citriodora	99,08	35
Peroba rosa	85,73	50
Ipê	72,18	22
Pinus oocarpa	23,66	0
Teca	28,3	10
Eucalipto citriodora El Salv.	57,85	17

4.2.2.3 - Análise estatística dos resultados e observações

Para comparar os resultados de madeiras coladas com álcool e sem álcool, foi encontrado o intervalo de confiança.

Para Eucalipto citriodora temos:

Sem álcool (τ) X_1	Com álcool (τ) X_2
54,66	85,78
92,48	119,58
66,73	121,6
64,89	110,08
71,43	58,37

ΣX 350,19

495,41

ΣX^2 122633,03

245431,06

$\bar{X}_1 = 70,0$

$\bar{X}_2 = 99,08$

$$\begin{aligned} \Sigma x_1^2 &= \Sigma X_1^2 - (\Sigma X_1)^2/n_1 \\ &= 25306,1 - 245266 = 779,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma x_2^2 &= \Sigma x_2^2 - (\Sigma x_2)^2/n_2 \\ &= 51963,9 - 49086,21 = 2877,7 \end{aligned}$$

$$S_1^2 = \frac{\Sigma x_1^2}{n_1 - 1} = \frac{779,5}{4} = 194,88 \quad (\text{variança})$$

$$S_2^2 = \frac{\Sigma x_2^2}{n_2 - 2} = \frac{2877,7}{4} = 719,43$$

$$S_d = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}} = \sqrt{\frac{194,88}{5} + \frac{719,4}{5}}$$

$$S_d = 13,52$$

$$t' = \frac{d}{S_d} = \frac{99,08 - 70,04}{13,52} = 2,15$$

Usando a tabela de "t" Student (23) temos 90% de confiança.

Usando o mesmo método para Peroba rosa, obtemos:

Sem álcool

Com álcool

$$S_1^2 = 1329,82$$

$$S_2^2 = 551,5$$

$$S_1 = 36,46$$

$$S_2 = 23,48$$

$$\bar{X}_1 = 100,3$$

$$\bar{X}_2 = 85,73$$

$$S_d = 19,4$$

$$t' = \frac{d}{S_d} = 0,75$$

Obtemos 50% de confiança

Para Ipê temos:

Sem álcool

Com álcool

$$S_1^2 = 393,51$$

$$S_2^2 = 597,04$$

$$S_1 = 19,84$$

$$S_2 = 24,43$$

$$\bar{X}_1 = 122,04$$

$$\bar{X}_2 = 72,16$$

$$S_d = 14,07$$

$$t' = \frac{d}{S_d} = 3,54$$

Obtemos 95% de confiança

Para Eucalipto citriodora El Salvador, temos:

Sem álcool

Com álcool

$$S_1^2 = 687,24$$

$$S_2^2 = 106,96$$

$$S_1 = 26,21$$

$$S_2 = 10,34$$

$$\bar{X}_1 = 85,3$$

$$\bar{X}_2 = 57,85$$

$$S_d = 12,6$$

$$t' = \frac{d}{S_d} = 2,17$$

Obtemos 90% de confiança.

Para Pinus oocarpa temos:

Sem álcool

Com álcool

$$S_1^2 = 222,44$$

$$S_2^2 = 145,82$$

$$S_1 = 14,91$$

$$S_2 = 12,07$$

$$\bar{X}_1 = 62,16$$

$$\bar{X}_2 = 23,66$$

$$S_d = 8,58$$

$$t' = \frac{d}{S_d} = 4,48$$

Obtemos 96% de confiança

Para Teca temos:

Sem álcool

Com álcool

$$S_1^2 = 400,75$$

$$S_2^2 = 153,34$$

$$S_1 = 20,01$$

$$S_2 = 12,38$$

$$\bar{X}_1 = 75,72$$

$$\bar{X}_2 = 28,3$$

$$S_d = 10,53$$

$$t' = \frac{75,72 - 28,3}{10,53} = 4,5$$

Obtemos 98% de confiança.

Admitindo 90% de intervalo de confiança, temos:

- a) Eucalipto citriodora melhora sua resistência ao cisalhamento, aumentando 10% de álcool à cola;
- b) O Ipê, Eucalipto citriodora El Salvador, Pinus oocarpa e Teca, pioram a resistência ao cisalhamento na colagem quando é adicionado 10% de álcool;
- c) Nada pode concluir-se sobre a Peroba rosa.

Admitindo 95% de intervalo de confiança, temos:

- a) O Ipê, Pinus oocarpa e Teca, pioram a resistência ao cisalhamento à colagem, quando é adicionada a cola 10% de álcool;
- b) Nada pode concluir-se com respeito ao Eucalipto citriodora, Peroba rosa, Eucalipto citriodora de El Salvador.

4.3 - Ensaio à flexão de várias composições

4.3.1 - Descrição dos ensaios

Os ensaios de flexão foram realizados com variações de composição das peças:

- a) lâminas pregadas
- b) lâminas coladas sob pressão de pregos
- c) lâminas coladas sob pressão de prensas

Com variação na direção das lâminas

- a) verticais
- b) horizontais

Com variação nas emendas

- a) sem emendas
- b) com emendas de topo

4.3.2 - Descrição das vigas

4.3.2.1 - Lâminas pregadas horizontalmente

As vigas pregadas horizontalmente foram feitas com nove lâminas de 1cm de espessura e 5cm de largura, formando uma seção de aproximadamente 5 x 9cm. As vigas sem emendas tem 70cm de comprimento, e as vigas com emendas de topo 250cm de comprimento.

Dimensionando os pregos, segundo a NB-11, temos a carga admissível por prego.

$$F = K\delta^{3/2}$$

Sendo δ o diâmetro do prego em milímetros e F, dada em kg, $K = 4,5$ no caso do Pinho do Paraná.

O número de pregos é calculado pela fórmula:

$$\tau A = n F$$

onde: n = número de pregos

τ = tensão admissível de cisalhamento

A = área em que se deseja encontrar o número de pregos.

Fixando 1cm de comprimento, com os 5cm de largura ,
temos:

$$A = 5\text{cm}^2$$

Usando prego 11 x 11

$$\delta = 1,6\text{mm}$$

Pelo que temos:

$$F = 4,5(1,6)^{3/2} = 9,1\text{kg/prego}$$

$$N = \frac{6,7\text{kg/cm}^2 (5\text{cm}^2)}{9,1\text{kg/prego}} = 3,68 \text{ pregos}$$

Segundo pesquisa experimental em andamento no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, as ligações pregadas poderiam ser analisadas segundo a expressão:

$$F = 99 \sigma_c^{0,23202} (\delta b)^{1,777}$$

$$F = 99 (267,5\text{kg/cm}^2)^{0,23202} (0,16\text{cm} \times 1\text{cm})^{1,777}$$

$$F = 13,78\text{kg/prego}$$

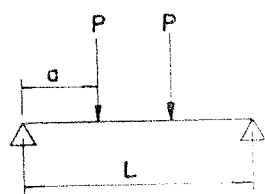
$$N = \frac{6,7\text{kg/cm}^2 (5\text{cm}^2)}{13,78\text{kg/prego}} = 2,43 \text{ pregos}$$

Foi utilizada para a viga sem emendas uma média de 2,6 pregos por cm de comprimento (1 prego/2cm²) e para a viga com emendas de topo 1,3 pregos por cm. (1 prego/4cm²). Deve-se lembrar que nas vigas sem emendas o cisalhamento é crítico, enquanto que nas vigas com emendas o cisalhamento não é crítico. Usando 1 prego/2cm² nas vigas curtas os pregos resistem os esforços de cisalhamento até a carga crítica admissível, P = 182Kg, mas pode haver deformação em valores superiores.

Inicialmente pensou-se em ensaiar vigas de 2,50m de comprimento, para verificação da tensão de flexão. Viu-se entretanto a conveniência de ensaiar vigas onde a tensão de cisalhamento se mostrasse mais elevada. O cálculo indicou nas vigas de 5 x 9cm, o comprimento de 70cm.

