

**COMPOSIÇÃO RACIONAL DE VIGAS DE
MADEIRA LAMINADA COLADA DE PINUS**

GLENE SUELY RIBES FAGUNDES

**Dissertação apresentada ao Curso de Pós- Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa
Catarina, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Civil.**

Área de Concentração : Construção Civil

Orientador : Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs

**Florianópolis
1998**

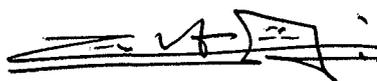
**COMPOSIÇÃO RACIONAL DE VIGAS DE
MADEIRA LAMINADA COLADA DE PINUS**

Glene Suely Ribes Fagundes

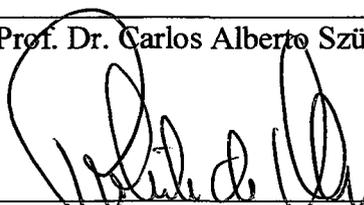
Esta dissertação foi julgada para obtenção do título de

Mestre em Engenharia Civil

Especialidade **Construção Civil** e aprovada em sua forma final pelo programa de
Pós Graduação em Engenharia Civil

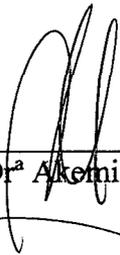


Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs – (Orientador)



Prof. Dr. Roberto de Oliveira – (Coord. Do Curso)

Banca Examinadora



Dr.ª Akemi Ino - (Presidente) – EESC/USP



Dr. Fábio Armando Botelho Cordovil – UFSC



Dr. Miguel A. Verdinelli - UFSC

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Carlos Alberto Szücs, pela maneira tranquila e segura com que me orientou neste trabalho.

Aos colegas André Graef e Flávio S. Wagner, que foram peças fundamentais na realização dos ensaios.

Aos colegas e amigos, professores da UNISUL, Hércules, Juan, Maurício, Nelso , Roberto e Ismael sempre prontos a me socorrerem nas horas de aperto.

Ao aluno de Engenharia Civil da UNISUL, Alexandre Martins pela paciência com que me auxiliou na editoração deste trabalho.

Aos estagiário Mário e Robson, que colaboraram em várias etapas deste trabalho.

À Empresa Battistella Indústria e Comércio Ltda, pela doação da madeira necessária para desenvolvimento deste trabalho bem como a disponibilização de suas instalações e funcionários.

À empresa Alba Química Indústria e Comércio Ltda, pela doação da cola utilizada na confecção das vigas.

À UNISUL, que me liberou para a realização deste mestrado e sempre me deu apoio.

À Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa que me foi concedida.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

Aos meus filhos Emílio e Júlia e meu marido Aderbal que mesmo sentindo minhas ausências, foram minha fonte de apoio e incentivo.

Aos meus pais, irmãs e cunhado que apesar de longe muito contribuíram para a realização deste mestrado.

RESUMO

Entre os inúmeros estudos já realizados, visando melhorar a eficiência de elementos de madeira laminada colada - MLC, utilizando madeira de reflorestamento, já ficou comprovado que a pré-classificação de lâminas (tábuas) segundo o módulo de elasticidade, contribui sensivelmente, para o aumento da rigidez e resistência mecânica na flexão.

O objetivo deste trabalho foi o de pesquisar que tipo de pré-classificação conduziria à maiores ganhos na resistência mecânica da peça, buscando a melhor forma de aplicá-la na linha de produção de uma indústria.

Para realizar este estudo, foram determinados pelo método de flexão simples a três pontos, o módulo de elasticidade de 274 lâminas empregadas para produzir 30 vigas retas em tamanho real. Estas lâminas possuíam várias emendas longitudinais, tal como ocorre na indústria. A madeira utilizada foi o Pinus do planalto serrano de Lages e o adesivo a resorcina-fenol-formol. Para cada grupo de 6 vigas foi proposto um tipo diferente de pré-classificação. Estas vigas foram submetidas ao ensaio de flexão simples a quatro pontos, até o momento da ruptura, com medição das flechas, permitindo assim que se fizesse a comparação entre os diferentes grupos dos valores obtidos, para o módulo de elasticidade longitudinal (E_{real}) e a resistência à tração na flexão (σ_t). Foi feita a comparação entre médias dos 5 grupos para cada um dos parâmetros acima e constatou-se que não havia diferença significativa entre os mesmos.

Foi realizado também um estudo do método adotado pela Empresa Battistella, de classificação visual das tábuas em 1ª e 2ª. Feita a comparação entre as médias dos módulos de elasticidades das lâminas de 1ª com as de 2ª, verificou-se a existência de diferença significativa.

ABSTRACT

Among the many studies already done, looking for the improvement of the efficiency of elements of glued-laminated timber – GLT, using reforestation wood, it has already been proved that the pre-classification of laminas (timber) using the module of elasticity, works for the enhancement of the rigidity and mechanic resistance on the bending.

The aim of this present work was to research which kind of pre-classification would get to higher values on the mechanic resistance of the piece, searching for a better way of applying it on the production line of an industry.

In order to make this study, it was determined by the method of simple bending on three points, the module of elasticity of 274 lamins that were used to build 30 straight beams on real size. Those lamins had lots of happens longitudinal emendations on industries. The timber we used was Pinus of the Planalto Serrano in Lages, SC and the glue “resorcina-fenol-formol”. For each group of six beams a different way of pre-classification was used. Those beams went under an essay of simple bending on four points, until the moment of rupture, with the measure of the sweepbacks, allowing a comparison between the different groups of values that were got, for the module of longitudinal elasticity (E_{real}) and the resistance to the bending traction (σ). A comparison has been made between the average number of the 5 groups for each one of the parameters above and we noticed there was no significant difference between them.

It was also done a research on the method adopted by Empresa Battistella, about the visual classification of the timbers on 1st and 2nd. After we made the comparison between the module of elasticity of the lamins of 1^a and the lamins of 2^a, we noticed the existence of a significant difference.

CAP. I - INTRODUÇÃO	1
I.1) GENERALIDADES.....	1
I.2) PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA.....	4
I.3) FORMAÇÃO DA MADEIRA.....	7
I.4) RECURSOS FLORESTAIS BRASILEIROS.....	8
CAP. II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
II. 1 - MADEIRA LAMINADA COLADA - MLC.....	11
II. 1. 1 - BREVE HISTÓRICO.....	11
II. 1. 2 - VANTAGENS DA MLC.....	14
II. 1. 3 - TIPOS DE MADEIRA E COLA.....	15
II. 1. 4 - PROCESSO DE FABRICAÇÃO.....	15
II. 1. 5 - PESQUISAS ANTERIORES SOBRE PRÉ- CLASSIFICAÇÃO DE LÂMINAS, EMPREGADAS NA COMPOSIÇÃO DE VIGAS RETAS DE MADEIRA LAMINADA COLADA....	18
II. 2 - CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS.....	20
II.2. 1 - CLASSIFICAÇÃO VISUAL DA MADEIRA - PRINCIPAIS DEFEITOS.....	20
II. 2. 2 - CLASSIFICAÇÃO E TRIAGEM DAS TÁBUAS PELA RESISTÊNCIA.....	23
II. 3 - ESTUDO TEÓRICO SOBRE A INFLUÊNCIA DO MOMENTO FLETOR E DO ESFORÇO CORTANTE, NA DETERMINAÇÃO DO VALOR DO MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	25
II. 4 - PINUS DO PLANALTO DE LAGES.....	28
II. 4. 1 - SITUAÇÃO DOS REFLORESTAMENTOS DO GRUPO BATTISTELLA.....	28
II. 4. 2 - PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS.....	29
II. 5 - METODOLOGIA ADOTADA PELA INDÚSTRIA BATTISTELLA, NA PRODUÇÃO DE VIGAS RETAS DE MADEIRA LAMINADA COLADA.....	31
II. 5. 1 - INTRODUÇÃO.....	31
II. 5. 2 - ACABAMENTO DAS TÁBUAS.....	32
II. 5. 3 - MONTAGEM DAS VIGAS.....	33
CAP. III - PREPARAÇÃO DAS LÂMINAS E SUA CLASSIFICAÇÃO QUANTO À RIGIDEZ 35	
III. 1 - INTRODUÇÃO.....	35
III. 2 - PREPARAÇÃO DAS LÂMINAS.....	35
III.3- MÉTODO DE CARACTERIZAÇÃO DAS LÂMINAS.....	41
III. 3. 1- DETERMINAÇÃO DO VALOR DE "P" MÁXIMO.....	42
III. 3. 2- PREPARAÇÃO DO ENSAIO.....	44
III. 3. 3- PROCEDIMENTO DE ENSAIO.....	45
III. 4 - SEPARAÇÃO DOS LOTES.....	47

CAP. IV - GRUPO , SUBGRUPO E CATEGORIA.....	50
IV. 1 - INTRODUÇÃO	50
IV. 2 - GRUPO E SUBGRUPO.....	50
IV. 3 - CATEGORIA	50
CAP. V - COMPOSIÇÃO DA AMOSTRAGEM.....	53
V. 1 - CORPO DE PROVA - DIMENSÕES E CARACTERÍSTICAS	53
V. 2 - DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CORPOS DE PROVAS POR SUBGRUPO.....	54
V. 3 - ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA INÉRCIA DE CADA TÁBUA SOBRE A INÉRCIA TOTAL DA PEÇA.....	55
V. 4- CÁLCULO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE TEÓRICO DA PEÇA.....	57
CAP VI - FABRICAÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO DAS VIGAS.....	61
VI. 1 - FABRICAÇÃO DAS VIGAS	61
VI. 1. 1 - ADESIVO UTILIZADO	61
VI. 1. 2 - METODOLOGIA DE MONTAGEM.....	62
VI. 1. 3 - COLAGEM E Prensagem das Vigas.....	64
VI. 2 - EXPERIMENTAÇÃO.....	69
VI. 2. 1 - MÉTODO DE ENSAIO.....	69
VI. 2. 2 - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO MOMENTO FLETOR NO MÓDULO DE ELASTICIDADE DA VIGA.....	74
VI. 2. 3 - DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DAS VIGAS.....	75
VI. 2. 4 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO.....	76
VI. 2. 5 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	77
CAP VII. ANÁLISE DOS RESULTADOS	79
VII. 1 - INTRODUÇÃO	79
VII. 2 - COMPARAÇÃO MÚLTIPLA DE MÉDIAS ENTRE OS SUBGRUPOS.....	79
VII. 2. 1 - COMPARAÇÃO ENTRE OS MÓDULOS DE ELASTICIDADES MÉDIOS DE CADA SUBGRUPO.....	81
VII. 2. 2 - COMPARAÇÃO ENTRE AS RESISTÊNCIAS MÉDIAS À TRAÇÃO NA FLEXÃO DE CADA SUBGRUPO.....	82
VII. 3. COMPARAÇÃO ENTRE OS MÓDULOS DE ELASTICIDADE TEÓRICOS E OS MÓDULOS DE ELASTICIDADES REAIS.....	83
VII. 4. ANÁLISE DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADES DAS LÂMINAS CLASSIFICADAS COMO "1ª" E "2ª" SEGUNDO BATTISTELLA.....	84
VII. 4. 1 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA	84

CAP. VIII. CONCLUSÕES.....86

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....89

LISTA DE FIGURAS

	Página
Fig. 1.1 Anisotropia da madeira	06
Fig. 2.1 Esquema do processo de fabricação de MLC.....	16
Fig. 2.2 Gráfico da relação $E(mf) / E(mf,ec)$	28
Fig. 3.1 Esquema do ensaio de flexão a três pontos.....	42
Fig. 5.1 Seção transversal da viga de MLC.....	56
Fig. 5.2 Seções transversais das vigas, indicando número da lâmina e módulo de elasticidade.....	58
Fig. 6.1 Esquema do ensaio de flexão a quatro pontos.....	70

LISTA DE FOTOGRAFIAS

	Página
Foto 3.1 Pilhas de tábuas após destopagem.....	36
Foto 3.2 Freza TOCCHETO - execução de entalhes múltiplos.....	37
Foto 3.3 Pilha de tábuas já com entalhes múltiplos.....	37
Foto 3.4 Aplicação do adesivo com pincel.....	38
Foto 3.5 TOCCHETO T-20 - aplicação da pressão de colagem.....	39
Foto 3.6 TOCCHETO T-20.....	39
Foto 3.7 Pilha de lâminas aplainadas.....	41
Foto 3.8 Ensaio de flexão a três pontos.....	45
Foto 6.1 Prensa BAIONI PRESS.....	64
Foto 6.2 Dispositivo de aplicação do adesivo.....	65
Foto 6.3 Montagem da viga após aplicação do adesivo.....	66
Foto 6.4 Vigas saindo da prensa	68
Foto 6.5 Pórtico, conjunto de aplicação de carga e apoios.....	71
Foto 6.6 Posicionamento dos extensômetros.....	71
Foto 6.7 Fixação das cantoneiras sobre a linha neutra.....	72
Foto 6.8 Ruptura de uma viga.....	73

LISTA DE TABELAS

	Página
Tab. 2.1 Características físicas e mecânicas : P. taeda e P. elliottii.....	30
Tab. 5.1 Módulo de elasticidade teórico de cada viga.....	60
Tab. 6.1 Resultados experimentais das vigas por subgrupos	78
Tab. 7.1 Comparativo entre os módulos de elasticidade real e teórico....	83
Tab. 7.2 Módulos de elasticidades médios das lâminas de 1ª e 2ª segundo Battistella.....	86

CAP. I - INTRODUÇÃO

I.1) GENERALIDADES.

A madeira, além de ser um dos materiais mais antigos empregado pelo homem, é indiscutivelmente até os dias de hoje um material de grande versatilidade e largamente utilizado na construção civil.

Pode-se utilizar a madeira como solução para a maioria das necessidades, quer em situações provisórias (auxiliares), como andaimes, caixarias, tapumes de obras e outros, quer em situações definitivas como esquadrias, fechamentos, divisórias, pisos, estruturas de coberturas ou na estrutura principal das edificações.

Além de todos estes aspectos funcionais, é fundamental que não esqueçamos o importante papel da madeira sob o ponto de vista Arquitetônico. De acordo com PEREIRA (1989)³⁰ “*A madeira é um dos produtos mais nobres que a natureza nos deu*”, e uma arquitetura fazendo uso da madeira, aliada ou não a outros materiais, resulta em espaços quentes e vivos. Ainda, segundo o mesmo autor, deve ser uma preocupação constante do arquiteto projetar uma arquitetura o mais natural possível, em que haja integração com a natureza e que proporcione ao usuário maior conforto. Considera ainda importante que se destaque o uso da madeira não só como meio *construtivo*, mas também como meio *expressivo*.

Do ponto de vista estrutural “*A madeira possui virtudes peculiares que podem torná-la o material estrutural de primeira escolha em um número muito grande de situações*”. FUSCO (1989)²¹

Ainda segundo FUSCO, as principais vantagens para o emprego da madeira como peça estrutural são:

- é o único material estrutural que é de fonte renovável, e que necessita pouco consumo de energia para sua industrialização;

- tem peso próprio reduzido (aproximadamente $1/3$ do peso do concreto e $1/8$ do peso do aço) e com isso é considerada a solução ideal para as estruturas de grandes vãos, onde o peso próprio elevado é problemático;
- possibilita o uso de estruturas pré-fabricadas, inimagináveis para o concreto e o aço;
- como material construtivo, a usinagem da madeira é bem mais simples que a usinagem do concreto e do aço.
- as madeiras duras, chegam a ter resistências superiores às de um excelente concreto e rigidez equivalente aos mesmos, quando comparadas para uma mesma finalidade de uso;

Pode-se citar ainda outras vantagens:

- resiste excepcionalmente a choques e esforços dinâmicos, não estilhaçando quando golpeada;
- resiste tanto a esforços de tração como de compressão;
- pelas características de suas ligações e emendas são de fácil montagem e de fácil substituição de peças da estrutura;
- a madeira devido a sua grande inércia química, é ideal para ser utilizada em meio corrosivo, não apresentando deterioração;
- as estruturas de madeira são de reação inflamável, mas têm alta resistência mecânica em presença do fogo;
- tem baixa condutibilidade térmica e acústica.

Destacadas estas vantagens, tanto do aspecto estrutural como arquitetônico, é fundamental então, que se desenvolvam, cada vez mais, pesquisas sobre

a madeira, visando ao seu melhor uso, tanto do ponto de vista de melhor desempenho como no que diz respeito ao uso racional da mesma.

No Brasil existe ainda, de modo geral, um preconceito ao uso da madeira tanto como solução estrutural, como na construção de habitações. As principais causas deste preconceito podem ser :

- Nas Estruturas : segundo FUSCO (1989)²¹, um dos fatores que influenciaram para o uso ainda restrito da madeira em grandes estruturas foi a idéia errônea de que grande estrutura significava grande tora de madeira, esquecendo-se do uso de Madeira Laminada Colada (MLC), que permite vencer grandes vãos, através de vigas pré-fabricadas a partir de lâminas (tábuas) de madeira.

- Na Construção de Habitações : existe o preconceito quanto à habitação de madeira, em consequência do mau uso da madeira ao longo do tempo, o que pode resultar numa aceleração do processo de deterioração. Segundo PERES & KOWASOE (1988)³¹ “ *Existem problemas com relação a secagem, tratamento, projetos, especificações e outros, aliados ao meio ambiente tropical, que acelera a deterioração das madeiras, sem contarmos com os problemas de segurança contra incêndio*”. Este mau uso pode ser reflexo da pouca valorização que se dá ao estudo da madeira, na grande maioria dos cursos de engenharia e arquitetura, nas universidades. Os currículos desses cursos apresentam uma pequena carga horária para o estudo da madeira.

Nos tempos atuais existe ainda um outro agravante que restringe o uso da madeira: é o Aspecto Ecológico. Até bem recentemente, não havia preocupação alguma com exploração racional da madeira, as florestas eram derrubadas sem nenhum critério, havendo grandes desperdícios que provocam verdadeiros desastres para a natureza. De acordo com HELLMEISTER (1983)²², praticamente 2/3 das árvores derrubadas permaneciam na floresta na forma de resíduos, em decomposição natural adequada à reconstituição do solo e ao equilíbrio biológico local. A madeira abandonada, embora tendo excelentes condições para aproveitamento na construção e na indústria era deixada para o apodrecimento. No entanto, muitas vezes e de forma condenável era

consumida pelo fogo. Todos estes fatores fazem com que ecologistas menos esclarecidos sobre o assunto combatam o uso mais intenso da madeira na construção civil.

É premente então que cada vez mais nos preocupemos com o uso da madeira, vinculado à sua produção e exploração racional. Isto já é feito há muitos anos nos países do hemisfério norte, onde o uso da madeira na construção civil é intenso, e onde existem técnicas avançadas de aplicação desse material em sistemas estruturais.

É importante lembrar que mesmo em florestas nativas se faz necessária a derrubada de árvores, pois estas como todo ser vivo, nascem, crescem e morrem. Conforme será visto mais adiante, no processo de crescimento da árvore, após um certo tempo(muitos anos e variando de espécie para espécie)os galhos das árvores começam a secar, o que indica estar na hora de abatê-la abrindo uma clareira na floresta e permitindo assim o crescimento de outras árvores. Ainda segundo HELLMEISTER (1983)²², ecologistas que defendem a manutenção estática da floresta estão sendo incoerentes: “ *O equilíbrio ecológico ocorre naturalmente e as leis que o regulam não foram criadas pelo homem: cortada uma árvore outra virá substituí-la, desde que se promova a utilização dos recursos florestais nativos, sem a destruição, da floresta local remanescente e melhor ainda, com as precauções necessárias para a sua manutenção*”.

1.2) PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA

A madeira, pela sua própria constituição anatômica, é um material **heterogêneo, anisotrópico, assimétrico, biologicamente perecível** e apresenta o movimento de **inchamento e retração**.

HETEROGENEIDADE : esta ocorre de espécie para espécie, de árvore para árvore, dentro de uma mesma espécie e , até mesmo, dentro de uma mesma árvore. Em uma mesma tora temos heterogeneidade, porque a madeira não possui a mesma massa distribuída em todo seu volume. Isto porque a madeira que se forma na primavera/verão tem características diferentes da que se forma no outono/inverno e isto dentro de um mesmo anel de crescimento.

Se observarmos o corte transversal de algumas espécies, podemos observar com clareza, faixas mais claras e mais largas chamadas **lenho primaveril**, e faixas mais escuras e mais estreitas chamadas **lenho estival**.

Nas estações de primavera/verão, devido à maior quantidade de luz e calor na atmosfera, a madeira se forma mais rapidamente, dando origem a fibras (tubos capilares) com diâmetros maiores e de paredes menos espessas, resultando em madeira menos resistente do ponto de vista mecânico. Já nas estações de outono/inverno, devido à menor intensidade de calor e luz na atmosfera, a madeira se forma mais lentamente e de modo mais ordenado, as fibras então têm diâmetros menores, paredes mais espessas e do ponto de vista mecânico, são mais resistentes

Em algumas espécies, esta proporção parede/cavidade muda gradualmente, não permitindo identificar nenhuma faixa definida entre madeira clara e madeira escura. Já em outras espécies, como por exemplo o Pinus, estas aparecem de forma bem visível. É oportuno lembrar que estes anéis anuais de crescimento só ocorrem em florestas de clima temperado, onde existem estações bem definidas. Em florestas tropicais, poderão surgir vários anéis em um ano, dependendo de períodos de estiagem e períodos de chuva ou variação de outros fatores que interfiram no desenvolvimento da árvore.

Além dos anéis de crescimento, podemos ainda ter a heterogeneidade em uma dada seção do tronco, devido à existência do **alburno**, que é uma madeira ainda porosa na parte externa do tronco, e o **cerne**, madeira mais interna, rica em resinas, óleos, taninos e etc.

ANISOTROPIA : pela sua formação, a madeira tem praticamente 90 % de suas fibras, posicionadas segundo a direção preferencial do crescimento das árvores. Além disto, estas fibras são dispostas em camadas concêntricas, formadas ao longo dos anos. Como consequência disto, a madeira é caracterizada segundo 3 direções principais, que são:

a) Axial ou Longitudinal

b) Radial

c) Tangencial

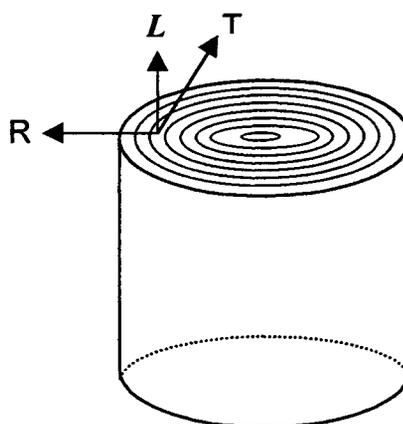


Fig. 1.1 Anisotropia da Madeira

O comportamento físico e mecânico da madeira segundo estas três direções são diferentes, por isto a madeira é um material anisótropo. Porém como estas três direções são ortogonais entre si, diz-se que a madeira é um material **ortótropo**.

ASSIMETRIA : para uma mesma direção, a madeira se deforma e resiste mecanicamente de modos diferentes, dependendo se a sollicitação é de tração ou de compressão.

BIOLOGICAMENTE PERECÍVEL : por ser um material de natureza biológica, ela é suscetível a agressões de fungos e insetos. Porém alguns cuidados no processo de secagem, uso de preservativos e alguns detalhes construtivos podem tornar as estruturas de madeiras tão duráveis, quanto as de aço e concreto. A secagem feita de modo correto melhora as propriedades mecânicas da madeira, tais como: resistência à compressão, resistência à flexão, dureza e outras, além de aumentar a sua resistência biológica contra o ataque de fungos manchadores e apodrecedores, bolores e a maioria de insetos, DATE (1991)¹⁶.

Deve-se lembrar ainda que a madeira provinda do **cerne**, é menos sujeita ao ataque de vermes e fungos, por estar impregnada de protetores naturais, como taninos, óleos e outros depósitos e também por não possuir mais matérias nutritivas,

como amidos e açúcares. O **alburno**, apesar de mais suscetível à deterioração biológica, é também a parte que melhor se deixa impregnar pelos preservativos.

FENÔMENOS DE INCHAMENTO E RETRAÇÃO : estes fenômenos ocorrem devido à água de impregnação que se apresenta ligada às cadeias de celulose. Quando a madeira adquire umidade, as moléculas de água se ligam entre estas cadeias, fazendo com que elas se afastem umas das outras, dando-se assim o **inchamento**. Quando estas mesmas moléculas se desprendem das cadeias de celulose num processo de secagem, ocorre então a **retração**. É importante frisar que a água livre, que ocorre quando o teor de umidade é maior que 33 %, não provoca movimento na madeira, ela sai livremente do interior dos elementos anatômicos.

1.3) FORMAÇÃO DA MADEIRA

Uma árvore para se desenvolver necessita apenas de calor da atmosfera, luz solar e uma solução líquida de água e sais minerais do solo.

As raízes retiram do solo a **seiva bruta** (solução diluída de água e sais minerais). Esta é transportada através dos **vasos** nas dicotiledôneas ou **traqueídeos** nas coníferas até as folhas, onde sofre a ação clorofilena, transformando-se em **seiva elaborada**. Esta retorna pela **zona de câmbio** (região entre a casca e o tronco).

No início do crescimento o tronco é todo **alburno**, cheio de capilares (vasos ou traqueídeos), por onde sobe a seiva bruta. A seiva elaborada que desce pela zona de câmbio, é então toda consumida na formação de novas células, dando-se assim o **crescimento**.

Com o passar dos anos, esta seiva elaborada já não é mais toda aproveitada para o crescimento, e parte dela é conduzida através dos **raios medulares** para o centro do tronco, formando assim o **cerne**.

A transição de alburno para cerne começa então junto à **medula** e progressivamente vai se expandindo a todo lenho, ao mesmo tempo em que mais alburno vai se formando na parte externa.

O cerne se caracteriza por não apresentar células vivas e não mais participar do processo de vida da árvore, porém ajuda a sustentar a coroa da árvore e tem a função de acumular taninos, óleos e outros depósitos, que funcionam como proteção natural contra organismos que atacam a madeira.

Os leigos, inadequadamente, diferenciam o cerne e o alburno apenas como sendo o primeiro, de coloração mais escura, mais forte, mais duro e menos sujeito à rachaduras. Na maioria das vezes isto está correto, mas devemos lembrar que a diferença entre os dois é bem mais complexa.

Após alguns anos, o cerne continua aumentando enquanto diminui o alburno, que então só consegue sugar pouca Seiva Bruta, às vezes insuficiente para manter a árvore, começando assim o processo de atrofia da mesma. Tecnicamente isto indica que é hora de cortar a árvore, possibilitando o nascimento de outra, em seu lugar.

1.4) RECURSOS FLORESTAIS BRASILEIROS

As Florestas Brasileiras podem ser divididas em 2 grupos : **florestas nativas e florestas plantadas.**

1- **Florestas Nativas Brasileiras** ainda se subdividem em : **florestas propriamente dita; cerrado e caatinga.**

Florestas propriamente ditas são as que interessam quando o assunto é **madeira para construção** e incluem : **floresta amazônica, floresta atlântica e floresta mista de araucária e latifoliada.**

No início da década de 1980, era estimado que a floresta nativa propriamente dita ocupava uma área de 318 milhões de hectares - DATE (1991)¹⁶.

- **Floresta Amazônica** : representa 20 % das florestas tropicais e 70 % dos recursos florestais brasileiros. Ao final do ano de 1988 estimou-se em 25 milhões de hectares a área de florestas exploradas na região, o que representa 5,1 % da área total da Amazônia Legal, que é estimada em aproximadamente 500 milhões de hectares. (DATE,1991)¹⁶. Segundo FREITAS (1984)¹⁹, só a Amazônia brasileira ocupa uma área de 340 milhões de hectares.

- **Floresta Atlântica** : atualmente encontra-se exaurida devido à exploração madeireira e ocupação agropecuária de forma irracional. Grande parte da Floresta Atlântica está protegida por leis de conservação e preservação.

- **Floresta Mista de Araucárias e Latifoliadas** : desde 1965 o código florestal proíbe a derrubada das matas de Araucária angustifolia (pinheiro) de maneira desenfreada. De acordo com SZUCS (1983)³⁷, mesmo assim estas árvores diminuíram rapidamente. Desde que o código foi implantado, o estado do Paraná , por exemplo, perdeu cerca de 80 % de suas reservas e os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul têm respectivamente apenas 3% e 1,5 % de suas matas originais de pinheiros.

2)**Florestas Plantadas**, garantem cerca de 31 % da demanda atual de madeira no Brasil. As espécies mais cultivadas são as de *Eucalipto* e as de *Pinus*. Foi no início deste século que aconteceram aqui no Brasil, os primeiros reflorestamentos com fins econômicos, quando Edmundo Navarro de Andrade introduziu a eucaliptocultura para a fabricação de lenha e dormentes. Já a cultura de *Pinus* teve início na década de 1950, objetivando a reposição das matas de araucária. Porém foi somente a partir de 1966, com a adoção de incentivos fiscais , que o reflorestamento no Brasil passou a ser produzido em grande escala.

De acordo com FREITAS (1984)¹⁹ , nesta época o Brasil apresentava-se entre o 3º ou 4º país reflorestador do mundo. Só no estado de Santa Catarina de acordo com PRUDENTE DE FONTES (1986)³⁴ , existia 352 000 hectares de

reflorestamento, sendo a espécie mais representativa o pinus com 291 000 hectares, seguido da *Araucária* e do *Eucalipto*.

É importante citar que atualmente no Brasil já existem regiões que estão fazendo reflorestamentos com uma nova espécie, de origem asiática, a *Tectona grandis*, popularmente conhecida por “*Teca*”.

De acordo com artigo publicado na revista SUA BOA ESTRELA nº 123, a história da *Teca*, no Brasil, começou em 1960, quando uma família de imigrantes alemães os VEIT, que trabalhavam com exportação de madeira para Europa, e viram, no reflorestamento, a única saída capaz de garantir a continuidade de seus negócios. Decidiram então realizar uma pesquisa com espécies de madeiras do Brasil e de outros países. Os resultados desta pesquisa apontaram para a “*Teca*”, até aí desconhecida entre nós.

A *Teca* é uma árvore de crescimento rápido, fácil cultivo e grande resistência ao fogo, pragas e doenças. No Brasil, na região de Cáceres - MT, além de o clima se assemelhar ao do Sudeste Asiático, ainda oferece um solo mais fértil, mais rico e mais adequado ao seu desenvolvimento. Tanto que, de acordo com o artigo acima citado, os florestamentos da *teca* na Ásia e em muitas outras partes requerem de sessenta a cem anos de maturação até atingirem o porte ideal de corte, enquanto que no Brasil, segundo Luís Carlos Veit, diretor da Cáceres Florestal, esse período é abreviado para apenas 25 anos. Com essa idade, o tronco já possui cerca de 50 centímetros de diâmetro, tamanho recomendado para início da colheita.

A *Teca* foi introduzida no Brasil em 1968 e hoje existem cerca de 15 000 hectares plantados, principalmente nos últimos dois anos, enquanto que no mundo toda a área plantada é de 2,5 milhões de hectares.

CAP. II - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

II. 1 - MADEIRA LAMINADA COLADA - MLC

II. 1. 1 - BREVE HISTÓRICO

Segundo SZÜCS (1993)⁴⁰ “Chama-se **Madeira Laminada Colada-MLC**, peças de madeira resconstituídas a partir de lâminas de madeira (tábuas), que são de dimensões relativamente reduzidas se comparadas às dimensões da peça final assim constituída. Essas lâminas, que são unidas por colagem, ficam dispostas de tal maneira que as suas fibras fiquem paralelas entre si”.

Em muitas partes do mundo, a **MLC** tem sido considerada como um dos mais interessantes materiais para a construção de estruturas, pois além de se adaptar a uma grande variedade de formas, apresenta alta resistência a solicitações mecânicas em relação a seu peso próprio.

A primeira obra de **MLC**, de que se tem notícia, data de 1893 na Suíça, quando foram projetados arcos laminados (com cola de caseína) para um auditório em Basel. A técnica da **MLC** expandiu-se junto com o avanço ocorrido nas colas, e foi durante a 2ª Guerra Mundial, com o surgimento das colas sintéticas que esta técnica efetivamente teve seu progresso.

Apesar desta técnica ter surgido na Suíça, expandiu-se rapidamente pela Europa, tendo destaque em países como França, Alemanha e Holanda.

Nestes países a **MLC** é empregada tanto em pequenas obras como passarelas, escadas e abrigos, como em estruturas, com projetos arquitetônicos arrojados, vencendo vãos livres de até 100m. Como exemplo de estrutura arrojada,

utilizando a técnica do laminado colado, pode-se citar o Parlamento Europeu, construído em Estrasburgo na França, que abriga os parlamentares representantes dos países da Comunidade Econômica Européia. É uma estrutura em arcos, formando um conjunto quase circular, em leque. Na França pode-se destacar ainda a obra do Hall de Exposições de Tours, com 98m de vão livre e o Palais D'Exposition D'Avignon com mais de 100m de vão livre (SZÜCS,1992)³⁹. Mais recentemente, na França, foram construídas em convênio com a EDF (Électricité de France), torres para rede elétrica de alta tensão, utilizando o processo de MLC.

Segundo NEIVA (1992)²⁹, nos EUA a primeira obra ocorreu em 1934, na construção de um edifício para o Forest Products Laboratory (FPL) em Madison, Wisconsin.

“No Brasil, a MLC foi introduzida a partir de investigações de Callia, em 1961, conduzidas no Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT”,(ROCCO LAHR - 1991)³⁶. Ainda segundo o mesmo autor, alguns trabalhos foram desenvolvidos na UFPAR- Universidade Federal do Paraná, como o de Simioni, versando sobre a viabilidade de execução de vigas laminadas com madeira juvenil de *Pinus elliottii*. No LaMEM (Laboratório de Madeira e Estruturas de Madeira), os estudos sobre MLC tiveram início em 1979, a partir de trabalhos desenvolvidos por Torres e Hellmeister, tratando da influência de algumas variáveis na resistência de vigas de MLC. Ainda no LaMEM, estudos sobre MLC tiveram continuidade com trabalhos de Rocco Lahr, Chahud, Dias, Neiva, Javaroni e outros.