4.3.2.1.1 - Vigas sem emendas

As vigas sem emendas foram fabricadas com uma seção transversal de aproximadamente 5cm de largura e 9cm de altura. Com um comprimento de 70cm o carregamento foi aplicado em duas cargas a 10cm do centro.



$$a = 23\text{cm}$$

$$l = 66\text{cm}$$

Tomando a viga como madeira sólida a carga crítica de momento será:

$$\bar{\sigma}_f = \frac{M y}{J}$$

$$M = \frac{\bar{\sigma}_f J}{y}$$

$$\text{Sendo: } \bar{\sigma}_f = 91\text{Kg/cm}^2$$

$$y = 4,5\text{cm}$$

$$J = 303,75$$

$$M = \frac{91 (303,75)}{4,5} = 6142,5 \text{ Kg-cm}$$

$$P = M/23 = 6142,5/23 = 267 \text{ Kg}$$

Pelo cisalhamento temos:

$$\bar{\tau} = \frac{Q Ms}{b J}$$

Onde: $Q = P$

$$\text{Portanto : } P = \frac{\bar{\tau} b J}{Ms}$$

$$\bar{\tau} = 6,1 \text{ Kg/cm}^2$$

$$b = 5 \text{ cm}$$

$$J = 303,75$$

$$Ms = 50,63$$

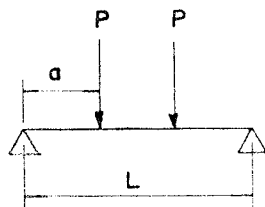
Donde,

$$P = \frac{6,1 (5) (303,75)}{50,63} = 182,98 \text{ Kg}$$

Sendo $267 > 182$, o cisalhamento é crítico.

4.3.2.1.2 - Vigas com emendas

As vigas com emendas foram fabricadas com uma seção transversal de aproximadamente 5cm de largura e 9cm de altura, com um comprimento de 250cm. O carregamento foi aplicado em duas cargas a 10cm do centro.



$$a = 111 \text{ cm}$$

$$L = 242 \text{ cm}$$

Tomando a viga como madeira sólida, a carga crítica de momento será:

$$M = \frac{\bar{\sigma}_f J}{y}$$

$$\begin{aligned} \text{Sendo: } \bar{\sigma}_f &= 91 \text{ Kg/cm}^2 \\ J &= 303,75 \text{ cm}^2 \\ y &= 4,5 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$M = 6142,5 \text{ Kg-cm}$$

$$P = \frac{M}{111} = 55,33 \text{ Kg}$$

Pelo cisalhamento, o caso é igual ao anterior.
Portanto,

$$P \text{ crítico} = 182,98 \text{ Kg}$$

Neste caso, o momento fletor é crítico.

4.3.2.2 - Lâminas pregadas verticalmente

As lâminas pregadas verticalmente foram feitas com cinco lâminas com 9cm de altura e 1cm de espessura, formando uma seção de 5 x 9cm. As vigas sem emendas tem 70cm de comprimento e as vigas com emendas de topo 250cm de comprimento.

As lâminas pregadas verticalmente não tem esforços de cisalhamento nos planos de pregação. Os pregos neste caso atuam para que as lâminas se comportem como uma peça maciça, evitando a deformação isolada de cada lâmina. Adotou-se um prego para cada 4cm² usando pregos de 11 x 11, tanto nas vigas sem emendas como nas vigas com emendas.

4.3.2.3 - Lâminas coladas horizontalmente sob pressão de pregos

As dimensões destas vigas são as mesmas das vigas pregadas horizontalmente.

Nas lâminas coladas sob pressão de pregos foi usada cola Cascophen RS-216-II, espalhada na razão de 300g/m². O prego foi de 11 x 11, usando-se 5 pregos/cm (1 prego/25cm²).

4.3.2.4 - Lâminas coladas verticalmente sob pressão de pregos

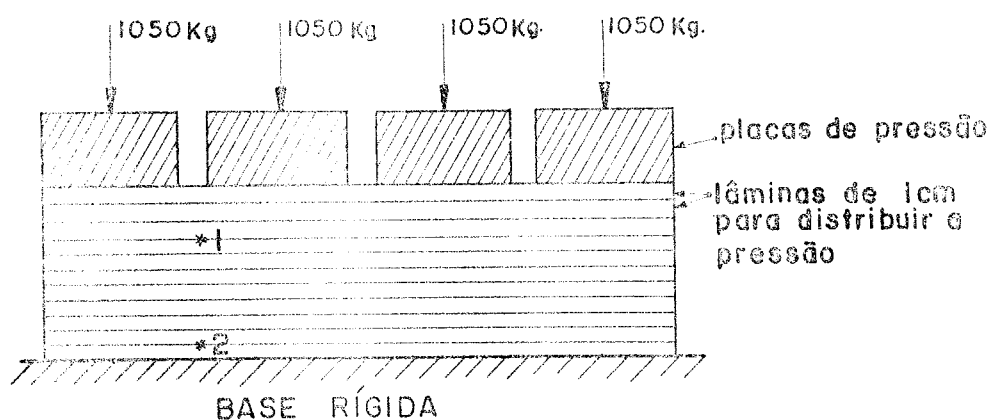
As dimensões destas vigas são as mesmas das vigas pregadas verticalmente. As lâminas foram coladas da mesma maneira que as vigas (horizontalmente, sob a pressão de pregos).

4.3.2.5 - Lâminas coladas horizontalmente sob pressão de prensas de parafusos

As dimensões destas vigas são as mesmas das vigas pregadas horizontalmente. As lâminas foram coladas com Cascophen RS-216-II. A cola foi espalhada à razão de 300g/m^2 .

A pressão mínima recomendável a ser aplicada é de 7Kg/cm^2 (100Lbs/Pol^2). Para manter a pressão dentro deste limite foi feito um cálculo das pressões internas pelo método de Smith (19) descrito anteriormente nos métodos construtivos.

Para uma viga sem emendas de 70cm de comprimento temos:



Largura: 5cm

Altura: 9cm

Comprimento: 70cm

Comprimento da placa: 15cm

Largura da placa: 5cm

Pressão da placa: 14Kg/cm^2

A média do módulo de elasticidade na compressão paralela tabelada pelo IPT Boletim nº 31 para o Pinho do Paraná é de 137800Kg/cm^2 . Portanto:

$$E = 137800 \text{Kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned} &\text{o módulo de elasticidade axial} \\ E_x &= 0,065 (137800) = 8957 \text{Kg/cm}^2 \\ &(\text{média de tangencial e radial}) \end{aligned}$$

Para o ponto 1 temos:

$$df \text{ ("altura de fundação")} = 8 \text{cm}$$

$$b \text{ ("largura da viga")} = 5 \text{cm}$$

$$K = \frac{E_x}{df} b = \frac{8957 \text{Kg/cm}^2}{8 \text{cm}} = 5598,1 \text{Kg/cm}^2$$

$$\beta' = \sqrt[4]{\frac{K}{4 E J}}$$

Onde: $J = \text{momento de inércia da "viga"} = 11,25 \text{cm}^4$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{5598,1}{4(137800)(11,25)}} = 0,173$$

$$D\beta_x = e^{-\beta x} (\cos \beta x)$$

Ponto 1

	x cm	βx	$D\beta x$
M_1	1,67	0,29	0,717
N_1	18,33	3,17	-0,042
M_2	1,67	0,29	0,717
N_2	18,33	3,17	-0,042
M_3	21,00	3,75	-0,019
N_3	36,00	6,35	0,002

$$q_1' = \frac{W}{2b} (D\beta x_1 - D\beta x_2)$$

$$q_1' = \frac{70}{2(5,0)} (0,717 + 0,042) + (0,717 + 0,042) + (-0,019 - 0,002)$$

$$q_1' = 10,51 \text{ kg/cm}^2$$

Para o ponto 2 temos:

df ("altura da fundação") = 1cm

b ("largura da viga") = 5cm

$$K = \frac{(Ex)}{df} b = \frac{8957}{1} (5,0) = 44785 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\beta' = \sqrt[4]{\frac{K}{4 E J}} = \sqrt[4]{\frac{44785}{4(137800)(416,66)}}$$

$$\beta' = 0,12$$

Ponto 2

	x cm	βx	$D\beta x$
M_1	1,67	0,198	0,804
N_1	18,33	2,166	-0,064
M_2	1,67	0,198	0,804
N_2	18,33	2,166	-0,064
M_3	21,66	2,559	-0,065
N_3	36,66	4,329	-0,005

$$q_2' = \frac{70}{2(5,0)} [(0,804 + 0,064) + (0,804 + 0,064) + (-0,065 + 0,005)]$$

$$q_2' = 11,73 \text{ Kg/cm}^2$$

Os pontos 1 e 2 foram considerados críticos por encontrarem-se fora das placas. Como vemos, os resultados são favoráveis, portanto a pressão é adequada. Este mesmo procedi-mento foi usado para verificar as pressões internas da viga de 250cm de comprimento. As cargas foram aplicadas através de parafusos, por um torquímetro previamente calibrado com dois anêis dinamométricos. É interessante notar que para aplicar a presão desejada deve-se apertar bem os parafusos até que a cola espirre fora, (ver foto) o tempo de cura foi de 24 horas a 20º Celsius.