Segundo BONO e MACEDO (1995)⁸, é importante salientar a contribuição do LaMEM no que diz respeito ao desenvolvimento de grande parte dos trabalhos existentes sobre a MLC, caracterizando a relevância deste laboratório na formação de pesquisadores ligados à tecnologia da madeira.

No que se refere a MLC utilizando Madeira de Reflorestamento, atualmente no Brasil temos dois centros de ponta: um com o Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs da UFSC, trabalhando com a madeira de Pinus e outro com o Prof. Dr. Edgar

Vladimiro Mantilla Carrasco da UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, trabalhando com a madeira de Eucalipto.

No Brasil ainda não existem normas para dimensionamento de peças de **MLC**, então recorre-se às normas internacionais, sendo as mais utilizadas: **American Society for Testing Material - ASTM-D3737 (1983)¹-EUA**; **Canadian Standard Association - CSA 0177 (1977) -Canadense**; **British Standards Institution - BSI BS-5268 (1979)⁹ - Inglesa**; **EUROCODE N° 5 (1987) - Comissão de Normalização da Comunidade Econômica Européia** e **SABS 876-76 (1976) - Sul Africana**.

Estas normas versam sobre: determinação de tensões últimas de cálculo estrutural de **MLC**, propriedades mecânicas, especificações a respeito da madeira e adesivos, procedimentos de fabricação das peças de **MLC**, inspeção e controle de qualidade.

Sobre **MLC**, existem algumas obras clássicas publicadas por países onde esta técnica é muito utilizada, sendo algumas delas citadas a seguir. O American Institute of Timber Construction publicou um importante Manual de Construção em Madeira “**Timber Construction Manual**” em 1965, com várias edições corrigidas e melhoradas, sendo a última de 1985. Na França o Centre Technique du Bois, publicou várias obras sobre **MLC**, destacando-se: “**La Fabrication des Éléments de Structure em Bois Lamellé-Collé**” (1976), “**Les Structure em Bois Lamellé-Collé** (1973) e “**Le Collage de Bois**”(1983).

De acordo com ARRUDA (1995)² a primeira indústria de **MLC** no Brasil foi fundada por alemães em 1934 na cidade de Curitiba- “Estrutura de Madeira Ltda -**ESMARA**. Embora não existam registros desta experiência, suas obras foram marcantes na região sul. Atualmente no país, três indústrias de **MLC** merecem ser citadas: **PREMOM** em Curitiba/PR, **LAMINARCO** em São Paulo/SP e **BATTISTELLA** em Lages/SC.

A Empresa Battistella, trabalha com a madeira de pinus, produzindo elementos estruturais como vigas e pilares, para moradias de alto padrão. Esta Empresa também exporta outros tipos de peças de MLC, com diversas dimensões para países do Mercosul. Grande parte da madeira de pinus utilizadas por eles, vem de seus próprios reflorestamentos, e o desenvolvimento da empresa nessa área contou com o trabalho de parceria entre a empresa e o Laboratório de Experimentação em Estruturas -LEE- da UFSC.

II. 1. 2 - VANTAGENS DA MLC

De acordo com CARRASCO & BREMER (1995)¹¹, algumas das principais vantagens são:

- as estruturas de MLC podem ser fabricadas com qualquer seção, forma e comprimento tendo como limitações apenas o transporte das peças;
- a espessura das lâminas (tábuas), permite uma secagem mais regular com melhor controle da umidade desejada;
- a seção transversal das peças pode variar de acordo com as tensões solicitantes na seção, evitando gastos excessivos de material;
- possibilidade de uso de lâminas de menor qualidade em zonas menos solicitadas, diminuindo o custo da peça;
- efeito estético excelente, não sendo necessário ocultar a estrutura como em outros materiais;
- os elementos laminados têm uma baixa razão peso/resistência, podendo ser facilmente instalados.

SZÜCS (1992)³⁹ destaca ainda as seguintes vantagens da pré-fabricação:

- a pré-fabricação pode ser traduzida em racionalização da construção e ganho de tempo na montagem e entrega da obra;
- em comparação com as estruturas de madeira feitas com peças maciças, os elementos concebidos em MLC exigem um número bem menor de ligações, uma vez que são previstos para grandes dimensões;
- melhoria das tensões médias de ruptura e redução na dispersão estatística de seus valores;
- a leveza dessas estruturas oferece também maior facilidade de montagem, desmontagem e ampliação. Além disso, reduz o peso morto, significando economia nas fundações.

II. 1. 3 - TIPOS DE MADEIRA E COLA

Madeiras com alta taxa de resina e gordura não são aconselháveis para uso em MLC. Normalmente as espécies mais recomendáveis são as coníferas com densidade entre 0,4 e 0,75 g/cm³. As dicotiledôneas com baixa densidade, também podem ser empregadas pois são facilmente coláveis (SZÜCS, 1992)³⁹.

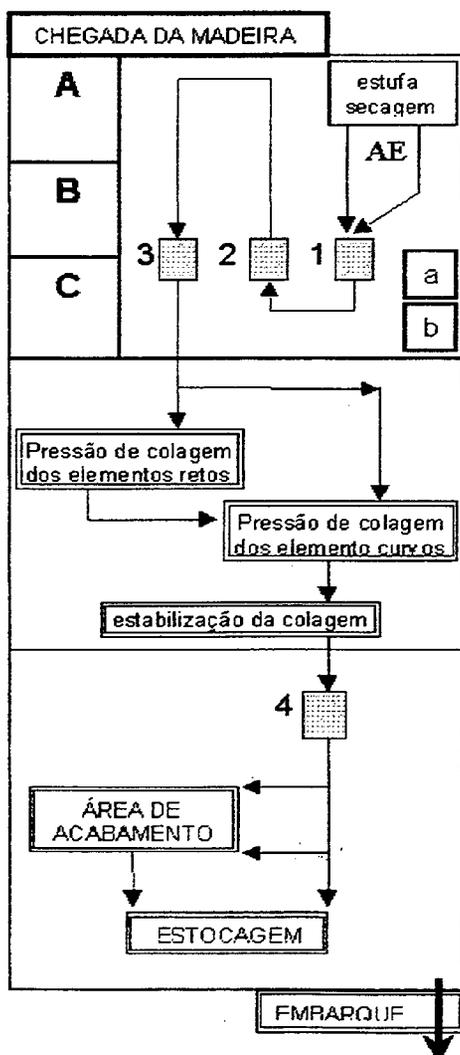
Entre as colas mais empregadas na técnica da MLC, destacamos as de **caseína, uréa-formol, resorcina-formol e resorcina-fenol-formol**. A escolha da cola adequada deve ser feita mais em função do tipo de uso previsto para a estrutura do que do tipo de madeira. São muito importantes os fatores temperatura e teor de umidade.

II. 1. 4 - PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O processo de fabricação industrial de estrutura de MLC, engloba 3 grandes etapas, que de acordo com SZÜCS (1992)³⁹ são:

- **recepção e preparação da madeira** - inclui eliminação de grandes defeitos através de classificação visual, estocagem, secagem e união longitudinal entre as tábuas (finger joint);
- **montagem da peça estrutural** - aplicação da cola, conformação do elemento sobre um gabarito e pressão de colagem;
- **acabamento** - aplainamento lateral, recorte das extremidades, execução de furos e encaixes e aplicação de preservativo.

A seguir mostramos um esquema do Processo de Fabricação de elementos de MLC, apresentado por SZÜCS (1992)³⁹.



LEGENDA:

- A – escritório; B – sala de projetos; C – oficina / ferramentas;
a – estocagem da cola; b – preparação da cola;
AE – área de estabilização,
1 – usinagem dos entulhos múltiplos e aplicação da cola;
2 – pressão de colagem das emendas longitudinais;
3 – plaina de 4 faces e aplicação da cola nas lâminas;
4 – plaina de duas faces para o elemento pronto.

Fig. 2.1 Esquema do processo de fabricação de MLC

No processo de fabricação é importante, a observação de alguns itens:

- A espessura de cada lâmina depende do raio de curvatura da peça, sendo que quanto maior for este raio, mais espessas poderão ser as lâminas. Existe um limite máximo estabelecido para o valor de “e” mesmo para o caso de vigas retas e que variam de norma para norma. No entanto nenhuma delas estipula uma espessura máxima “ e_{max} ”, maior que 50 mm, isto devido a dois fatores principais: a) lâminas espessas apresentam rigidez elevada b) $e > 50$ mm torna difícil uma secagem uniforme.

- É importante lembrar que quanto maior for o número de lâminas, maior será o custo da peça acabada, uma vez que aumenta a mão-de-obra, o uso de máquinas e o número de superfícies coladas. Portanto é de fundamental importância um estudo detalhado para a fixação do número ideal de lâminas para uma dada peça.

- Para se obter uma boa colagem entre as lâminas, é preciso que estas estejam com um teor de umidade entre 7 e 14 % e não deve haver uma diferença de umidade entre tábuas adjacentes, maior que 5 %. Quando possível, é aconselhável deixar as tábuas empilhadas e aeradas após a saída da estufa, no próprio ambiente onde será realizada a colagem, para que haja uma estabilização da umidade da madeira com o ar atmosférico. O ideal é que o processo de colagem aconteça nas 48 horas seguintes, para evitar movimentos importantes da madeira

- Deve haver um perfeito acabamento da superfície da lâmina para se obter uma boa colagem. Implica em uniformizar a espessura das lâminas, ter superfícies lisas e bem limpas.

- Emendas longitudinais entre as tábuas, devem ser extremamente eficientes. Podem ser de diversos tipos, mas atualmente as mais empregadas são os entalhes múltiplos, (finger-joint).

- Pesquisas, já mostraram que é importante a pré classificação das tábuas, de modo a permitir que se coloque as de maior resistência à flexão, nas zonas mais solicitadas, ou seja nas posições mais afastadas da linha neutra. Para isto, basta que se classifique estas tábuas quanto ao módulo de elasticidade longitudinal das mesmas.

II. 1. 5 - PESQUISAS ANTERIORES SOBRE PRÉ- CLASSIFICAÇÃO DE LÂMINAS, EMPREGADAS NA COMPOSIÇÃO DE VIGAS RETAS DE MADEIRA LAMINADA COLADA.

A Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, em seu departamento de Engenharia Civil, vem desde 1991, sob a coordenação do professor Dr. Carlos Alberto Szücs, desenvolvendo pesquisas sobre MLC, utilizando a madeira de reflorestamento “pinus”, abundante no planalto serrano de Lages. Este trabalho tem sido desenvolvido em parceria com a empresa Battistella de Lages/SC.

Dentre as pesquisas já desenvolvidas, sob sua coordenação, destaca-se a realizada pelo Eng. Humberto A. C. Arruda, que foi tema de sua dissertação de mestrado, defendida em setembro de 1995, intitulada “Influência da classificação das lâminas em vigas de madeira laminada colada”.

Nesse trabalho foram pesquisadas a pré classificação das lâminas (tábuas), segundo três critérios diferentes: *tamanho dos nós, espessura dos anéis de crescimento e módulo de elasticidade*. Quanto ao módulo de elasticidade, foram ainda constituídos dois grupos distintos: um onde as lâminas com pequeno módulo de elasticidade eram empregadas nas camadas próximas à linha neutra e que foram chamadas “*vigas classificadas pela rigidez*” e outro grupo onde estas tábuas de baixo módulo de elasticidade foram descartadas, sendo utilizada somente as tábuas com módulo de elasticidade elevado e designadas “*vigas classificadas pela rigidez elevada*”. Para cada um dos quatro grupos foram confeccionadas 6 vigas, posteriormente submetidas a ensaio mecânico de “Flexão a 4 pontos”, onde foram obtidos o módulo de elasticidade “ E_{real} ” e a resistência a Flexão de cada uma.

Os resultados obtidos para cada grupo, foram então comparados com os resultados encontrados no mesmo tipo de ensaio realizado em 6 vigas constituídas sem qualquer pré classificação, designadas então de “vigas compostas de forma aleatória”.

Segundo ARRUDA (1995)², a análise estatística efetuada com os valores médios encontrados para o “ E_{real} ” e a resistência a Flexão no ensaio mecânico de “Flexão a 4 pontos”, para cada um dos 5 grupos, possibilitou tirar várias conclusões, dentre elas:

“- Existem diferenças significativa em termos de E_{real} , entre as vigas classificadas pelo critério da rigidez (vigas-VR) em comparação às concebidas de forma aleatória (vigas-VA), às classificadas pelo tamanho dos nós (vigas-VN), pela espessura dos anéis de crescimento (vigas-VAC) e pela rigidez elevada (vigas-VRE).

- Não foi constatada diferença significativa, em termos de resistência à flexão, entre as vigas classificadas pelo critério da rigidez (vigas-VR) e rigidez elevada (vigas-VRE). Mas em se tratando da possibilidade do emprego de lâminas de qualidades inferiores posicionadas em locais de menores solicitações de esforços, fica evidente a vantagem da classificação pela rigidez, minimizando o custo final do elemento estrutural.

-Em termos de módulo de elasticidade longitudinal e resistência à flexão, não se verificou diferença significativa entre as vigas classificadas pelos critérios da espessura dos anéis de crescimento (vigas-VAC), tamanho dos nós (vigas-VN) e as concebidas de forma aleatória.”

Nesse trabalho, Arruda, conclui ainda que : “O critério de classificação pela rigidez (vigas-VR) é o mais indicado para utilização em elementos estruturais de MLC, originando componentes de alta resistência mecânica e concebidos de forma racional.”

II. 2 - CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS

II.2. 1 - CLASSIFICAÇÃO VISUAL DA MADEIRA - PRINCIPAIS DEFEITOS.

Esta é a primeira classificação que se faz da madeira, independente de qualquer ensaio. Esta **classificação visual**, limita-se apenas em verificar a presença ou não de **defeitos na madeira**.

Segundo KOLLMANN e CÔTE (1984)²⁴, podemos considerar como **defeito na madeira**, qualquer anormalidade que reduza sua resistência ou característica, que limite seu uso para determinado fim.

De acordo com PFEIL (1994)³³ “ As peças de madeira utilizadas nas construções, apresentam uma série de defeitos que prejudicam a resistência, o aspecto ou a durabilidade.”

Esses defeitos de acordo com PETRUCCI (1976)³² ou com PFEIL (1994)³³ podem provir de diferentes causas como :

- DEFEITOS NATURAIS - constituição do tronco ou crescimento anômalo da árvore.
- DEFEITOS DE PRODUÇÃO - causados pelo desdobro mal conduzido.
- DEFEITOS DE SECAGEM - quando ocorre rápida alteração das condições de umidade.
- ALTERAÇÕES POR AGENTES DE DETERIORAÇÃO- provocados por larvas, insetos ou fungos.

DEFEITOS NATURAIS - segundo PFEIL (1994)³³ os principais são: **nós, fibras reversas e gretas.**

-**Nós**- são imperfeições da madeira nos pontos dos troncos, onde existiam galhos. Os nós podem ser :

- **nós firmes** , quando na época do abate os galhos estavam ainda vivos. Estes nós não chegam a diminuir sensivelmente a resistência da peça à compressão. De acordo com PETRUCCI (1976)³², raramente a redução da resistência ultrapassa 20% da resistência da madeira sem defeito;

- **nós soltos**, quando os galhos já estavam mortos na época do abate da árvore. Durante o corte com a serra, esses nós podem cair, originando buracos na madeira.

Devido aos **nós**, as fibras longitudinais sofrem desvio de direção, ocasionando uma diminuição de resistência à tração. Para peças submetidas a esforços de flexão, deve-se fazer o possível, para que os **nós** se localizem na zona de compressão.

Nas vigas de M.L.C., as lâminas com grande número de **nós**, ou com **nós** muito grandes, deverão ser colocadas próximas da linha neutra.

No caso da madeira serrada, seu valor de mercado está diretamente relacionado com sua qualidade, portanto madeira com pouca incidência de **nós** e sendo esses pequenos, são mais valorizadas que as madeiras com **nós** grandes ou com grande incidência dos mesmos.

Fibras reversas - são fibras não paralelas ao eixo da peça. As **fibras reversas** de causas naturais devem-se à proximidade dos **nós** ou ao crescimento das fibras em forma de espiral. As **fibras reversas** reduzem a resistência da madeira, por isso são consideradas defeito.

Gretas - são separações entre os anéis anuais de crescimento, provocada por tensões internas devido ao crescimento lateral da árvore, ou produzidas por ações externas, como flexão devido ao vento.

DEFEITOS DE PRODUÇÃO - são os defeitos que se originam na hora da derrubada da árvore, como fraturas ou machucaduras; durante o desdobro ou na confecção da peça. Geralmente estes defeitos ocorrem, por utilização de equipamentos inadequados ou até mesmo por falta de habilidade dos operadores. De acordo com PFEIL (1994)³³ a serragem de peças em planos inadequados, podem produzir peças com **fibras reversas** em relação ao eixo, provocando assim a diminuição de sua resistência.

DEFEITOS DE SECAGEM - provocados pela retrabilidade do material na perda de umidade e compreendem:

Fendas - aberturas nas extremidades da peça, produzidas pela secagem mais rápida da superfície. Ficam situadas em planos longitudinais radiais e atravessam os anéis de crescimento. Podem ser evitadas mediante a secagem lenta e uniforme da madeira.

Abaulamento - encurvamento na direção da largura da peça.

Arqueadura - encurvamento na direção do comprimento da peça.

PETRUCCI (1976)³², ainda classifica em:

Fendilhamento - pequenas aberturas ao longo da peça.

Rachaduras - aberturas de grande extensão no topo das peças.

Curvatura - ligeiro encurvamento longitudinal.

Curvatura lateral - ligeiro encurvamento lateral.

ALTERAÇÕES PROVOCADAS POR AGENTES DE
DETERIORAÇÃO.

Furos de larva - furos provocados por larvas e/ou insetos.

Bolor - descoloração da madeira, provocada por fungos; indica início de deterioração.

Apodrecimento - desintegração avançada da madeira, causada por fungos.

II. 2. 2 - CLASSIFICAÇÃO E TRIAGEM DAS TÁBUAS PELA RESISTÊNCIA.

O ensaio mais aconselhado para as peças estruturais de madeira, é o de flexão, por englobar o comportamento do material em zona de compressão e zona de tração. Este comportamento varia enormemente de espécie para espécie, e sempre em função de três características : módulo de elasticidade longitudinal “ E_l ”, densidade “ D ” e umidade “ H ”.

FURIATTI em 1981, apresentou em sua dissertação de mestrado, intitulada “CLASSIFICAÇÃO ESTRUTURAL DE PEÇAS DE MADEIRA”, um estudo de regressão múltipla entre estas 3 variáveis, ou seja : módulo de elasticidade “ E ”, densidade “ D ” e umidade “ H ”. $\sigma_f = f(E, D, H)$.

Neste estudo foi verificado que a influência da umidade, como variável na estimativa da tensão normal à seção transversal, na flexão, “ σ_f ”, é desprezível, podendo ser eliminada da regressão.

Salienta-se a importância desta conclusão, tendo-se em vista que é praticamente inviável a determinação do teor de umidade de uma peça estrutural de madeira no local da obra, em vista da necessidade de o corpo de prova desta , ter de permanecer em estufa por aproximadamente 12 horas, dificultando então o controle tecnológico da madeira. É lógico que existe ainda a possibilidade de se utilizar o

higrômetro, que permite leitura direta do teor de umidade, porém o resultado não é muito preciso. As outras duas variáveis podem ser determinadas no próprio local, sendo o módulo de elasticidade determinado através de um ensaio simples de Flexão a 3 pontos, facilmente montável e a densidade pelo processo do paquímetro ou Palmer.

O trabalho de FURIATTI, é bom que se diga, visava à classificação da madeira maciça na composição de sistemas estruturais, como as treliças, por exemplo.

FURIATTI, dando continuidade à análise concluiu ainda que, o módulo de elasticidade “E” é o parâmetro de maior influência na classificação da madeira pela resistência, após analisar a equação de correlação simples $\sigma_f = f(E)$ e resultando num coeficiente de correlação $r = 0,85116$.

Sobre este assunto existe ainda outro importante trabalho que é a dissertação de mestrado realizada por MELLO em 1984, na Escola de Engenharia de São Carlos - USP, intitulada “ CLASSIFICAÇÃO MECÂNICA DE PEÇAS ESTRUTURAIS DE MADEIRA”. Neste trabalho o autor cita que já em 1956, foi descoberta a relação existente entre a resistência da madeira à ruptura na flexão (medidos em vãos relativamente curtos) e o módulo de elasticidade.

MELLO destaca ainda que em função desta descoberta, foi possível o desenvolvimento de máquinas eletromecânicas que possibilitam a classificação, continuamente de peças de madeira, quanto a sua resistência.

Estas máquinas já são comuns em países Europeus, nos Estados Unidos, Canadá, Austrália e outros. No Brasil porém, segundo ARRUDA (1995)², existem apenas duas destas máquinas: uma no LPF / IBDF e outra no CPPF / INPA. São de custo elevado.

Com base nesses estudos, portanto, fica claro, que podemos avaliar a resistência à flexão de uma tábua sem precisar submetê-la a um ensaio de flexão até o momento de ruptura (ensaio destrutivo), bastando apenas conhecer o seu módulo de

elasticidade, o qual poderá ser determinado por um ensaio simples de flexão a 3 pontos (ensaio não destrutivo). Este método de ensaio será descrito no Cap. 3.

II. 3 - ESTUDO TEÓRICO SOBRE A INFLUÊNCIA DO MOMENTO FLETOR E DO ESFORÇO CORTANTE, NA DETERMINAÇÃO DO VALOR DO MÓDULO DE ELASTICIDADE.

A expressão adotada pela ABNT / MB-26 (Método Brasileiro para Ensaio Físicos e Mecânicos de Madeiras Nacionais), para a determinação do módulo de elasticidade à flexão, a partir de dados experimentais, obtidos em laboratórios, ensaiando-se corpos de prova de madeira, é a abaixo apresentada :

$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI}$$

onde: P = carga aplicada

E = módulo de elasticidade

l = vão livre da viga

I = momento de inércia da seção transversal

Esta expressão não leva em consideração as deformações devidas ao cisalhamento, provenientes do esforço cortante que age na viga. Considera apenas a deformação na viga devido ao alongamento das fibras tracionadas e ao encurtamento das fibras comprimidas. É evidente que a mesma deve ser empregada para os corpos de prova da norma, cuja geometria minimiza o efeito do esforço cortante.

Quando se trata de corpos de prova em tamanho real, como os ensaiados no LEE , é preciso analisar a influência do esforço cortante devido à geometria destas vigas. Para isto, SZÜCS (1991)³⁸, apresenta em sua tese de doutorado o desenvolvimento de um estudo, a partir do Princípio de D'ALAMBERT e baseando-se

no deslocamento e trabalho virtual. Esse estudo estabelece as relações entre as dimensões da viga e as condições de carregamento.

É importante salientar neste momento, que o módulo de elasticidade e os esforços internos são parâmetros independentes, ou seja, o módulo de elasticidade é uma propriedade física do material, não sofrendo influências dos esforços internos. Os deslocamentos sim, dependem do módulo de elasticidade do material.

Portanto, no presente trabalho, onde o módulo de elasticidade do material é determinado a partir de ensaios de flexão, deve-se ter em mente os seguintes conceitos:

- as ações (cargas) aplicadas nas vigas provocam apenas momentos fletores e esforços cortantes, uma vez que não existem no modelo estrutural possibilidades de esforços normais e momentos torsores, pois as condições de contorno não permitem;
- os momentos fletores e os esforços cortantes, não influem e não são influenciados pelo módulo de elasticidade;
- o cálculo dos deslocamentos, envolve todos os esforços internos existentes, mas o cortante pode ter influência significativa ou não no resultado deste cálculo;
- conhecido o deslocamento medido em ensaio, pode-se por inversão determinar o módulo de elasticidade, o que não significa dizer que este é influenciado pelos esforços internos.

O trabalho apresentado por Szücs , permite traçar gráficos onde, tendo-se a relação l / d (vão livre / altura da viga), podemos obter diretamente o percentual da influência do módulo de elasticidade devido ao momento fletor $E_{(mf)}$ sobre o módulo de elasticidade total (E_t). Quando $E_{(mf)} \geq 95\%$, não há necessidade de se considerar a parcela do esforço cortante.

Pelo princípio de D'ALAMBERT, no equilíbrio de uma viga submetida à flexão , define-se o equilíbrio do trabalho externo com o trabalho interno.

$$W_{ext} = W_{int}$$

$$P' \delta = \int_L \frac{MM' dx}{EI} + \int_L \frac{TT' dx}{GJ} + \int_L \frac{NN' dx}{ES} + \chi \int_L \frac{VV' dx}{GS}$$

onde,

P' → carga auxiliar (para simplificar = 1)

δ → deslocamento (flecha)

M e M' → momento fletor real e auxiliar

T e T' → momento torçor real e auxiliar

N e N' → esforço axial real e auxiliar

V e V' → esforço cortante real e auxiliar

E → módulo de elasticidade longitudinal

G → módulo de elasticidade transversal

I → Momento de inércia

J → momento de inércia na torção

S → seção transversal

χ → coeficiente que representa a má distribuição do cisalhamento, em função da geometria da seção. (retângulo = 1,2)

Com o desenvolvimento desta equação e fazendo-se as devidas substituições, levando-se em conta que a seção transversal da viga é retangular, chega-se a :

$$E = \frac{Pa}{bd\delta} \left[\frac{3L^2 - 4a^2}{4d^2} + 9,6 \right]$$

$E_{(mf,ec)}$, representa o módulo de elasticidade longitudinal total, levando em consideração o momento fletor (mf) e o esforço cortante (ec). Esta expressão é fundamental quando se trata de vigas curtas e altas.

Se excluirmos da equação precedente o valor " 9,6 ", que nada mais é do que a parcela referente ao esforço cortante, ficaremos com a equação para cálculo do $E_{(mf)}$ que leva em conta apenas o momento fletor.

Se fizermos a relação $E_{(mf)} / E_{(mf,ec)}$, obteremos a seguinte expressão:

$$E_{(mf)} / E_{(mf,ec)} = \frac{3(l/d)^2 - 4(a/d)^2}{3(l/d)^2 - 4(a/d)^2 + 38,4}$$

Esta expressão nos permite identificar a parcela de influência do momento fletor sobre o módulo de elasticidade total, bastando para isso que se substitua os valores de “a”, “d” e “l/d”. Se este percentual for igual ou superior a 95 %, significa que não é necessário levar em conta parcela devido o esforço cortante.

Com a expressão acima, também poderemos traçar um gráfico, onde para cada valor de “a” teremos uma curva diferente. Para se traçar estas curvas, basta que se fixe o valor de “a”, se varie a relação “l/d” e que se determine a relação “ $E_{(mf)} / E_{(mf,ec)}$ ”. O gráfico obtido está apresentado a seguir.

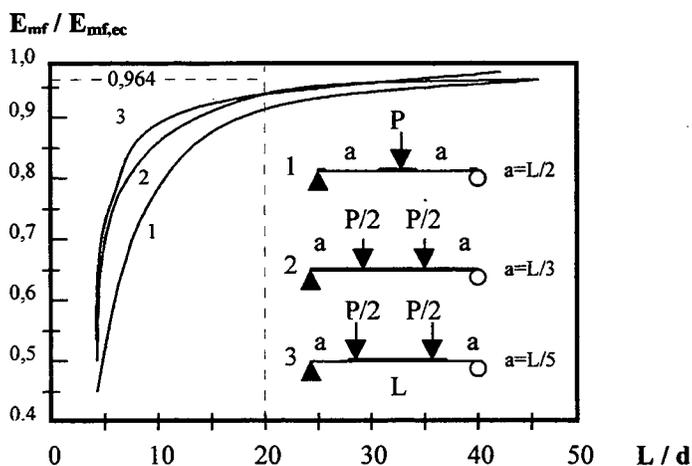


Fig. 2.2 Gráfico da relação $E_{(mf)} / E_{(mf,ec)}$

Como se pode observar, uma vez traçado o gráfico, basta determinar a relação “l/d”, identificar a curva correspondente e obter de imediato o percentual de influência do $E_{(mf)}$ sobre o $E_{(mf,ec)}$.

II. 4 - PINUS DO PLANALTO DE LAGES

II. 4. 1 - SITUAÇÃO DOS REFLORESTAMENTOS DO GRUPO BATTISTELLA.

Na década de 1960, o grupo Battistella colocava em prática um grande e audacioso projeto de reflorestamento com uma nova espécie de árvore, o *Pinus spp*, cuja cultura era ainda rara no Brasil. Estes reflorestamentos iniciaram-se pelo município de Lages.

Hoje em dia, o grupo possui 72 000 hectares de terras distribuídas nos estados de Paraná e Santa Catarina, sendo que 44 000 hectares com plantação de *Pinus spp*. Existem ainda 20 000 hectares de mata nativa preservada, formando um cinturão natural que contorna os plantios. Isto comprova a preocupação do grupo, com a preservação e a biodiversidade.

Atualmente existem 60 milhões de árvores plantadas e a cada ano mais 1500 hectares são cultivados, garantindo assim auto-suficiência de matéria prima para as indústrias e clientes. Existe produção própria de sementes e mudas.

A produtividade e a qualidade dos produtos tendem a se aprimorar, pois é preocupação constante os investimentos em pesquisas e desenvolvimento genético, introdução de novas espécies de árvores e novas alternativas para substituir as madeiras nativas.

II. 4. 2 - PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

As propriedades físicas e mecânicas da madeira utilizada neste trabalho, foram extraídas da dissertação de mestrado do Engenheiro Humberto Arruda (1995)², uma vez que se trata das mesmas espécies de *Pinus* (*P. taeda* e *P. elliottii*), provenientes do mesmo local.

Segundo ARRUDA (1995)², os ensaios realizados para a determinação destas características físicas e mecânicas, seguiram o que prescreve a norma e em alguns casos, por não ser contemplado pela mesma, utilizou-se de metodologias prescritas por normas internacionais tais como: a norma Alemã DIN, para a determinação da massa específica aparente, e os ensaios de tração paralela e tração normal, a norma Francesa para os ensaios de flexão simples e cisalhamento paralelo.

A caracterização das espécies de *P. Taeda* e *P. elliottii*, tiveram os resultados apresentados a seguir:

<i>Características Físicas e Mecânicas</i>	<i>Unidades</i>	<i>PINUS ELLIOTTII</i>	<i>PINUS TAEDA</i>
teor de umidade	%	14	12
Massa específica aparente a 15% de umidade	$10^{-6}N/mm^3$	5	5
Compressão paralela às fibras na ruptura	MPa	29	29
Flexão estática na ruptura	MPa	31	55
Tração paralelas às fibras na ruptura	MPa	38	53
Tração normal às fibras	MPa	3	2
Cisalhamento	MPa	5	6
Módulo de elasticidade na flexão	MPa	4356	8696

Tab. 2.1 Características físicas e mecânicas : *P. taeda* e *P. elliottii*

Levando-se em conta que a madeira utilizada para a confecção das vigas empregadas neste trabalho, eram tanto de *P. taeda* como de *P. elliotii*, indistintamente, pois é assim que acontece na indústria, pois eles recebem a madeira toda misturada, será considerado como característica da madeira a média dos resultados encontrados para as duas espécies, como também foi feito no trabalho de Arruda.

Esses resultados médios são:

$$H = 13 \% \quad (\text{teor de umidade})$$

$$\rho_{15\%} = 5 \times 10^{-6} \text{ N / mm}^3 \quad (\text{massa específica aparente a 15 \%})$$

$$\sigma_p^r = 29 \text{ M Pa} \quad (\text{compressão paralela na ruptura})$$

$$\sigma_f^r = 43 \text{ M Pa} \quad (\text{flexão estática na ruptura})$$

$$\sigma_{tp}^r = 45,5 \text{ M Pa} \quad (\text{tração paralela na ruptura})$$

$$\sigma_{tn}^r = 2,5 \text{ M Pa} \quad (\text{tração normal na ruptura})$$

$$\tau^r = 5,5 \text{ M Pa} \quad (\text{cisalhamento na ruptura})$$

$$E_l = 6526 \text{ M Pa} \quad (\text{módulo de elasticidade na flexão})$$

Estes dados foram utilizados para a determinação a carga que deveria ser utilizada no ensaio de flexão a tres pontos das lâminas.

**II. 5 - METODOLOGIA ADOTADA PELA INDÚSTRIA
BATTISTELLA, NA PRODUÇÃO DE VIGAS RETAS DE MADEIRA
LAMINADA COLADA.**

II. 5. 1 - INTRODUÇÃO

A madeira chega na indústria, em forma de toras e segue para a serraria, onde é transformada em tábuas. Essas tábuas terão uma dada espessura nominal, que varia de acordo com a espessura final desejada. Por exemplo, se a espessura final desejada (depois de aplainada) for de 28 mm, ela então deverá sair da serraria com aproximadamente 38 mm. Vai então para a estufa, a 120 °C onde permanece por 46 horas. A seguir essa tábua vai para o pré bitolamento, onde para o exemplo citado ela deverá ficar com espessura nominal de 34 mm. A partir de então, a tábua vai para a seção de fabricação de viga laminada colada.

II. 5. 2 - ACABAMENTO DAS TÁBUAS

Essas tábuas pré-bitoladas, passam então por um processo de **destopagem**, que consiste na eliminação dos pedaços com grandes defeitos, tais como: medula, nós soltos, nós que atravessam a madeira, rachaduras, e outros. Usando-se uma serra circular, esses pedaços são retirados e encaminhados para outro setor onde podem ser reaproveitados .