4.3.2.6 - Lâminas coladas verticalmente sob pressão de prensas de parafusos

As dimensões destas vigas são as mesmas das vigas pregadas verticalmente. As lâminas foram coladas e prensadas da mesma maneira que as vigas sob a pressão de prensas de parafusos na direção horizontal. O tempo de cura foi de 24 horas a 25ºC.



FOTO Nº 8 - Prensagem de vigas curtas, note que a cola espirra fora.

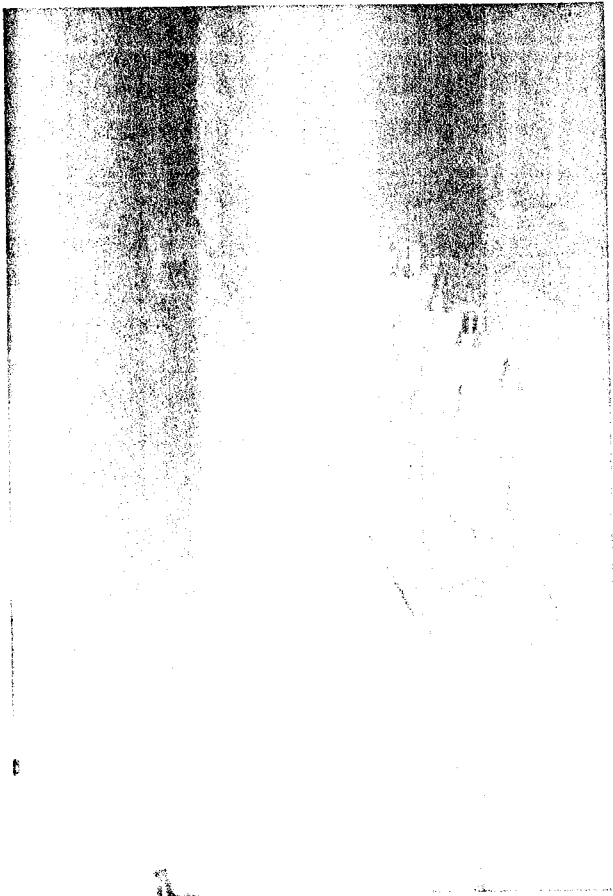


FOTO Nº 9 - Prensagem de vigas com emendas de topo.

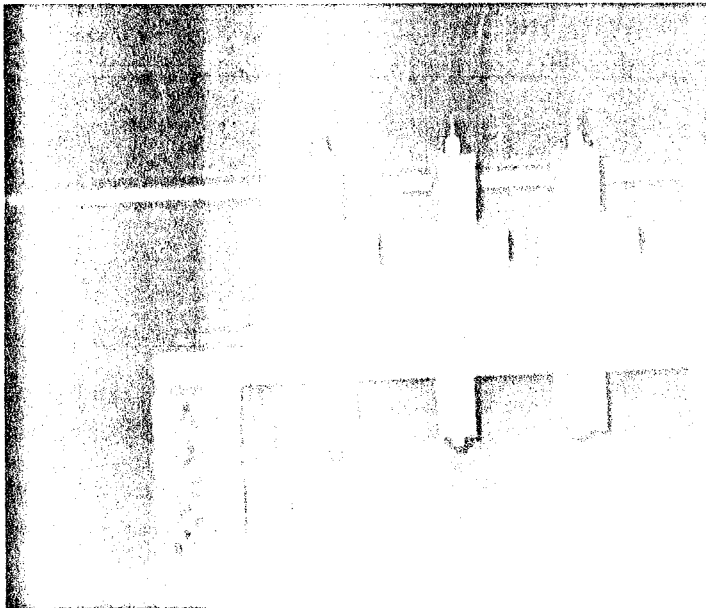


FOTO Nº 10 - Prensagem de vigas com emendas de topo. (vista de lado).

4.3.3 - Resultados - Vigas laminadas horizontalmente

sem emendas vão 66cm

Viga nº	Tratamento	Seção (cm)	Peso específico	Umidade (%)	Tensão de Cis. (Kg/cm ²)	Momento Fletor (Kg/cm ²)	Tipo de rup.
1	Pregada	5,1 x 9,2	0,74	8	34,44	352,1	Tração
2	Colada com pregos	5,1 x 9,25	0,53	11	25,33	259,0	Cisalhamento na cola
3	Colada com prensas	5,0 x 8,85	0,54	11,5	56,21	574,51	Cisalhamento na madeira
4	Colada com pregos	4,8 x 9,15	0,62	10,1	60,02	865,68	Cisalhamento na madeira
5	Colada com prensas	4,65 x 8,3	0,61	10,9	68,48	982,51	Cisalhamento na madeira
6	Colada com pregos	5,0 x 9,6	0,58	9,7	56,61	778,64	Cisalhamento na madeira
7	Colada com prensas	5,0 x 9,05	0,59	11	53,53	780,86	Cisalhamento na madeira

Vigas laminadas verticalmente
sem emendas vão 66cm

Viga nº	Tratamento	Seção (cm)	Peso específico	Umidade (%)	Tensão de Cis. (Kg/cm ²)	Momento Fletor (Kg/cm ²)	Tipo de rup.
8	Pregada	4,9 x 9,0	0,51	10	44,34	453,2	Tração
9	Colada com pregos	5,0 x 9,0	0,46	10	46,7	477,46	Cisalhamento normal no apoio
10	Colada com prensa	4,75 x 8,9	0,47	10,5	45,13	461,28	Cisalhamento normal no apoio
11	Colada com pregos	5,1 x 8,8	0,61	10	60,81	905,5	Tração
12	Colada com prensa	5,05 x 8,4	0,59	10,7	60,89	956,81	Tração
13	Colada com pregos	5,1 x 8,8	0,59	11,7	80,07	727,95	Tração - (vão de 40cm)
14	Colada com prensa	5,05 x 8,5	0,59	12,1	108,44	1020,76	Tração - (vão de 40cm)

Vigas laminadas horizontalmente
com emendas de topo vão 242cm

Viga nº	Tratamento	Seção (cm)	Peso específico	Umidade (%)	Módulo de elasticid. (Kg/cm ²)	Tensão de cisalhameh. (Kg/cm ²)	Momento fletor (Kg/cm ²)	Tipo de ru
15	Pregada	5,00 x 9,15	0,67	9,8	83175	7,4	323,7	Tração
16	Colada com pregos	5,05 x 9,4	0,57	10	126670	7,1	319,82	Tração ori na emenda
17	Colada com pregos	4,65 x 8,3	0,55	10	144734	7,84	419,71	Tração ori na emenda
18	Colada com prensa	4,5 x 8,4	0,55	10,3	132216	5,46	314,96	Tração ori na emenda
19	Colada com pregos	4,7 x 9,2	0,54	10,4	154019	10,22	493,04	Tração ori na emenda
20	Colada com prensa	4,8 x 9,15	0,53	10,4	118841	6,97	301,5	Tração ori na emenda

Vigas laminadas verticalmente
com emendas de topo vão 242cm

Viga nº	Tratamento	Seção (cm)	Peso específico	Umidade (%)	Módulo de elasticidade (Kg/cm ²)	Tensão de cisalhamento (Kg/cm ²)	Momento fletor (Kg/cm ²)	Tipo de rup.
21	Pregada	4,65 x 9,0	0,55	9	85866	8,17	403,17	Tração orig. na emenda
22	Colada com pregos	4,9 x 9,0	0,46	10,7	101888	7,92	355,4	Tração orig. na emenda
23	Colada com prensas	4,85 x 8,9	0,46	10,6	118294	10,3	492,51	Tração orig. na emenda
24	Colada com pregos	5,1 x 8,4	0,58	10,2	165133	12,47	659,32	Tração orig. na emenda
25	Colada com prensas	5,2 x 8,6	0,59	10,5	153895	10,35	534,67	Tração orig. na emenda
26	Colada com pregos	4,75 x 8,6	0,5	10,5	130255	11,16	562,91	Tração orig. na emenda
27	Colada com prensas	4,8 x 8,7	0,47	10,34	106591	8,95	457,13	Tração orig. na emenda

Média das vigas horizontais

	Momento fletor (Kg/cm ²)	Tensão de Cis (Kg/cm ²)	Módulo de elasticid. (Kg/cm ²)
Pregada:	s/emendas 352,1	34,44	-
	c/emendas 323,7	7,4	83175
Colada com pregos:	s/ emendas 634,44	47,32	-
	c/ emendas 410,83	7,3	141808
Colada com prensas:	s/ emendas 779,29	59,41	-
	c/ emendas 308,2	6,22	125526

Média das vigas verticais

	Momento fletor (Kg/cm ²)	Tensão de cis. (Kg/cm ²)	Módulo de elasticid. (Kg/cm ²)
Pregada:	s/ emendas 453,2	44,34	-
	c/ emendas 403,1	8,17	85866
Colada c/pregos	s/ emendas 703,64	62,53	-
	c/ emendas 525,86	10,51	132425
Colada c/prensa	s/ emendas 812,95	71,48	-
	c/ emendas 494,77	9,86	126260

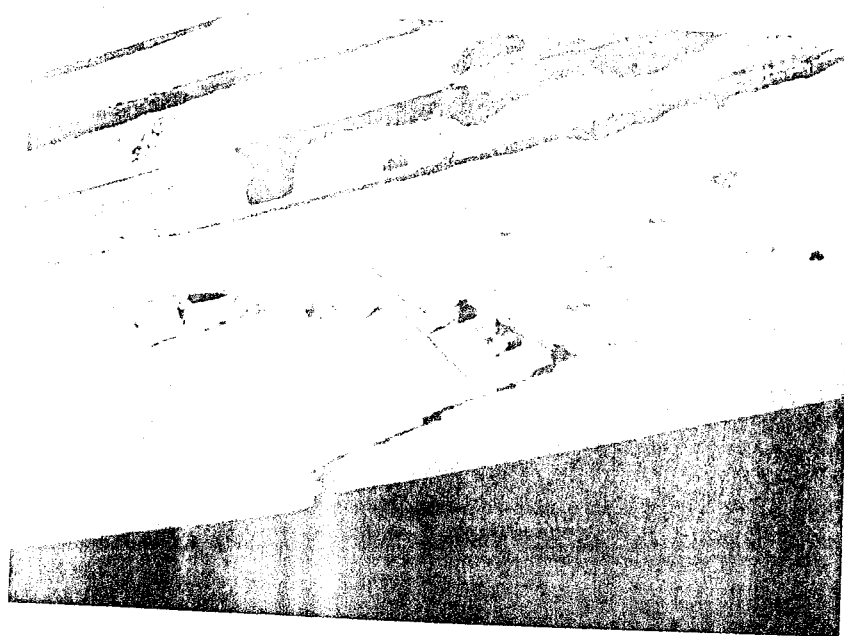


FOTO Nº 11 - Ruptura por tração na madeira em viga sem emendas.

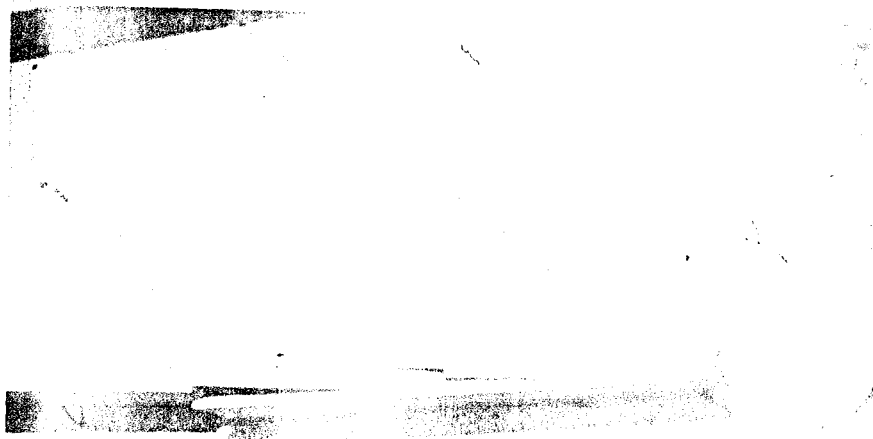


FOTO Nº 12 - Ruptura originada na emenda de topo na lâmina externa tracionada.

4.3.4 - Observações

a) As vigas laminadas pregadas não são recomendáveis porque é necessário um número muito grande de pregos, e mesmo assim o módulo de elasticidade e a resistência à ruptura são menores.

b) As vigas laminadas coladas sob pressão de pregos são recomendáveis tanto por seu módulo de elasticidade como resistência à ruptura. Este tipo de laminação não é frequente na literatura. Apresenta a desvantagem dos pregos nas lâminas que dificultam o corte e o aparelhamento da peça e dão aparência não desejável. Este tipo de laminado pode ser usado em obras onde a aparência não é dispensável.

c) As vigas laminadas sob pressão de prensas de parafusos deram resultados satisfatórios. Este tipo de laminado é o mais divulgado e proporciona um efeito arquitetônico muito bom nas estruturas.

d) As emendas de topo reduzem consideravelmente a resistência mecânica das vigas, sobretudo nas laminações horizontais, pelo que é recomendável usar emendas "Finger Joint" ou "Scarf Joint" nas laminações externas.

e) As vigas laminadas verticalmente deram resultados superiores aos das vigas laminadas horizontalmente, sendo recomendável o seu uso quando for construída sem emendas laterais (.. composição vertical).

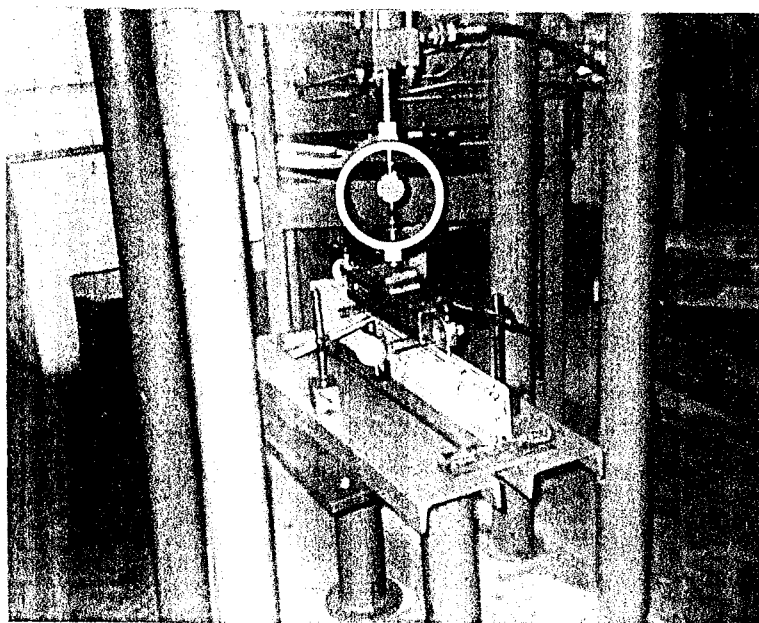


FOTO Nº 13 - Ensaio de viga laminada verticalmente sem emendas.