Os pedaços de tábuas considerados bons são então avaliados quanto às dimensões mínimas exigidas, ou seja , 30cm de comprimento e uma espessura, ao longo de toda a peça, definida de acordo com a espessura final desejada. Os pedaços que não satisfazem uma destas condições, são retirados do processo e também serão reaproveitados em outro setor da indústria. Os demais pedaços são classificados visualmente em “pedaços de 1^a” e “pedaços de 2^a”. São consideradas de 1^a, os que não apresentam defeitos, ou então apresentam pequenos defeitos, tais como: pequenos nós firmes e afastados ou medula em apenas uma face, os demais serão classificados como de 2^a. Os pedaços considerados de 1^a, são os que formarão as tábuas de 1^a, que serão

utilizadas nas posições mais afastadas da linha neutra, na composição das vigas. A indústria chama essa posição da viga como “capa”.

Após esta classificação visual e os pedaços de madeira já separados em dois grupos, os mesmos são encaminhados para a **freza, Tocheto - Modelo T-10** onde são usinados os **entalhes múltiplos**.

A seguir, com um pincel, é passado cola em todos os entalhes, e estes vão para a máquina de colar **Tocheto - Modelo T- 20**. Esta máquina é regulada para dar a pressão necessária para a colagem e também para cortar a tábua no comprimento desejado. No entanto, a mesma não permite a identificação precisa da pressão de colagem.

Uma vez coladas longitudinalmente até conseguir o comprimento desejado, é esperado um tempo mínimo de 24 horas, para a secagem da cola. Se tiver muita umidade este tempo poderá ser maior. A seguir estas tábuas vão para a **plana**, que está ajustada para dar a espessura final desejada para todas as lâminas.

Depois de todo este processo, a lâmina (composta de vários pedaços de tábuas) está pronta para ser empregada na composição da viga de Madeira Laminada Colada.

II. 5. 3 - MONTAGEM DAS VIGAS

No processo de montagem da viga são observados dois pontos:

- as lâminas compostas pelos pedaços classificados como de 1ª passam a ser chamadas lâminas de “Primeira”, e vão ocupar as posições mais externas da viga, ou seja, as zonas mais solicitadas nos esforços de flexão;

- na sobreposição das lâminas é observado que entre 2 lâminas consecutivas não fique uma emenda longitudinal (entalhes múltiplos) muito próxima da outra, obedecendo sempre uma distância mínima de 20cm.

Depois da viga montada, esta vai para a etapa de colagem e prensagem. Esta etapa pode se dar segundo dois processos distintos:

- Colagem a frio : a cola é passada na tábua, manualmente, através de pincéis, e a seguir levada para o sistema de prensagem. Lá permanecendo por 24 horas.

- Colagem a quente : para este processo é utilizada uma máquina italiana **Baioni Press - Modelo BP/TR**, na qual a prensagem se dá a uma temperatura de aproximadamente 90 °C. A máquina espalha mecanicamente a cola sobre a madeira e imprime a pressão necessária para a colagem, que é de aproximadamente 10 kgf/cm², aplicada nas duas direções: perpendicular à linha de cola e paralela à mesma, posição lateral das vigas. Esta máquina trabalha com mesa cheia (6450 mm x 960 mm) e o tempo é de 1 hora. Este processo de colagem será detalhado em capítulo posterior.

Estando a viga colada e prensada, são aguardados em média 7 dias, para que a cola atinja a resistência necessária, então ela vai para a **plaina**, onde é feito o acabamento lateral, eliminando todas as imperfeições e deixando a viga na largura desejada. Normalmente as lâminas possuem em torno de 2cm a mais que a largura final desejada para a viga após o acabamento lateral.

CAP. III - PREPARAÇÃO DAS LÂMINAS E SUA CLASSIFICAÇÃO QUANTO À RIGIDEZ

III. 1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo descrever o processo adotado neste trabalho, para a preparação das lâminas (tábuas), bem como o método de ensaio adotado para a determinação do módulo de elasticidade das mesmas, visando à classificação aqui proposta.

É importante destacar que estas lâminas (tábuas), que comporão as vigas objeto desta pesquisa, possuem emendas longitudinais, exatamente como as lâminas empregadas pela Empresa Battistella, quando da composição de suas vigas. Isto se faz necessário, visto que as tábuas apresentam muitos defeitos, que precisam ser eliminados, resultando então em pedaços curtos.

III. 2 - PREPARAÇÃO DAS LÂMINAS

A madeira fornecida pela Empresa Battistella, para a realização desta pesquisa, foi de *Pinus Taeda* e *Elliottii*, indistintamente, oriundas de seus reflorestamentos. Já havia passado pela estufa por um período de 46 horas a uma temperatura de 120° centígrados, e encontrava-se em forma de tábuas pré bitoladas com dimensões nominais de : 34mm X 120mmX 2700mm. Estas tábuas não haviam passado por nenhum tipo de classificação. Apresentavam, portanto, toda espécie de defeitos inerentes à madeira.

O primeiro trabalho realizado foi o de destopagem, ou seja, o de eliminação dos pedaços com defeitos. Foram adotados os mesmos critérios utilizados pela empresa e já descritos no Cap. II. Para este serviço foi utilizada uma serra circular e a colaboração de três funcionários da casa, que trabalham neste setor. Nesta etapa foi

identificado inclusive, em cada pedaço de madeira aproveitável, a classificação por eles adotada , ou seja, pedaço de “primeira” e pedaço de “segunda”.

Esta identificação foi feita, não com o objetivo de adotar o mesmo método, mas sim com o objetivo de realizar um estudo, sobre este procedimento, verificando se realmente as tábuas consideradas de “primeira” irão corresponder posteriormente às de maiores módulos de elasticidade.



Foto 3.1 Pilhas das tábuas após destopagem.

A etapa seguinte, de composição das lâminas , a partir das emendas longitudinais por entalhes múltiplos, também seguiu o mesmo procedimento adotado pela empresa, ou seja, os pedaços identificados como de “1^a” formaram as tábuas por eles chamadas de “1^a” e os de “2^a” as tábuas chamadas de “2^a”.

Para a execução dos entalhes múltiplos foi utilizada a freza TOCCHETO modelo T-10 . A seguir, utilizando um pincel foi aplicada a cola, Resorcina Fenol Formol da Alba Química Indústria e Comércio (RS-216M), com 20 % de catalizador (FM-60-M), a mesma utilizada pela empresa. Imediatamente os pedaços

foram conduzidos para a máquina TOCCHETO modelo T-20, que imprimia a pressão de colagem necessária. Através de uma guilhotina, as lâminas eram cortadas no comprimento desejado (2,60m).



Foto 3.2 Freza TOCCHETO - execução dos entalhes múltiplos.



Foto 3.3 Pilha de tábuas, já com entalhes múltiplos.



FOTO 3. 4 Aplicação do adesivo com pincel

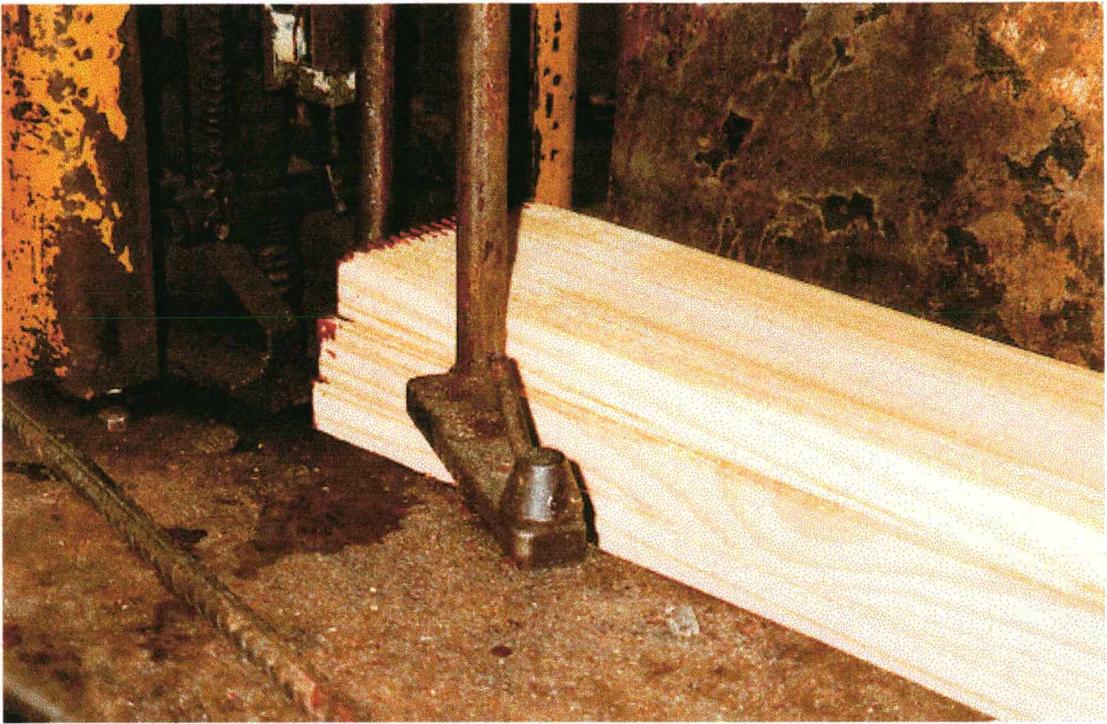


Foto 3.5 TOCCHETO T-20 - aplicação da pressão de colagem



Foto 3.6 TOCCHETO T-20

Foram aguardadas então, 24 horas, para a secagem da cola e após, as lâminas eram encaminhadas para a plaina, de onde cada uma saía com exatamente 26 mm de espessura.

Todo esse trabalho foi realizado dentro da empresa, onde foram confeccionadas 274 lâminas com as seguintes dimensões: 26mm X 120mm X 2650mm. Em todas as etapas de fabricação contou-se com a ajuda dos funcionários da empresa, que já haviam auxiliado no serviço de destopagem.

Com as Lâminas (tábuas) prontas, pôde-se observar que, aquelas identificadas como de "1^a", possuíam mais emendas longitudinais que as de "2^a". Isto talvez pelo fato de que as de "1^a" não podem ter defeitos ou admitem apenas pequenos defeitos, resultando em pedaços mais curtos. Já as de "2^a", onde a tolerância das imperfeições é maior, são compostas de pedaços de tábuas mais compridos, o que proporciona menor número de emendas longitudinais.



Foto 3.7 Pilha de lâminas aplainadas.

III.3- MÉTODO DE CARACTERIZAÇÃO DAS LÂMINAS

Para a determinação do módulo de elasticidade das lâminas (tábuas), foi utilizado o ensaio não destrutivo de flexão a três pontos, adotado por SZUCS (1991)³⁸ e também por ARRUDA (1995)², e cujo esquema está mostrado na figura a seguir. Destaca-se a importância deste método por ser de fácil montagem, podendo ser realizado em qualquer lugar, inclusive na obra.

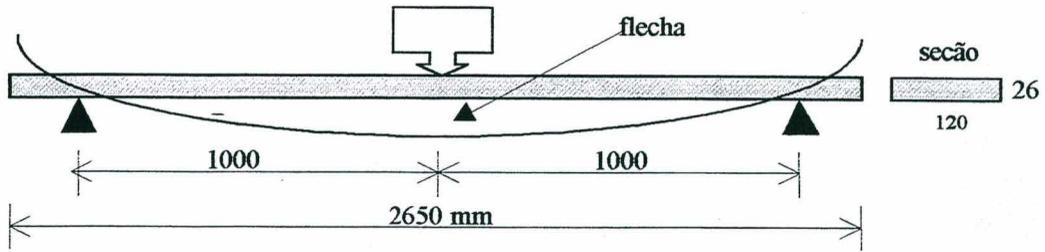


Fig. 3.1 Esquema do ensaio de flexão a três pontos.

III. 3. 1- DETERMINAÇÃO DO VALOR DE “P” MÁXIMO

Conforme mostra a figura anterior, no meio do vão (local da leitura da flecha), era colocada uma carga “P”. Foi então necessário a determinação do valor de “ $P_{\text{máx}}$ ”, que deveria ser usado, de modo a que não ultrapassasse o limite de proporcionalidade do material.

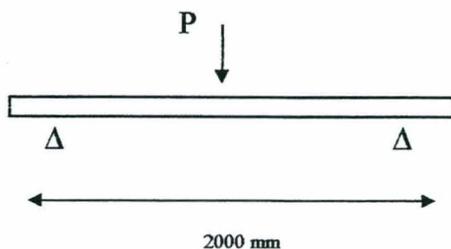
Para a fixação deste valor, partiu-se do valor característico da tensão de ruptura na flexão estática da espécie de pinus empregada, e das fórmulas de Resistência dos Materiais, conforme descrito abaixo.

Como valor característico da tensão de ruptura na flexão estática foi considerado um valor intermediário aos valores encontrados por ARRUDA (1995)², na caracterização das espécies *P.taeda* e *P.elliottii*, e apresentado no quadro de caracterização do item II.4.2, ou seja:

$$P. taeda \quad \sigma^{\text{rup}} = 31 \text{ M Pa} \quad P. elliottii \quad \sigma^{\text{rup}} = 55 \text{ M Pa}$$

$$\text{Valor adotado} \quad \sigma^{\text{rup}} = 43 \text{ M Pa}$$

Cálculo:



Tensão de ruptura na flexão - $\sigma_f^r = 43 \text{ MPa} = 430 \text{ kgf/cm}^2$

Momento máximo - $M = \frac{PL}{4}$ $M = 500.P$

$$M = \frac{P \cdot 2000}{4}$$

Momento de Inércia $I = \frac{bh^3}{12}$ $I = 175760 \text{ cm}^4$

$$I = \frac{120 \cdot (26)^3}{12}$$

Segundo a norma brasileira NBR - 7190 art. 54:

$$\sigma_f^{\text{adm}} = 0,15 \sigma_f^r$$

$$\sigma_f^{\text{adm}} = 0,15 \cdot 43 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_f^{\text{adm}} = 6,45 \text{ N/mm}^2$$

Da Resistência dos Materiais:

$$\sigma_f^{\text{adm}} \geq \frac{M.Y}{I}$$

$$6,45 \geq \frac{500.P \cdot 13}{175760}$$

$$P < 174 \text{ N}$$

Portanto o P_{max} , não deveria ultrapassar 174 N

Determinado este valor, passou-se a definir o esquema de ensaio.

III. 3. 2- PREPARAÇÃO DO ENSAIO

1º) Fixaram-se no chão 2 cavaletes, que serviram de suporte para as tábuas, de forma que a distância entre os apoios ficasse fixa em 2000 mm.

2º) Exatamente no meio deste vão, colocou-se uma coluna, onde estava fixada uma escala com precisão em mm.

3º) Como cada tábua possuía 2650 mm e o meio desta deveria coincidir com o meio do vão (frente a escala), fez-se então um gabarito, no qual se encostava uma extremidade da tábua, agilizando assim o processo.

4º) Com a trena e uma caneta, assinalava-se o ponto correspondente a 1325 mm (meio da tábua) e neste ponto colocava-se uma haste metálica, horizontalmente, que permitia a leitura da flecha junto à escala graduada em “mm”.

5º) Os pesos necessários foram obtidos, fazendo-se pacotes de pisos cerâmicos (20cmX20cm), fortemente amarrados e pesados em balança de precisão.

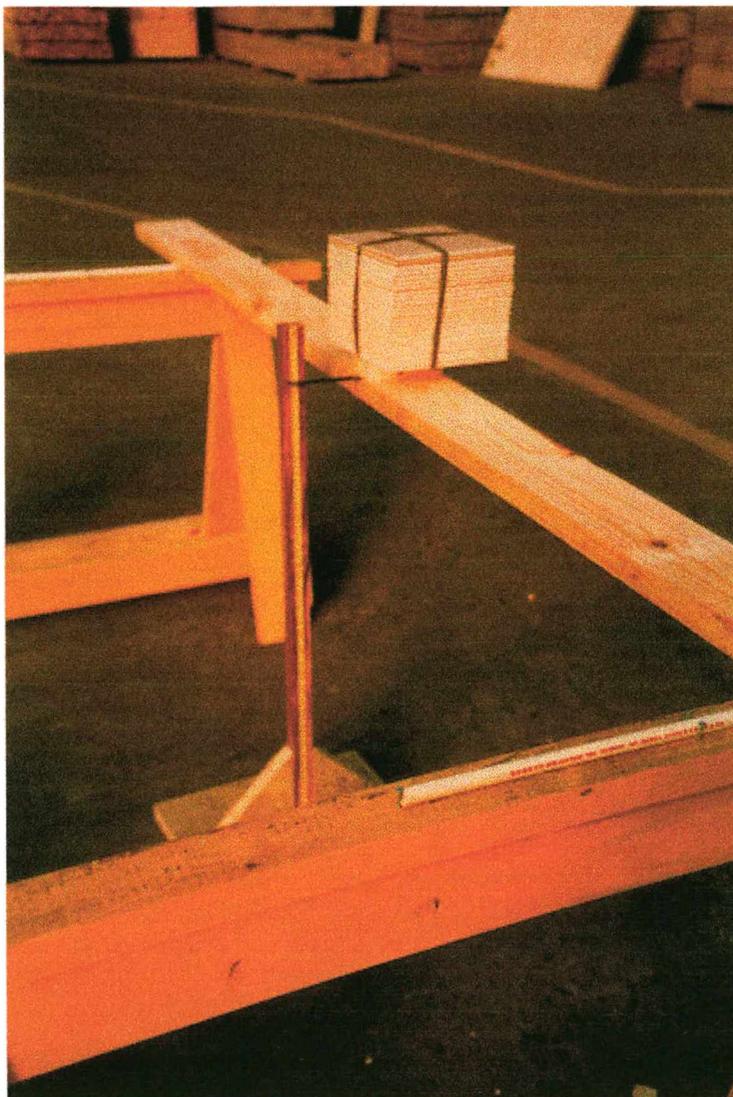


Foto 3. 8 Ensaio de flexão das lâminas.