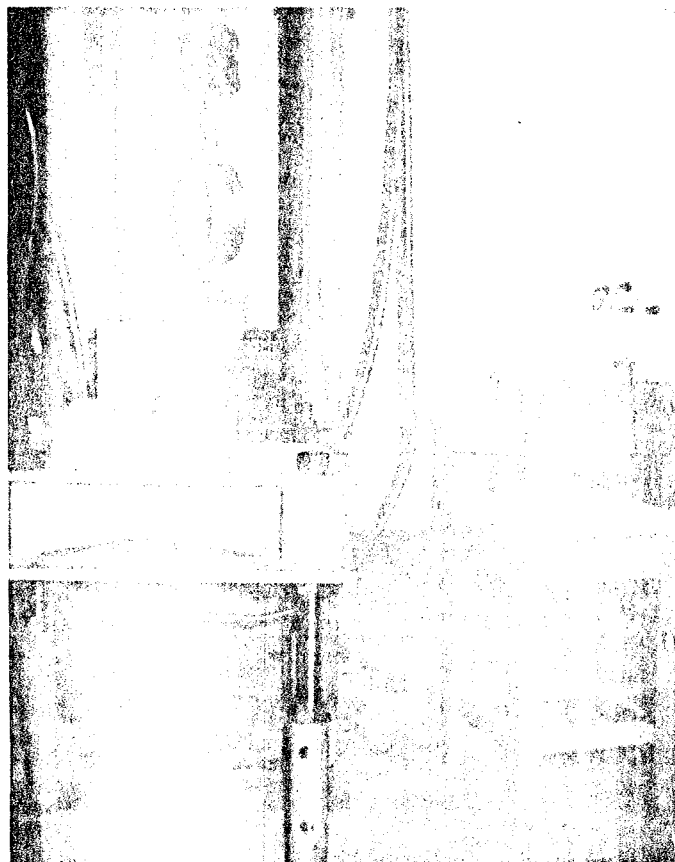


FOTO Nº 14 - Ensaio da viga laminada verticalmente com emendas.

4.4 - Ensaio a flexão de emendas transversais em lâminas externas

O objetivo deste estudo consiste em pesquisar a redução da tensão de ruptura na flexão, provocada pelas emendas. Para isto compara-se a tensão de ruptura das vigas "perfeitas" (sem emendas) com as vigas emendadas e observa-se posteriormente na viga rompida, a influência das emendas.

4.4.1 - Descrição das vigas

Foram fabricadas vigas laminadas coladas de 5 x 5 x 80cm aproximadamente, com 5 lâminas de 1cm de espessura, 5cm de largura, e 80cm de comprimento, colocando-se as emendas geralmente na lâmina externa, tracionada, com exceção do tipo que não tem emendas e o tipo 3, onde a emenda de topo foi colocada na lâmina externa comprimida. Os tipos fabricados são:

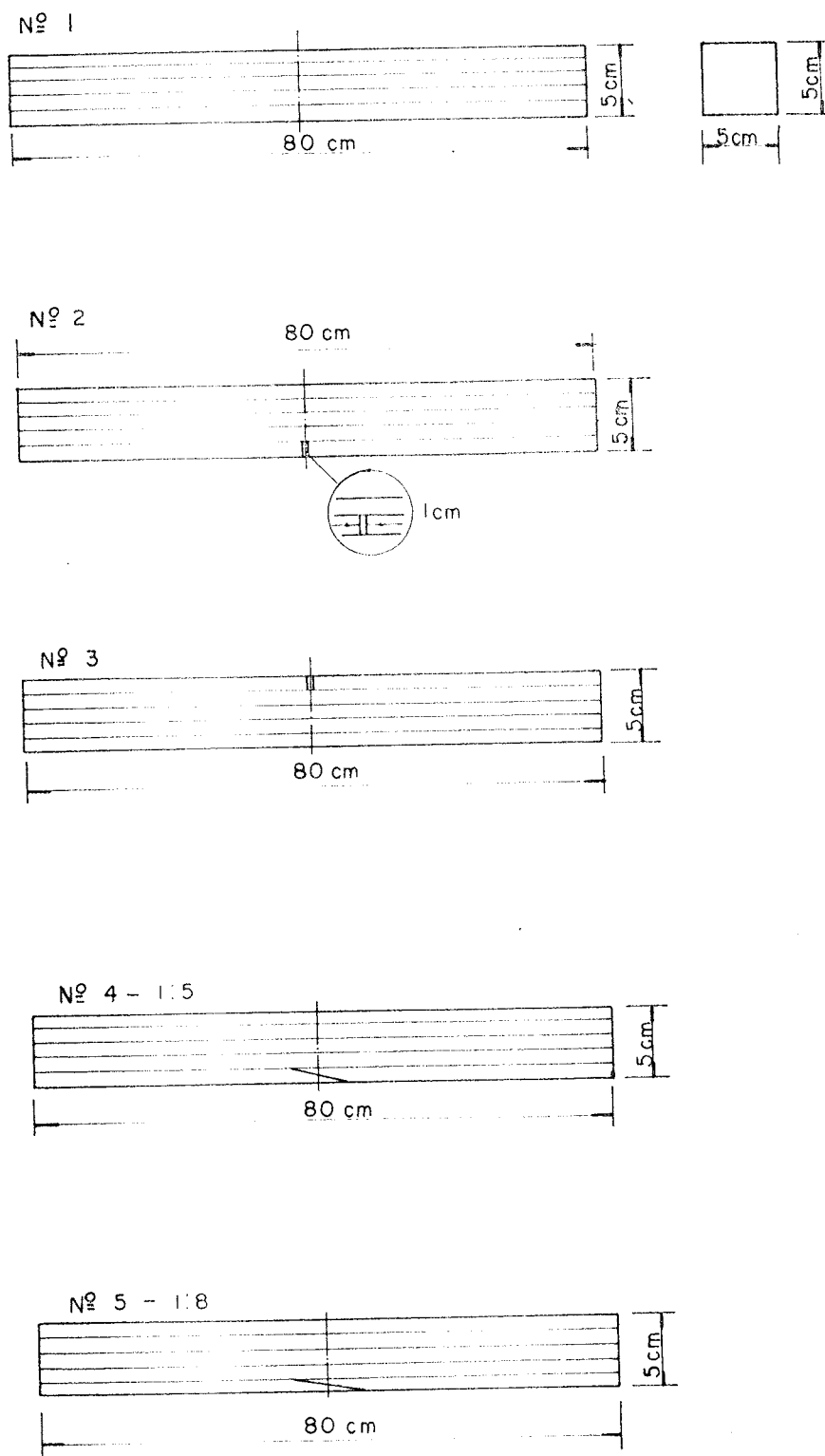


FIG 33 - Diferentes tipos de emendas transversais ensaiadas a flexão.

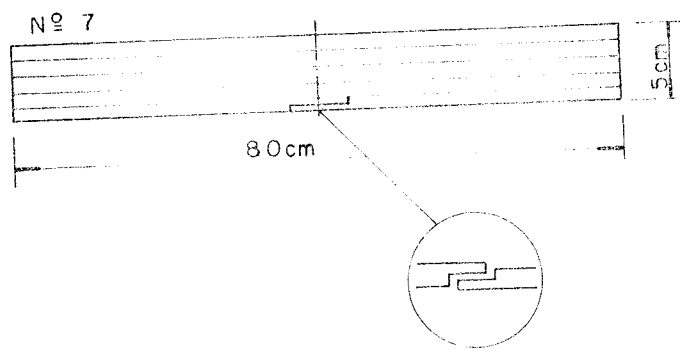
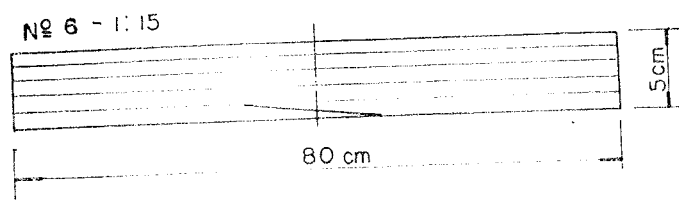


FIG. 33 - Diferentes tipos de emendas transversais
ensaiadas a flexão.

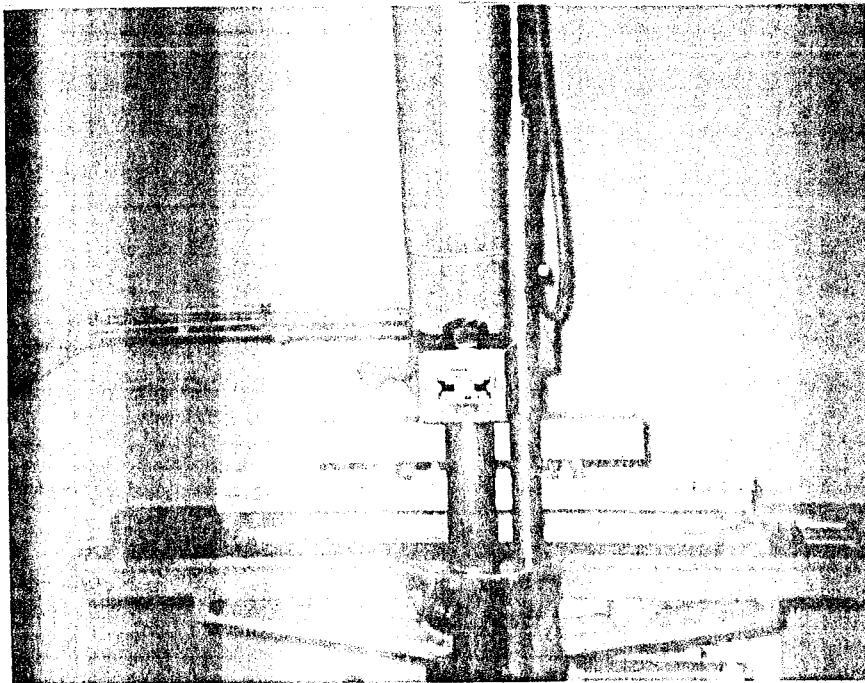


FOTO Nº 15 - Ensaio de viga tipo 1.

4.4.2 - Resultados - Ensaio de emendas em
peças fletidas

Viga nº	Tipo	Seção (cm)	Peso específico	Umidade (%)	Tensão de cis. (Kg/cm ²)	Momento fletor (Kg/cm ²)	Tipo de rup.
28	1	4,9 x 4,63	0,51	13,36	37,2	803,42	Tração na madeira
29	1	4,88 x 4,48	0,49	13,36	38,58	261,36	Tração na madeira
30	1	4,72 x 4,56	0,49	13,4	40,78	889,62	Tração na madeira
31	1	4,93 x 4,84	0,56	13,00	40,24	831,26	Tração na madeira
32	2	4,85 x 4,58	0,50	13,93	23,79	519,71	Rup. orig. na emenda
33	2	4,82 x 5,18	0,55	12,71	21,34	411,79	Rup. orig. na emenda
34	2	4,7 x 5,1	0,56	13,25	15,28	294,51	Rup. orig. na emenda

Ensaio de emendas em peças fletidas

Viga nº	Tipo	Seção (cm)	Peso específico	Unidade (%)	Tensão de cis. (Kg/cm ²)	Momento fletor (Kg/cm ²)	Tipo de rup.
35	3	4,9 x 5,05	0,6	12,88	38,94	771,2	Cisalhamento na linha de cola
36	3	5,04 x 4,77	0,56	12,13	28,07	621,98	Rup. orig. na emenda
37	4	4,96 x 5,19	0,51	13,06	26,66	513,68	Rup. orig. na emenda
38	4	4,9 x 4,64	0,51	15,40	24,42	526,1	Rup. orig. na emenda
39	4	4,92 x 4,59	0,55	14,26	26,57	578,81	Tração na madeira
40	5	4,72 x 4,02	0,57	13,80	24,89	619,52	Rup. orig. na emenda
41	5	4,9 x 3,94	0,54	13,08	28,15	714,98	Tração na madeira

Ensaio de emendas em peças fletidas

Viga nº	Tipo	Seção (cm)	Peso específico	Umidade (%)	Tensão de cis. (Kg/cm ²)	Momento fletor (Kg/cm ²)	Tipo de rup.
42	5	5,00 x 5,01	0,58	12,20	35,01	697,75	Tração na madeira
43	6	4,75 x 4,04	0,56	13,03	43,38	1073,85	Tração na madeira
44	6	4,79 x 5,00	0,56	13,69	33,5	641,94	Tração na madeira
45	6	4,72 x 4,73	0,55	14,29	33,76	713,84	Tração na madeira
46	7	4,9 x 4,2	0,53	13,05	15,12	360,12	Rup. orig. na emenda
47	7	4,9 x 5,02	0,51	13,51	18,45	367,5	Rup. orig. na emenda
48	7	4,94 x 5,42	0,50	15,52	18,14	421,24	Rup. orig. na emenda

4.4.3 - Análise estatística dos resultados e Observações

Para comparar os resultados das vigas sem emendas (tipo 1) e as vigas com emendas foi encontrado o intervalo de confiança.

Tipo 1

$$S_1 = 37,27$$

$$S_1^2 = 1389,42$$

$$\bar{X}_1 = 846,42$$

Tipo 2

$$S_2 = 112,63$$

$$S_2^2 = 12686,0$$

$$\bar{X}_2 = 408,67$$

$$S_d = \sqrt{\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}}$$

$$S_d = 67,64$$

$$t' = \frac{d}{S_d} = 6,47$$

Para número de amostras diferentes e variância diferente, temos:

$$df' = \frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1} + \frac{S_2^2}{n_2}\right)}{\frac{\left(\frac{S_1^2}{n_1}\right)}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{S_2^2}{n_2}\right)}{n_2 - 1}} \quad \text{g.L.}$$

$$df' = 2 \text{ g.L.}$$

Obtemos 97% de confiança

Tipo 1

$$S_1 = 37,27$$

$$S_1^2 = 1389,42$$

$$\bar{X}_1 = 846,42$$

Tipo 3

$$S_2 = 105,5$$

$$S_2^2 = 11133,3$$

$$\bar{X}_2 = 696,59$$

$$S_d = 76,9$$

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_d} = 1,948$$

$$df = 1 \text{ g.L.}$$

Obtemos 69% de confiança

Tipo 1

$$S_1 = 37,27$$

$$S_1^2 = 1389,42$$

$$\bar{X}_1 = 846,42$$

Tipo 4

$$S_2 = 34,57$$

$$S_2^2 = 1195,75$$

$$\bar{X}_2 = 539,53$$

$$S_d = 27,31$$

$$t = 27,31$$

$$df = 4 \text{ g.L.}$$

Obtemos 99,9% de confiança

Tipo 1

$$S_1 = 37,27$$

$$S_1^2 = 1389,42$$

$$\bar{X}_1 = 846,42$$

Tipo 5

$$S_2 = 50,87$$

$$S_2^2 = 2588,23$$

$$\bar{X}_2 = 677,41$$

$$S_d = 34,78$$

$$t = 4,859$$

$$df = 3 \text{ g.L.}$$

Obtemos 98% de confiança

Tipo 1	Tipo 6
$S_1 = 37,27$	$S_2 = 231,41$
$S_1^2 = 1389,42$	$S_2^2 = 53553,84$
$\bar{X}_1 = 846,42$	$\bar{X}_2 = 809,87$

$$S_d = 134,9$$

$$t' = 0,27$$

$$df' = 2,07 \text{ g.L.}$$

Obtemos menos de 50% de confiança

Tipo 1	Tipo 7
$S_1 = 37,27$	$S_2 = 33,26$
$S_1^2 = 1389,42$	$S_2^2 = 1113,01$
$\bar{X}_1 = 846,42$	$\bar{X}_2 = 382,95$

$$S_d = 26,8$$

$$t' = 17,29$$

$$df' = 4,73 \text{ g.L.}$$

Obtemos 99,9% de confiança

Observações

a) Admitindo 95% de confiança, temos que a emenda de topo na lâmina externa tracionada (tipo 2), a emenda em cunha 1:5 (tipo 4), a emenda em cunha 1:8 (tipo 5) e a emenda em grade (tipo 7) reduzem a resistência das vigas, por outro lado nada pode-se concluir na viga com emenda de topo na lâmina externa comprimida (tipo 2) nem na emenda em cunha 1:15 (tipo 6).

b) Freas e Selbo (?) dão os seguintes fatores de re

dução para as emendas em cunha na área tracionada:

1:5	65%
1:8	80%
1:15	90%

Os valores encontrados pela experimentação foram:

1:5	63%
1:8	80%
1:15	95%

Note-se a aproximação dos percentuais.

c) No caso da emenda de topo na área comprimida, Freas e Selbo (7), assim como Ozelton e Baird (12), mandam considerar a lâmina como inefetiva ao considerar o momento de inércia, o que dá neste caso uma redução de 64%. Na experimentação achou-se um fator de redução de 82%.

d) No caso da emenda de topo na lâmina exterior tracionada, Freas e Selbo recomendam considerar a lâmina exterior como inefetiva e além disso multiplicar o momento de inércia restante por 0,8. Neste caso existe um fator de redução de 0,41. O fator encontrado na experimentação é de 0,48.