III. 3. 3- PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Ficou determinado que seriam realizadas 4 leituras de deformação vertical (flecha no meio do vão), para cada tábua, com o seguinte procedimento:

1º) A tábua era colocada sobre os apoios , com uma das faces voltada para cima, era assinalado o ponto médio de 1325 mm, colocava-se aí a haste metálica,

que era segurada por um taquinho de madeira e registrava-se a altura correspondente na escala.

2º) A seguir eram realizadas mais duas leituras sendo a primeira, após colocar sobre o meio do vão assinalado, o peso correspondente a 50% do P_{\max} , e a outra após colocar os outros 50% de P_{\max} .

3º) Após, então, a tábua era virada, ficando com a outra face voltada para cima, e repetia-se o processo.

De posse dos 4 pares de valores “ carga / deformação vertical”, e com auxílio da planilha Excel foram determinados 4 valores de “ E_L ” - módulo de elasticidade longitudinal de cada lâmina, utilizando a seguinte fórmula da Resistência dos Materiais:

$$E_L = \frac{P \cdot l^3}{48 I \delta}$$

Observa-se o desprezo da influência do esforço cortante, uma vez que a relação dimensional das lâminas oferece uma proporção $E_{mf}/E_{mf,cc}$ maior que 95%.

A seguir foi determinado o valor médio de “ E_L ” de cada lâmina, sendo este adotado como “ E_L ” característico da lâmina.

Ao iniciarmos a realização deste ensaio, para as primeiras 9 lâminas, foram adotados os pesos de 8 kgf (80 N) e 16 kgf (160 N), porém observou-se que as deformações verticais (flechas) eram bastante acentuadas. Então para se evitar o risco de deformações excessivas, mesmo que dentro do regime elástico, optou-se por diminuir os pesos para 7 kgf (70N) e 14 kgf (140N).

É importante lembrar que as lâminas ensaiadas possuíam emendas longitudinais e que a determinação do $P_{\max} = 160$ N foi feito em função da tensão de

ruptura para tábuas sem emendas, podendo haver portanto alguma diferença significativa entre as duas realidades.

III. 4 - SEPARAÇÃO DOS LOTES

Uma vez determinado o módulo de elasticidade longitudinal “ E_1 ” de cada uma das 274 lâminas, era necessário dividi-las em 5 lotes, que iriam compor os grupos a serem estudados.

Tendo em vista que o objetivo da pesquisa era comparar os resultados obtidos nos diferentes tipos de pré-classificação propostos, era necessário então que estes 5 grupos fossem o mais semelhante possível, pois assim teríamos maior confiabilidade nas conclusões chegadas.

Os valores de “ E_1 ”, foram então colocados numa planilha do Excel, em duas colunas: o número de cada tábua, seguido do respectivo “ E_1 ”. A seguir estes dados foram dispostos em ordem de grandeza crescente segundo os valores de “ E_1 ”, sempre com o número da lâmina correspondente ao lado.

Para a divisão em lotes, procedeu-se então da seguinte forma: do lado destes dados, foram identificados os números de 1 a 5 (cada número indicando um lote): 1, 2, 3, 4 e 5; 2, 3, 4, 5 e 1; 3, 4, 5, 1, e 2; 4, 5, 1, 2 e 3; 5, 1, 2, 3 e 4 e assim sucessivamente. Esta divisão está apresentada no Anexo 1.

Para melhor compreensão, encontra-se a seguir, como exemplo, a classificação em lotes das primeiras 25 lâminas dispostas em ordem de grandeza crescente.

Exemplo:

Nº da lâmina	E_1 (MPa)	Subgrupo
9	3407	1
269	3412	2
232	3515	3
257	3995	4
1	4102	5
252	4172	2
5	4246	3
243	4285	4
257	4285	5
78	4446	1
13	4522	3
272	4659	4
254	4792	5
75	4975	1
48	5100	2
24	5157	4
25	5182	5
270	5243	1
3	5274	2
39	5284	3
123	5290	5
82	5319	1
4	5391	2
29	5404	3
261	5421	4

E assim sucessivamente.

Procedendo assim, obtivemos lotes muito semelhantes, conforme pode se observar nas planilhas apresentadas nos Anexos 2 e 3. Outro dado que comprova este fato são os valores médios dos módulos de elasticidade longitudinal “ E_1 ”, encontrados para cada lote, que são os seguintes:

Lote 1 - E_1 médio = 7581 MPa

Lote 2 - E_1 médio = 7622 MPa

Lote 3 - E_1 médio = 7607 MPa

Lote 4 - E_1 médio = 7666 MPa

Lote 5 - E_1 médio = 7630 MPa

Foi feita a comparação entre as médias dos lotes 1 e 4, que apresentavam os valores extremos, e verificou-se que a hipótese H_0 , não podia ser rejeitada, ou seja, não existia diferença significativa entre as duas médias ($\mu_1 = \mu_4$). Por conseguinte, as demais médias, também eram iguais.

CAP. IV - GRUPO , SUBGRUPO E CATEGORIA

IV. 1 - INTRODUÇÃO

Este capítulo tem por objetivo esclarecer a razão pela qual os lotes foram divididos em dois **Grupos** distintos **A** e **B** e estes, por sua vez, subdivididos em **Subgrupos**.

Será definido também o que se chamou de **Categoria**, e sua variação de um subgrupo para outro.

IV. 2 - GRUPO E SUBGRUPO

Dos 5 lotes de lâminas, dois foram identificados como pertencentes ao **Grupo A**, e os outros três como pertencentes ao **Grupo B**. Esta distinção se deve ao fato de que para os lotes do **Grupo A**, as lâminas foram classificadas em apenas duas **Categorias** (explicadas a seguir), e para os do **Grupo B**, em três **Categorias**.

A divisão dos **Grupos** em **Subgrupos**, se fez necessária porque para cada lote foi proposta uma definição diferente para as **Categorias**, conforme podemos observar no item seguinte, que fala sobre as mesmas. Desta forma o **Grupo A**, ficou composto dos **Subgrupos A₁** e **A₂** e o **Grupo B** dos **Subgrupos B₁**, **B₂** e **B₃**.

IV. 3 - CATEGORIA

Entende-se por **Categoria**, a pré-classificação das lâminas (tábuas) segundo o módulo de elasticidade E_1 , feita para um dado **Subgrupo** (lote) de acordo com percentuais pré- estabelecidos. Por exemplo:

categoria 1 - 25% das lâminas com maior valor de E_L .

categoria 2 - 75% das lâminas com menor valor de E_L .

Deve-se destacar que, a categoria 1, por exemplo, difere de um **Subgrupo** para outro pois, para cada um foram propostos percentuais diferentes de classificação, tendo em vista que o objetivo desta pesquisa é exatamente identificar se existe um tipo de pré-classificação que apresente melhores resultados que os demais.

A seguir apresentamos as diferentes **Categorias** propostas para cada um dos **Subgrupos**:

Subgrupo A₁ - Categoria 1 - 25% das lâminas com maiores valores de E_L .

Categoria 2-75% das lâminas com menores valores de E_L .

Subgrupo A₂ - Categoria 1 - 50% das lâminas com maiores valores de E_L .

Categoria 2- 50% das lâminas com menores valores de E_L .

Subgrupo B₁ - Categoria 1 - 50% das lâminas com maiores valores de E_L .

Categoria 2 - 25% das lâminas com valores médios de E_L .

Categoria 3- 25% das lâminas com menores valores de E_L .

Subgrupo B₂ - Categoria 1 - 25% das lâminas com maiores valores de E_L .

Categoria 2 - 50% das lâminas com valores médios de E_L .

Categoria 3 -25% das lâminas com valores menores de E_L .

Subgrupo B₃ - Categoria 1 - 25% das lâminas com maiores valores de E_L .

Categoria 2 - 25% das lâminas com valores médios de E_L .

Categoria 3- 50% das lâminas com menores valores de E_L .

Uma vez verificado que um dos **Subgrupos**, nos ensaios de flexão a 4 pontos, apresentou melhores resultados, que os demais, poderemos concluir então, que

esta proposta de pré-classificação é a mais indicada. Resta então identificar o que significam, na prática, as categorias propostas.

Para se identificar o que significa cada **Categoria**, ou seja, para quais intervalos de módulos de elasticidade E_1 , corresponde uma dada **Categoria**, voltaremos a amostra formada das 274 lâminas ensaiadas, para as quais foram determinados os E_1 e verificaremos quais são os valores limites, que correspondem aos percentuais propostos. Desta forma, como a amostra é considerada bem representativa, ficam bem definidas as diferentes **Categorias**, para o tipo de madeira utilizada pela Empresa Battistella.

Fica claro então que, para diferentes reflorestamentos, será necessário identificar, através de amostras representativas, quais são os valores limites de E_1 , para cada **Categoria**.

CAP. V - COMPOSIÇÃO DA AMOSTRAGEM

V. 1 - CORPO DE PROVA - DIMENSÕES E CARACTERÍSTICAS

Primeiramente, definiu-se que as vigas teriam sua seção transversal composta por 8 lâminas, e não apenas 5, como utiliza a Empresa Battistella na composição de seus elementos estruturais.

A razão de se utilizar um número maior de lâminas fundamenta-se nas conclusões chegadas por NEIVA (1992)²⁹, de que o aumento do número de lâminas colocadas em uma viga reta de MLC, contribui na melhoria da resistência da estrutura e nas propriedades mecânicas da flexão estática.

A seguir optou-se por trabalhar com vigas de dimensões semelhantes às que utilizou ARRUDA (1995)², em seu trabalho que era de (100X 160X2650) mm. Porém como a tábua fornecida pela Battistella tinha uma espessura nominal inicial de 34 mm e, após aplainada ficou com 26mm, nossa viga ficou com uma altura maior, porém mantivemos a largura. Desta forma as vigas ficaram com as seguintes dimensões : (100X208X2600) mm.

Conforme já citado em capítulo anterior, as tábuas possuíam várias emendas longitudinais, pelo sistema de finger-joint, o que também as diferencia das vigas empregadas por Arruda, que eram tábuas sem emendas no sentido longitudinal.

V. 2 - DETERMINAÇÃO DO NÚMERO DE CORPOS DE PROVAS POR SUBGRUPO.

Conforme visto no item anterior, os corpos de provas que utilizamos eram vigas em tamanho real, (100X208X2600)mm, não havendo portanto condições de se trabalhar com um número muito grande destes.

Por isso recorreu-se à Estatística, para a determinação de um número de CP, que se poderia trabalhar, para que se pudesse estimar uma média, ou comprovar uma hipótese sobre esta média. Para se estimar este número mínimo “N”, o método utilizado foi o do Processo Iterativo, apresentado por NANNI(1986)²⁸.

Para se aplicar este método, foram utilizados os resultados obtidos por ARRUDA (1995)², no ensaio de 6 vigas retas de MLC, composta de forma aleatória, empregando a madeira do mesmo reflorestamento e com dimensões de (100X160X2650)mm. Estes dados eram:

N = 6	(n° de CP)
X = 7 369,5 M Pa	(média dos E ₁)
S = 642,19 M Pa	(desvio padrão)
CV = 8,71 %	(coeficiente de variação)

Foi determinado ainda que o erro relativo “ER” seria de 10% (normalmente usado em experimentos de engenharia) e o nível de confiabilidade seria de 95%, ou seja $\alpha = 0,05$.

Por este método, utilizando-se os dados acima, foi calculado primeiramente o “ valor de convergência comparativo” “X_c”

$$X_c = \frac{CV^2}{ER^2} \quad \text{Onde: CV = coef. de var. da amostra}$$

$$ER = \text{erro relativo da estimativa}$$

$$X_c = \frac{8,71^2}{10^2}$$

$$X_c = 0,759$$

Pelo método, temos ainda que:

$$\frac{n}{t_{\alpha/2(n-1)}^2} = \frac{CV^2}{ER^2}$$

Por tentativa e utilizando a tabela de Student , constante de NANNI (1986)²⁸, verificou-se para qual valor de “n” que a expressão mais se aproximava de $X_c = 0,759$. Fixando $\alpha/2 = 0,025$ e variando “n” tivemos:

$$n= 8 \quad \text{tabela} \quad t_{\alpha/2(n-1)} = 2,365 \quad X_{c2} = \frac{8}{(2,365)^2} = 1,43$$

$$n= 6 \quad \text{tabela} \quad t_{\alpha/2(n-1)} = 2,571 \quad X_{c3} = \frac{6}{(2,571)^2} = 0,908$$

$$n=5 \quad \text{tabela} \quad t_{\alpha/2(n-1)} = 2,776 \quad X_{c4} = \frac{5}{(2,776)^2} = 0,649$$

Como foi para $n=5$ e $n=6$ que os valores mais se aproximaram de $X_c = 0,759$, então optou-se considerar $n=6$, como sendo o número mínimo de corpos de provas a ser utilizado para cada um dos subgrupos.

V. 3 - ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DA INÉRCIA DE CADA TÁBUA SOBRE A INÉRCIA TOTAL DA PEÇA.

A razão pela qual optou-se em pré-classificar as tábuas (lâminas) segundo o módulo de elasticidade, para melhor posicioná-las na seção transversal da viga, fundamentou-se no estudo sobre a participação percentual da inércia de cada uma,

segundo sua posição, em relação à inércia total da peça. Estes estudos já foram desenvolvidos por BODIG e JAIME (1982)⁷ e SZUCS (1991)³⁸.

Neste trabalho a seção transversal da viga era composta de 8 tábuas, cuja seção era de (100X26) mm.

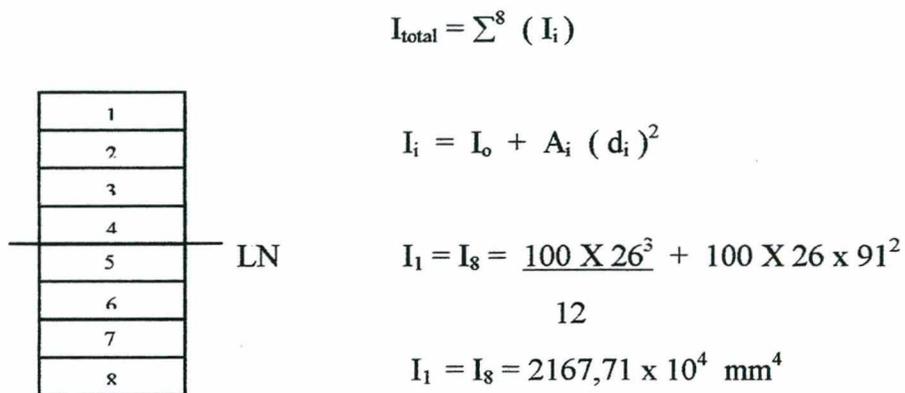


Fig. 5.1 Seção transversal da viga.

$$I_2 = I_7 = 1113,15 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_3 = I_6 = 410,11 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_4 = I_5 = 58,59 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_{total} = 2 (2167,71 \times 10^4 + 1113,15 \times 10^4 + 410,11 \times 10^4 + 58,59 \times 10^4)$$

$$I_{total} = 7499,12 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

Portanto : $I_1 = I_8 = 28,91 \% \text{ de } I_{total}$

$$I_2 = I_7 = 14,84 \% \text{ de } I_{total}$$

$$I_3 = I_6 = 5,47 \% \text{ de } I_{total}$$

$$I_4 = I_5 = 0,78 \% \text{ de } I_{total}$$

Sabendo-se então que as duas tábuas externas contribuem com 57,82 % da inércia total da peça ou que as 4 lâminas mais externas contribuem com 87,5 % desta

mesma inércia, e que o módulo de elasticidade teórico da peça pode ser calculado pela equação:

$$E_{\text{total}} = \frac{E_1 I_1 + E_2 I_2 + \dots + E_8 I_8}{I_{\text{total}}}$$

fica evidente que para se obter vigas com módulos de elasticidade elevados, é necessário colocar as lâminas com maiores valores de “E₁”, nas posições mais afastadas da linha neutra.

Por outro lado, como as duas tábuas que estão juntas à linha neutra, colaboram com apenas 1,56 % da inércia total da peça, mesmo empregando tábuas com baixos valores de “E₁” nesta posição, a influência destas sobre o E_{total} da viga, será mínima.

V. 4- CÁLCULO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE TEÓRICO DA PEÇA

Com a equação indicada no item anterior, foram calculados os módulos de elasticidades teóricos de cada uma das vigas, com o objetivo de se comparar com os módulos obtidos no ensaio de flexão a quatro pontos.

A seguir estão apresentadas as seções transversais de todas as vigas, indicando o número da lâmina e o módulo de elasticidade correspondente, expresso em N / mm². Para cada subgrupo as diferentes categorias estão representadas pela coloração dos números : 1^a categoria - vermelha

2^a categoria - preta

3^a categoria - azul

CAP VI - FABRICAÇÃO E EXPERIMENTAÇÃO DAS VIGAS

VI.1 – FABRICAÇÃO DAS VIGAS

Neste item, pretende-se descrever todo o procedimento adotado para a montagem das vigas, desde a descrição do adesivo empregado, modo de retirada das lâminas do lote para a composição da viga e sistema de prensagem.

VI.1.1 - ADESIVO UTILIZADO

De acordo com SZÜCS (1992)³⁹, e já citado em II.1.3, a escolha da cola a ser utilizada depende mais das condições de uso da estrutura, do que do tipo da madeira. Optou-se então em empregar um adesivo adequado para estruturas expostas a más condições atmosféricas.

As lâminas que compõem as vigas, tiveram suas interfaces coladas com o mesmo adesivo utilizado em suas emendas longitudinais, ou seja, RESINA DE RESORCINA-CASCOPHEN -RS 216m, lote Nº 622700 07, gentilmente doada para o desenvolvimento desta pesquisa, pela Empresa ALBA QUÍMICA Ind. e Com.

Esta resina utilizada, apresenta-se em estado líquido de cor marrom e é recomendada para colagens de peças expostas às intempéries ou em ambientes contendo produtos químicos.

Na preparação da cola era misturado a esta resina 20 % de catalisador (pó endurecedor) FM-60-M lote Nº 6226165, também doado pela Empresa ALBA QUÍMICA Ind. e Com.

VI. 1. 2 - METODOLOGIA DE MONTAGEM

Uma vez separadas as lâminas em 5 lotes, ou seja, de posse dos 5 subgrupos A_1 , A_2 , B_1 , B_2 e B_3 , cujo método de obtenção foi descrito no item III.4, passou-se à montagem das vigas de cada subgrupo.

Cada subgrupo continha o seguinte número de lâminas:

$A_1 = 54$ lâminas	$B_1 = 53$ lâminas
$A_2 = 53$ lâminas	$B_2 = 52$ lâminas
	$B_3 = 53$ lâminas

Os subgrupos A_1 , B_2 e B_3 inicialmente possuíam 55, 53 e 54 lâminas, respectivamente, porém uma de cada um deles foi retirada por serem considerados valores espúrios. As lâminas eliminadas foram as de números 126, 163 e 250. A composição de cada subgrupo, mostrando as lâminas componentes e os respectivos E_1 , encontra-se no Anexo 2.

Como pode-se observar, somando-se as lâminas de todos os subgrupos, mais as 3 eliminadas, por serem dados espúrios, estas totalizam 268 lâminas, portanto 6 a menos das 274 lâminas confeccionadas. Isto deve-se ao fato de que durante o ensaio para determinação do E_1 , seis peças apresentaram problemas de rachaduras e até mesmo de ruptura, sendo portanto eliminadas.

Com auxílio do computador, e utilizando a planilha Excel, onde as lâminas componentes de cada subgrupo já se encontravam em ordem de grandeza crescente de E_1 , procedeu-se a divisão das lâminas em categorias, obedecendo-se os percentuais pré estabelecidos para cada subgrupo. Exemplo do Subgrupo B_1 :

Categoria 1 - 50% das lâminas com maiores valores de E_1 .

Categoria 2 - 25% das lâminas com valores intermediários de E_1 .

Categoria 3 - 25% das lâminas com menores valores de E_1 .

Uma vez realizada a divisão dos cinco subgrupos em categorias, ou seja, estando cada lâmina já classificada dentro de uma dada categoria, partiu-se para a fábrica para a separação efetiva das mesmas.

Procedimento adotado para a separação das lâminas e montagem das vigas:

1º) Pegava-se todo o lote de um dado subgrupo, tomava-se as lâminas uma de cada vez, e de acordo com seu número, via-se na listagem do computador, a que categoria ela pertencia, colocando-a então na pilha correspondente.

2º) Tomava-se o cuidado de que as lâminas de uma dada categoria fossem empilhadas de modo aleatório, ou seja, sem nenhum critério de ordem de grandeza segundo E_1 .

3º) Somente após separados todos os subgrupos passou-se para a etapa de montagem das vigas.

4º) Para montagem da viga, seguia-se o critério pré estabelecido para cada subgrupo. Por exemplo, para o subgrupo B_1 , retiravam-se as 2 primeiras lâminas da pilha identificada como categoria 1, a terceira, da pilha correspondente a categoria 2, a quarta e a quinta da pilha correspondente a categoria 3, a sexta novamente da categoria 2 e a sétima e oitava da categoria 1.

5º) Essa retirada das lâminas de cada categoria, era feita de modo aleatório, ou seja, sem nenhuma preocupação de que a primeira lâmina tivesse E_1 maior que a segunda, pois é desta forma que deverá ocorrer na indústria.

6º) Nesta etapa de montagem, tinha-se o cuidado de que duas lâminas adjacentes, não ficassem com emendas longitudinais muito próximas, menor que 20 cm. Para respeitar esta recomendação, muitas vezes tinha-se que fazer várias tentativas, experimentando diferentes lâminas da categoria correspondente, ou apenas virando a posição das mesmas. Tendo em vista que as lâminas apresentavam grande número de emendas, este

procedimento fez com que a montagem de cada viga fosse demorada, levando-se até 10 minutos para cada uma.

7º) Após montadas todas as 30 vigas é que se passou para a etapa de colagem e prensagem.

VI. 1. 3 - COLAGEM E PRENSAGEM DAS VIGAS

Para a execução desta etapa, optou-se por adotar o sistema de prensagem a quente. Para isso, utilizou-se uma prensa de fabricação italiana, denominada BAIONI PRESS- MODELO BP / TR, adquirida pela empresa Battistella em 1995.

Esta prensa, que vem acompanhada de sistema transportador de lâminas para sua alimentação e de dispositivos para espalhamento do adesivo, está apresentada na foto abaixo.



Foto 6.1 Prensa BAIONI PRESS

A seguir está descrito todo procedimento adotado durante a colagem e prensagem das vigas.

VI. 1. 3. 1 - ETAPA DE COLAGEM

De acordo com o já citado, esta prensa vem equipada de um sistema de transporte de rolos, para transportar as lâminas e um dispositivo composto de 3 cilindros que realizam o espalhamento do adesivo. A foto abaixo ilustra bem este conjunto.



Foto 6.2 Dispositivo de aplicação do adesivo

Conforme podemos observar na foto acima, o dispositivo de aplicação do adesivo nas lâminas consta de três cilindros sendo: um cilindro inferior, cujo comprimento é igual à largura do sistema transportador e dois cilindros superiores, cujo comprimento é a metade do anterior. Abaixo do cilindro inferior, existe uma bandeja

onde é colocada a cola que será transferida para a face inferior da lâmina através do cilindro. Os cilindros superiores estão divididos em dois, de tal forma que um deles também contém cola espalhando na face superior da lâmina, enquanto que o outro permanece seco, isto é, não possui cola. Isso se faz necessário porque as lâminas de capa das vigas, ou seja, as duas lâminas externas levam cola em apenas uma das faces, devendo portanto passarem sob o cilindro seco, enquanto que as demais devem receber cola nas duas faces e passarem sob o outro.

Para a etapa de colagem, cada viga já montada era colocada do lado do sistema transportador e uma pessoa ia colocando as lâminas na mesma ordem sobre os rolos para passarem no cilindros espalhadores da cola, tendo sempre o cuidado de colocar a lâmina sob o cilindro adequado. Do outro lado, após os cilindros, outra pessoa ia retirando essas lâminas do sistema transportador e montando novamente a viga, na mesa que se encontrava abaixo e que conduzia para dentro da prensa.



Foto 6.3 Montagem da viga após aplicação do adesivo

O tempo gasto para colar 8 vigas (carga completa) era em média de 12 minutos.

VI. 1. 3. 2 - PRENSAGEM

Esta prensa opera com mesa cheia, e suas dimensões são : 960 mm de largura e 6450 mm de comprimento. As vigas são colocadas deitadas na mesa ou seja, a linha de cola fica na posição vertical.

Desta forma, para cada carga completa da prensa, passavam 8 vigas, sendo 2 ordens de 4 vigas cada uma. Como podemos verificar, 4 vigas de 208 mm de altura, perfazem um total 832 mm, enquanto que a largura da mesa era de 960 mm, este espaço então, era preenchido com lâminas avulsas.

Neste tipo de prensa a aplicação de pressão nas vigas, se dá em duas direções: uma vertical no sentido da linha de cola e outra horizontal, perpendicular às superfícies coladas, e portanto a responsável pela eficiência da colagem.

A pressão horizontal é transmitida para as vigas, por meio de 12 sapatas, dispostas do lado direito da prensa, no sentido de seu comprimento. Cada sapata tem 200 mm de altura por 500 mm de comprimento e está conectada a dois pistões hidráulicos de 50 mm de diâmetro cada.

Durante o processo de prensagem, nos quatro carregamentos, a pressão do circuito hidráulico era de 190 kgf/cm² no sentido vertical e 150 kgf/cm² no sentido horizontal. Portanto a pressão efetiva de colagem, no sentido perpendicular as superfícies coladas, era de 9,82 kgf/cm², conforme mostramos no cálculo abaixo.

Pressão no circuito hidráulico : $p = 150 \text{ kgf/cm}^2$

Área de um pistão : $A = \pi D^2 / 4 = \pi (5\text{cm})^2 / 4 = 19,635 \text{ cm}^2$

Força transmitida por pistão : $F = p \times A = 150 \text{ kgf/cm}^2 \times 19,635 \text{ cm}^2 = 2945,25 \text{ kgf}$

Cada sapata (2 pistões) $F = 5890,5 \text{ kgf}$

Pressão sobre a viga : $p = F / A = 5890,5 \text{ kgf} / 50\text{cm} \times 12 \text{ cm} = 9,82 \text{ kgf/cm}^2$

A temperatura de prensagem era sempre a 91 °C, sendo que quando as vigas entravam na prensa, esta já se encontrava a tal temperatura. O tempo decorrido entre a entrada da viga em uma extremidade e a saída na outra era de 60 minutos.

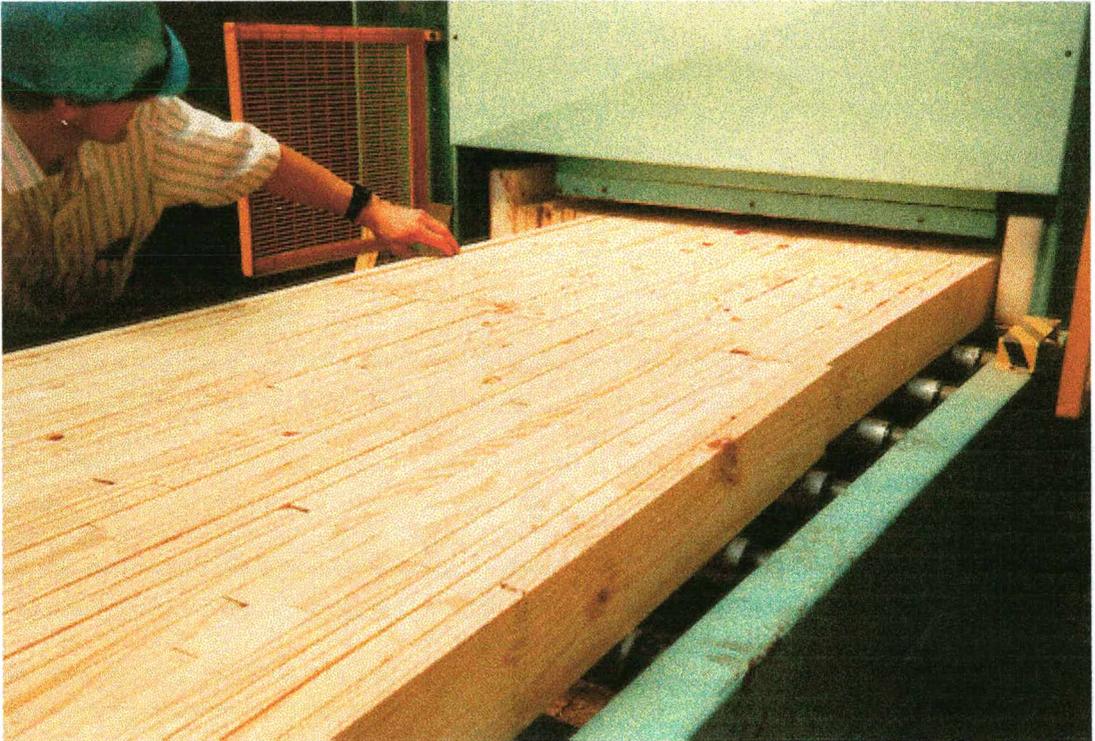


Foto 6.4 Vigas saindo da prensa.

A seguir estão relacionadas as vigas que compuseram cada um dos carregamentos:

1º carregamento : vigas de números 25, 26, 27, 28, 29, 30, 19 e 20.

2º carregamento : vigas de números 21, 22, 23, 24, 13, 14, 15 e 16.

3º carregamento : vigas de números 17, 18, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 .

4º carregamento : vigas de números 1, 2, 3, 4, 5 ,6 e 7 .

No último carregamento foi colocada ainda uma outra viga a de número 31, que foi montada aleatoriamente com lâminas que haviam sobrado.

VI. 2 - EXPERIMENTAÇÃO

VI. 2. 1 - MÉTODO DE ENSAIO

Conforme recomenda a norma francesa, NF B51 -008 e a norma inglesa BS 5820 (1979), para vigas de madeira laminada colada, o método empregado foi o de **"flexão simples a quatro pontos"**.

Este ensaio é indicado, porque ao invés de gerar um ponto com momento máximo, como no ensaio simples de flexão a três pontos, ele gera uma região, entre as duas cargas, onde o momento é constante e máximo, ou seja uma região de flexão pura. No caso da madeira, que é um material não homogêneo e que pode apresentar defeitos na sua constituição isto é fundamental, pois possibilita que a ruptura ocorra no local mais desfavorável. Uma vez que a ruptura ocorra na região de flexão pura, sabe-se com certeza o valor do momento para o qual ela aconteceu, o que é fundamental para a precisão do ensaio.

VI. 2. 1. 1 - EQUIPAMENTOS E ESQUEMA DE ENSAIO

Para a realização dos ensaios, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- 01 unidade de pressão hidráulica;
- 01 cilindro de acionamento hidráulico dupla ação com capacidade de 20 toneladas
- 01 célula de carga com capacidade de 20 toneladas;
- 01 indicador digital de sinais (1 unidade = 500 N);

- 02 extensômetros com relógios comparadores , escala 1/100mm e curso 50 mm;

-01 pórtico metálico rígido.

O esquema de ensaio, mostrando em detalhes a forma de aplicação de carga, o vão livre da viga e a distância entre cargas, encontra-se na figura abaixo.

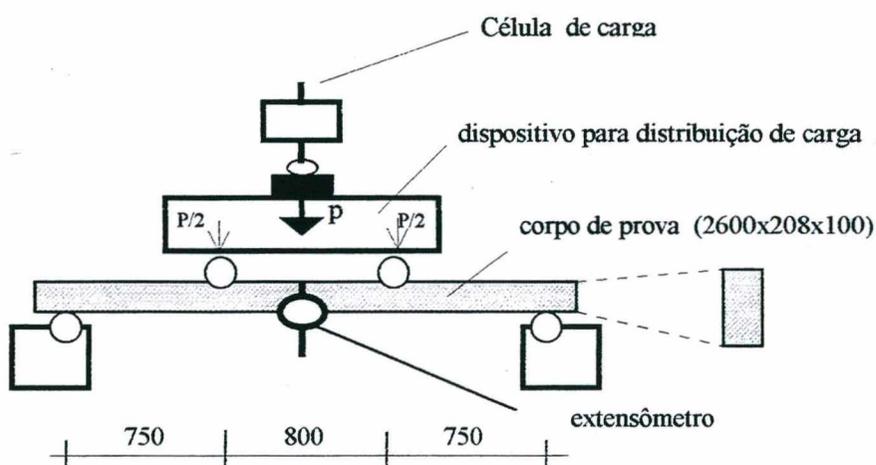


Fig. 6.1 - Esquema de ensaio de flexão a quatro pontos.

Para o acompanhamento das deformações (flechas) das vigas, utilizou-se dois extensômetros com relógios comparadores fixados em dois perfis metálicos, apoiados um de cada lado da viga, sobre a linha neutra. A agulha do extensômetro apoiava-se sobre uma cantoneira presa na lateral da viga por 2 preguinhos, exatamente sobre a linha neutra.

A seguir apresentamos algumas fotos feitas durante os ensaios, mostrando o pórtico, alguns detalhes, como a fixação dos extensômetros e inclusive a ruptura de uma das vigas. É importante destacar que praticamente todas as vigas apresentaram o mesmo tipo de ruptura, na base do finger-joint e sempre na zona de momento máximo.