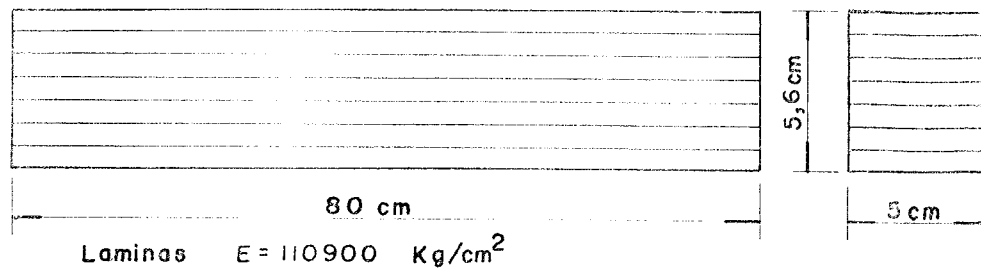
e) A emenda em meia madeira pesquisada (tipo 7, do item 4.4.1) não é recomendável, uma vez que apresenta os mesmos defeitos da emenda de topo, onde inicia a ruptura da viga.

4.5 - Ensaio de emenda de topo em lâminas internas a flexão

A experimentação das emendas seguiu com o objetivo de encontrar a influência das emendas de topo nas lâminas internas na resistência da peça fletida. Para tal foram fabricadas vigas com madeira previamente fletida classificada: duas vigas (uma sem emendas, outra com emendas), lâminas com um módulo de elasticida

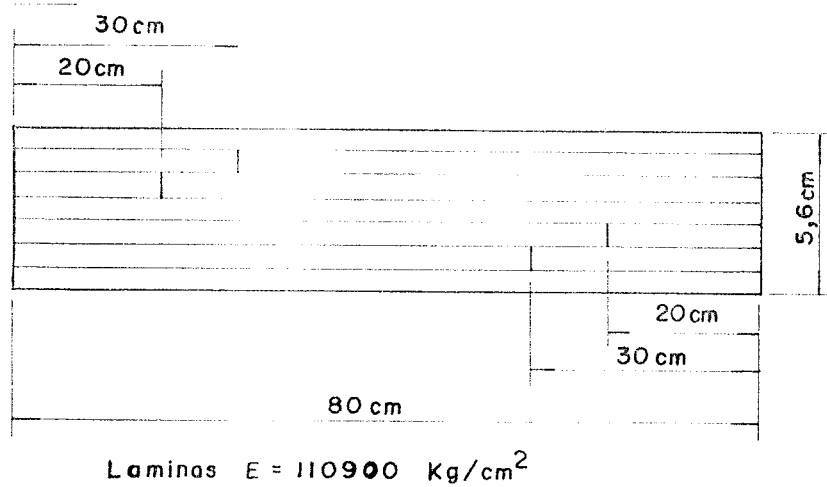
de médio de 166300 Kg/cm^2 , e duas vigas (uma sem emendas outra com emendas) com lâminas com um módulo de elasticidade médio de 110900 Kg/cm^2 .

TIPO 8 (sem emendas)



TIPO 9 (igual ao tipo 8 sem emendas mas com laminas com $E = 166300 \text{ Kg/cm}^2$)

TIPO 10



TIPO 11

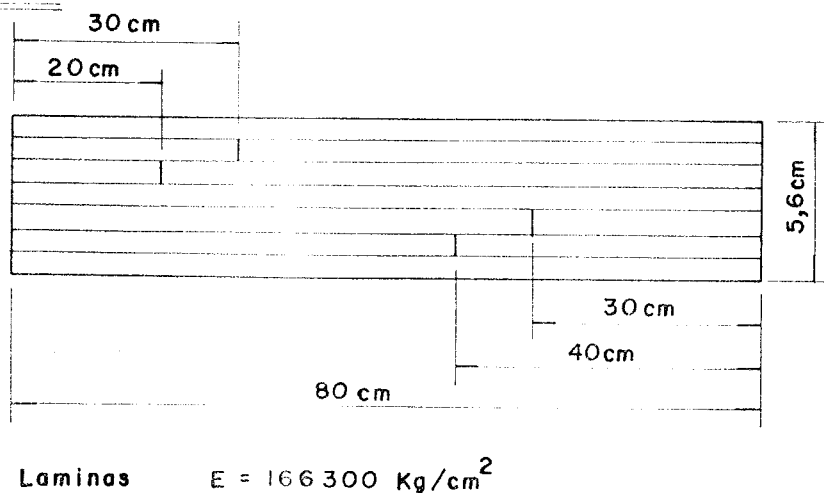


FIG. 34 - Dois tipos de vigas com emendas de topo nas laminas internas e dois tipos de vigas sem emendas

4.5.1 - Resultados - Ensaio de emendas de topo em lâminas internas

Viga nº	Tipo	Seção (cm)	Peso específico	Umidade (%)	Tensão de cis. (Kg/cm ²)	Momento fletor (Kg/cm ²)
49	8	4,66 x 5,1	0,51	10,75	34,24	671,4
50	10	4,45 x 5,0	0,59	10,36	38,07	761,8
51	9	4,64 x 5,52	0,59	9,86	47,43	859,5
52	11	4,73 x 5,6	0,59	9,74	43,32	773,6

4.5.2 - Observação

Pode-se observar que as emendas de topo são menos prejudiciais nas lâminas internas que nas externas, onde se originam as rupturas. Neste ensaio com vigas de sete lâminas, as emendas de topo não enfraquecem as vigas, pois as lâminas externas sem defeitos seguraram a ruptura. No entanto, em vigas com mais lâminas, não é possível extrapolar estes resultados, sendo necessário mais de uma lâmina sem defeitos (emenda de cunha ou dente), para obter uma viga com resistência equivalente.

4.6 - Ensaio de compressão

4.6.1 - Descrição dos ensaios

Os corpos de prova de compressão foram adquiridos do restante das vigas laminadas verticais anteriormente ensaiadas. Os corpos de prova tem uma seção transversal de aproximadamente 5 x 9cm, e uma altura de aproximadamente 30cm o que dá um λ (índice de esbeltez) de $20,83 < 40$, portanto observa-se compressão pura de acordo com a NB-11-1951.

Os corpos de prova foram cortados sem emendas, com uma emenda e com duas emendas. Estes ensaios tem como objetivo ver a influência das emendas de topo de resistência das peças comprimidas.

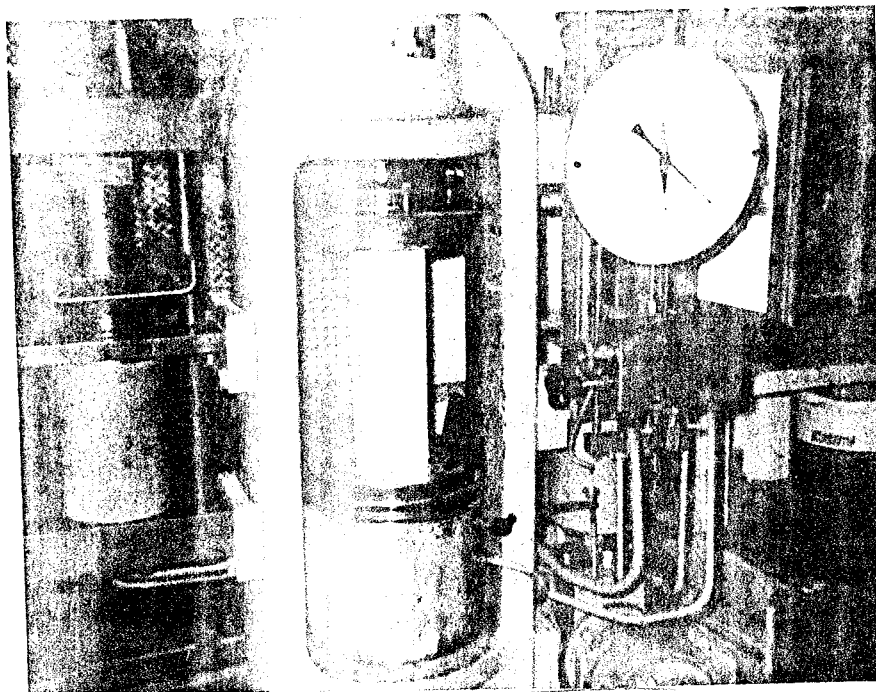


FOTO Nº 16 - Ensaio de compressão.

4.6.2 - Resultados - Ensaio de compressão de corpos
colados com prensas

Corpo nº	Emendas	Seção (cm)	Peso específico	Umidade (%)	Tensão Rup. (Kg/cm ²)	Módulo de elasticidade (Kg/cm ²)
1	-	4,9 x 8,8	0,46	10,6	424,4	93753
2	-	4,8 x 8,9	0,46	10,6	472,8	145845
3	-	4,8 x 8,7	0,59	10,5	395,1	119731
4	1	4,9 x 8,75	0,46	10,6	342,9	116577
5	1	4,65 x 8,85	0,59	10,5	357,2	86790
6	1	4,83 x 8,78	0,59	10,5	332,0	91925
7	2	4,95 x 8,85	0,46	10,6	351,6	-
8	2	4,78 x 8,84	0,59	10,5	343,15	123374
9	2	4,8 x 8,82	0,59	10,3	319,8	120186

Ensaio de compressão de corpos de prova colados
sob pressão de pregos

Corpo nº	Emendas	Seção (cm)	Peso específico	Umidade (%)	Tensão Rup. (Kg/cm ²)	Módulo de elasticidade (Kg/cm ²)
10	-	4,85 x 8,85	0,46	10,7	424,0	124816
11	-	4,17 x 8,52	0,58	10,2	592,1	186462
12	-	4,8 x 8,65	0,5	10,5	335,9	124657
13	1	5,0 x 8,9	0,46	10,7	373,0	86875,9
14	1	4,88 x 8,72	0,58	10,2	334,8	121639
15	1	5,22 x 8,42	0,5	10,5	365,6	205647
16	2	4,9 x 8,75	0,46	10,5	303,17	-
17	2	5,0 x 8,8	0,46	10,55	286,4	-
18	2	5,15 x 8,58	0,58	10,2	401,0	220955

Corpo de prova pregado sem emendas

Seção (cm)	Peso esp.	Unidade (")	Ruptura (Kg/cm ²)	Mód. de elast. (Kg/cm ²)
4,54 x 9,16	0,55	9	287,6	93176

Médias (Kg/cm²)

	sem emendas	uma emenda	duas emendas
Corpos colados sob prensas	430,7	344,0	338,2
Corpos colados sob pregos	450,6	357,8	330,2

4.6.3 - Análise estatística dos resultados,
e observações

Para comparar os resultados dos corpos comprimidos foi encontrado o intervalo de confiança.

Corpos colados com prensas:

Sem emendas	uma emenda
$S_1 = 39,2$	$S_2 = 12,64$
$S_1^2 = 1539,7$	$S_2^2 = 159,72$
$\bar{X}_1 = 430,7$	$\bar{X}_2 = 344,0$

$$S_d = 23,8$$

$$t' = \frac{d}{s_d} = 3,64$$

Obtemos 92% de confiança.

Sem emendas

$S_1 = 39,2$

$S_2^2 = 1539,7$

$\bar{X}_1 = 430,7$

duas emendas

$S_2 = 16,46$

$S_2^2 = 271,06$

$\bar{X}_2 = 338,7$

$S_d = 24,3$

$t' = 3,73$

Obtemos 93% de confiança.

Corpos colados com pregos:

Sem emendas

$S_1 = 130,2$

$S_2^2 = 16942,9$

$\bar{X}_1 = 450,66$

Uma emenda

$S_2 = 61,89$

$S_2^2 = 3830,0$

$\bar{X}_2 = 330,2$

$S_d = 83,21$

$t' = 1,44$

Obtemos 75% de confiança.

Comparando as vigas coladas com prensas às vigas coladas com pregos, temos:

Com prensas x_1	Com pregos x_2	$x_2 - x_1$	$(x_2 - x_1)^2$
424,4	424,0	0,4	0,16
472,8	592,1	119,3	14232,5
395,1	335,9	-59,2	3504,6
342,9	373,0	30,1	906,0
357,2	334,8	-22,4	501,7
332,0	365,6	33,6	1129,0
351,6	303,2	-48,4	2342,6
343,2	286,4	-56,8	3226,4
319,8	401,0	81,2	6593,4
		$\Sigma 77,8$	32436,4

$\bar{X}_1 = 371,0$

$\bar{X}_2 = 379,5$

$$S_d^2 = \frac{\sum (x_{1j} - x_{2j})^2 - [\sum (x_{1j} - x_{2j})]^2 / n}{n(n-1)}$$

$$S_d^2 = \frac{32436,4 - 672,53}{(9)(8)} = 441,16$$

$$S_d = 21$$

$$t' = \frac{8,5}{21} = 0,4047$$

Obtemos menos de 50% de confiança.

Observações:

a) Admitindo 90% como intervalo de confiança temos que nos corpos colados com prensas as emendas reduzem a resistência, enquanto nos corpos colados com pregos não podemos concluir que as emendas reduzem a resistência;

b) nos corpos colados sob pressão de prensas a resistência dos corpos com uma emenda cai a 20%, e com duas a 21. Nos corpos colados sob pressão de pregos, a resistência dos corpos com uma emenda cai a 21%, e com duas a 27. Pode-se concluir portanto que no caso de haver uma emenda numa peça comprimida, esta lâmina não deve ser levada em consideração na seção transversal, enquanto que com duas emendas a redução da área seria desprezando uma lâmina e parte da outra;

c) os corpos colados com prensas e com pregos dão igual resistência, já que o intervalo de confiança das médias é menor que 50%.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION - Timber construction manual, Englewood. Colorado, 1974.
- 2 - AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS - Annual book of A.S.T.M. standards, part 16. Philadelphia, 1973.
- 3 - BLÖMER - Ein beiträg zur berechnung der geleimten verbindungen (Bautechnik). Berlin 38, 1961.
- 4 - CALLIA, V.W. - A madeira laminada e colada de Pinho do Paraná nas estruturas, Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Boletim nº 47, São Paulo, 1958.
- 5 - CHUGG, W.A. - The theory and practice of the manufacture of glued laminated timber structures. Ernst Benn. London, 1964
- 6 - CORDERO, Luis Llach - Madera laminada encolada, Universidad de Costa Rica, 1970.
- 7 - FREAS, A.D. & SELBO, M.L. - Fabrication and design of glued laminated wood structural members, tech boletim nº 1069, Washington, D.C. Feb. 1954.
- 8 - HEMPEL, G. - Freigespannte Holzbinder. Bruderverlag, Karlsruhe, 1959.
- 9 - HOYLE, Jr. R.J. - Wood technology in the design of structures. Montana, Mountain press, 1972.
- 10 - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - Tabelas e resultados obtidos para madeiras nacionais. São Paulo, 1956.
- 11 - OROSZ, Ivan - Some non destructive parameters for prediction of strength of structural lumber. Forest Service Research Paper FPL 100. Madison, Wis. Oct. 1968.
- 12 - OZELTON, E.C. & PAIRD, J.A. - Timber designers' manual. Norwich Fletcher and son, 1976.
- 13 - PARISOT, M.P. - Étude technico-économique de l'aboutage, Cahiers du centre technique du bois. Paris, Oct. 1973.
- 14 - REGGIANI, Jean Claude - La fabrication des éléments de structure en bois lamelle collée. Cahier du centre technique du bois. Paris, Nov. 1971.
- 15 - SCHAEFFER, R.E. - Gap-filling adhesives in finger joints. United States Department of Agriculture. Forest Service Research Paper FPL 140. Madison, Wis. 1970.

- 16 - SELBO, M.L. - Laminating of preservative-treated wood. American wood preservers association, Washington, 1957.
- 17 - SELBO, M.L. - Effect of geometry on tensil strength of finger joint. United States Department of Agriculture. Forest Product Laboratory, Madison, Wis. 1963.
- 18 - SENFT, John F. & STANLEY K. Suddarth - A new approach to stress grading of lumber. Forest Product Journal. Madison, Wis. Apr. 1962.
- 19 - SIMIONI, Amauri - Sobre a viabilidade técnica de confec o de vigas laminadas com madeira juvenil de "pinus elliotti englm". Universidade Federal do Paraná. Fev. 1958.
- 20 - SMITH, Gary Dale - An investigation of interface pressures in a clamped assembly of wood laminations. University of Wisconsin, 1962.
- 21 - SZYMOCZYK, Jan - Arches tables for statical analyses. Technical University of Warsaw, Poland 1961.
- 22 - TIMBER STRUCTURES INC. - Building for tomorrow through Engineering in wood. Portland, Oregon, 1958.
- 23 - TORRIE JAMES, H. & STEEL, Robert G.D. - Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill Book, 1960.