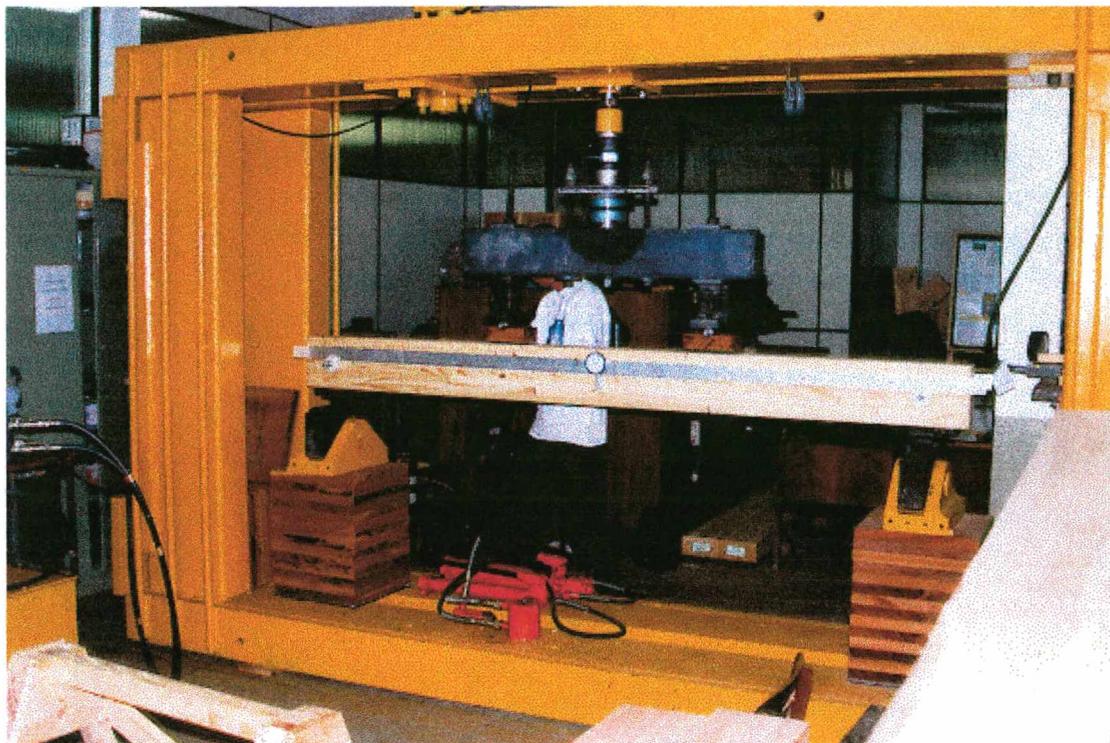


Foto 6.5 Pórtico, conjunto de aplicação de carga e apoios

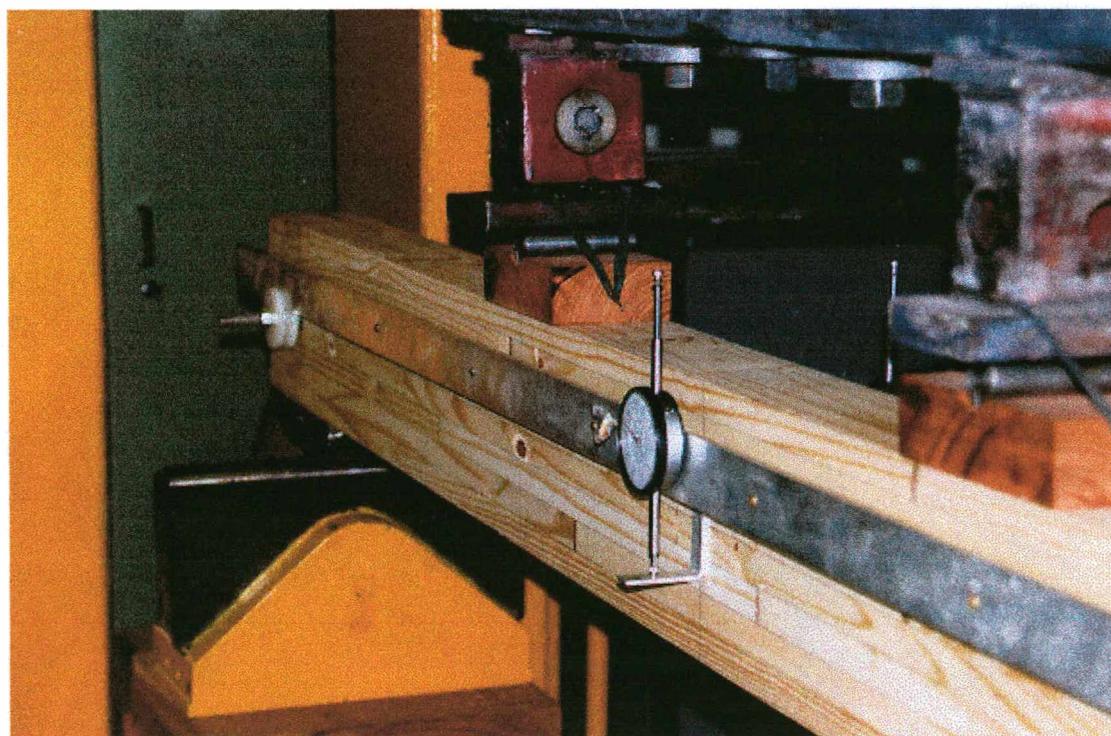


Foto 6.6 Posicionamento dos extensômetros

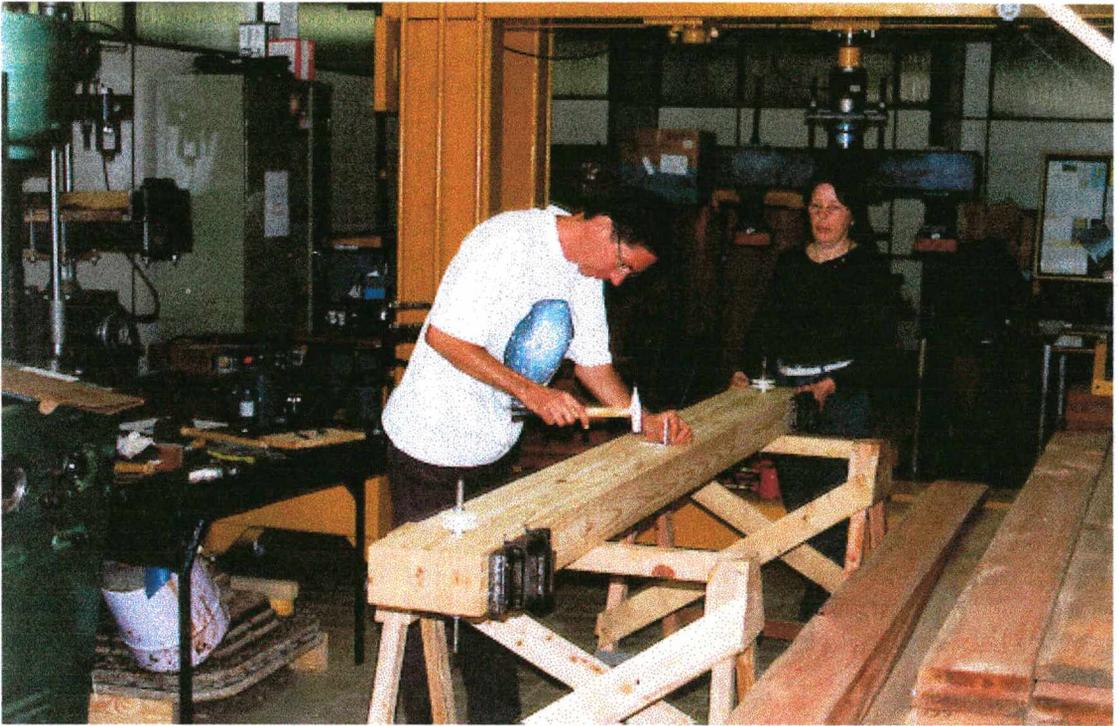


Foto 6.7 Fixação das cantoneiras sobre a linha neutra

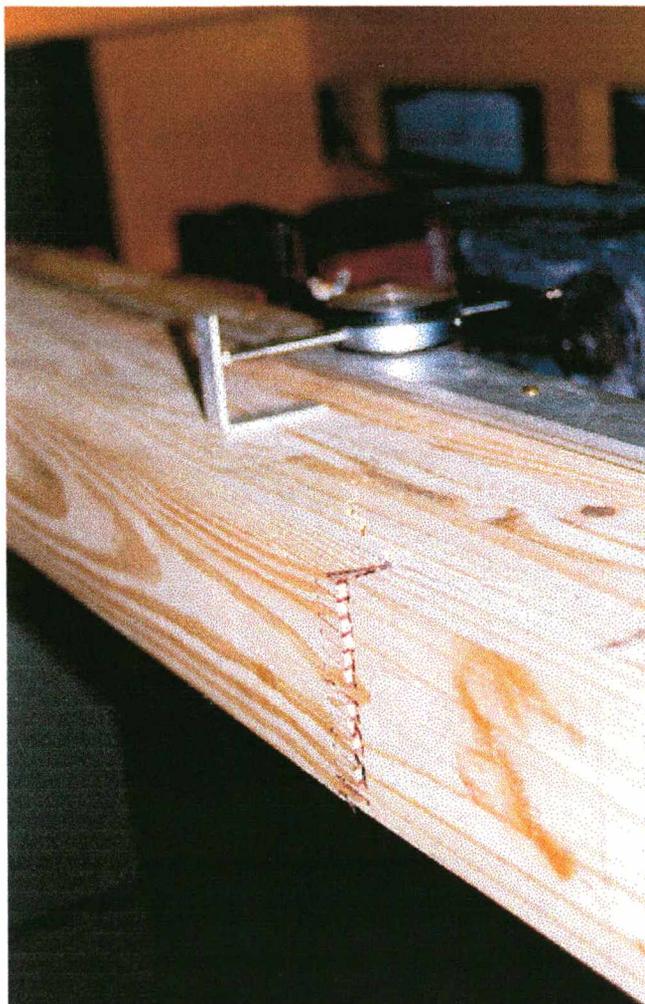


Foto 6.8 Ruptura de uma viga

VI. 2. 1. 2 - PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Para a realização do ensaio, era necessário a participação de três pessoas, uma para controlar a aplicação da carga e duas para fazerem a leitura dos relógios comparadores. Esta leitura era realizada a cada duas unidades de carga aplicada (1000N).

Para cada uma das vigas ensaiadas foram aplicados dois carregamentos. O primeiro até a marca de 60 unidades ou 30000 N, que correspondia aproximadamente a

70 % da carga de ruptura estimada e tinha a finalidade de permitir todas as acomodações necessárias da viga. Durante este carregamento já se procedia a leitura das flechas, pois sabia-se que alguma viga poderia vir a romper ainda nesta etapa, o que de fato ocorreu com as vigas de números 2 e 13.

Após atingir as 60 unidades de carregamento, a viga era descarregada até 2,7 unidades (1350 N), que correspondia ao peso do conjunto de aplicação da carga. A partir daí recomeçava-se o segundo carregamento, até ocorrer a ruptura. Durante esta segunda etapa, fazia-se a leitura das flechas até a carga correspondente a 70 unidades, quando então os perfis metálicos com relógios eram retirados para se evitar possíveis danos na hora da ruptura.

VI. 2. 2 - VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO MOMENTO FLETOR NO MÓDULO DE ELASTICIDADE DA VIGA.

De acordo com o apresentado no item II. 3, temos:

$$E_{(mf)} / E_{(mf,ec)} = \frac{3(l/d)^2 - 4(a/d)^2}{3(l/d)^2 - 4(a/d)^2 + 38,4}$$

Portanto substituindo os valores correspondentes as dimensões das vigas, teremos:

$$E_{(mf)} / E_{(mf,ec)} = \frac{3(2300/208)^2 - 4(750/208)^2}{3(2300/208)^2 - 4(750/208)^2 + 38,4}$$

$$E_{(mf)} / E_{(mf,ec)} = 0,8913 = 89,13 \%$$

Como o valor encontrado é inferior a 95 %, de acordo com o item II. 3 significa que deve ser considerada a parcela devido ao esforço cortante. Portanto a

equação usada para o cálculo do módulo de elasticidade a partir de dados obtidos no ensaio de flexão a quatro pontos foi :

$$E_{(mf,ec)} = \frac{P.a}{b.d.\delta} \left[\frac{3l^2 - 4a^2}{4d^2} + 9,6 \right]$$

VI. 2. 3 - DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE DAS VIGAS.

Para a determinação do módulo de elasticidade de cada viga, foram utilizadas as anotações das flechas obtidas nos relógios comparadores durante o segundo carregamento, com exceção das vigas números 2 e 13 que romperam ainda na primeira etapa de carga.

Conforme apresentado no ítem anterior, para as dimensões das vigas em questão, foi necessário levar em conta a parcela de contribuição do esforço cortante. Portanto substituindo-se naquela equação o valores correspondentes a "l", "a", "b" e "d" obteve-se:

$$E_{(mf,ec)} = \frac{P.750}{100.208.\delta} \left[\frac{3(2300)^2 - 4(750)^2}{4(208)^2} + 9,6 \right]$$

$$E_{(mf,ec)} = \frac{3,18.P}{\delta}$$

Os módulos de elasticidades foram calculados a partir das flechas lidas durante os ensaios, utilizando esta equação e com o auxílio do Excel. O procedimento de cálculo, foi o seguinte :

1º) Para cada carga aplicada determinava-se a deformação correspondente de cada lado da viga.

2º) A partir destas calculava-se então a "deformação média".

3º) Com a "deformação média" e a " carga correspondente", traçava-se o gráfico e determinava-se a "equação da reta" e a "correlação".

4º) Com a equação da reta via-se qual o incremento que deveria ser somado ou subtraído das flechas para que a reta passa-se pela origem.

5º) Na mesma coluna das flechas anteriores somava-se ou subtraía-se este incremento, obtendo-se assim as novas flechas e por conseguinte o novo gráfico já corrigido.

6º) Com estas flechas corrigidas é que se determinavam os módulos de elasticidades correspondentes a cada carga.

7º) Por último determinava-se a média de todos estes valores, encontrando-se assim o " módulo de elasticidade da viga".

8º) As unidades utilizadas foram : carga (N) e deformação (mm)

VI. 2. 4 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO.

Para a determinação da resistência à tração na flexão das vigas, utilizou-se a seguinte fórmula da Resistência dos Materiais

$$\sigma_f = \frac{M \cdot y}{I}$$

$$M = \frac{P \cdot a}{2}$$

$$y = d / 2$$

$$I = \frac{b.d^3}{12}$$

Substituindo os respectivos valores chegou-se a :

$$\sigma_f^r = 0,00052P^r$$

Com o valor da carga de ruptura ,utilizou-se a equação acima para determinar o valor da resistência à tração na flexão de cada viga.

VI. 2. 5 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Na página seguinte, apresentamos um quadro com as médias e desvio padrão das **resistências à tração na flexão e módulo de elasticidade** de cada subgrupo, a partir dos resultados obtidos para cada viga no ensaio de flexão a quatro pontos.

As planilhas de cálculo para obtenção dos módulos de elasticidades com os respectivos gráficos das vigas do subgrupo A₁ , estão apresentadas no anexo 4, bem como os gráficos das demais vigas. Nos Anexos 5 e 6 apresentamos as tabelas com valores dos módulos de elasticidades e resistência a tração na flexão de todas as vigas componentes dos subgrupos.

SUBGRUPO	RESIS. À TRAÇÃO			MÓD. DE ELASTIC.		
	Média MPa	DP MPa	CV %	Média MPa	DP MPa	CV %
A 1	19,99	3,06	15,31	9131	918	10,05
A 2	23,61	2,62	11,06	9353	775	8,29
B 1	21,65	4,18	19,31	9630	840	8,72
B 2	22,77	4,95	21,74	9441	956	10,13
B 3	23,47	2,35	10,03	9747	757	7,77

Tab. 6.1 Resultados experimentais das vigas, por subgrupos.

CAP VII. ANÁLISE DOS RESULTADOS

VII. 1 - INTRODUÇÃO

Para se proceder a análise dos resultados obtidos nos ensaios, fez-se uma revisão de Estatística e optou-se por utilizar a publicação de NANNI (1986)²⁸ como orientação.

Para analisar a existência ou não de diferença significativa entre as médias encontradas para cada um dos subgrupos, optou-se por fazer a " **comparação de médias de k grupos** ", apresentada pelo autor acima citado, na página 110.

Este método permite determinar se num dado grupo de médias, existe ou não diferença significativa entre as mesmas, comparando as hipóteses $H_0 \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_n$ com $H_1 \mu_i \neq \mu_j$ para algum $i \neq j$. Ele não permite entretanto identificar qual ou quais as médias que diferem significativamente, sendo necessário para isto a utilização de outro método.

Este outro método pode ser por exemplo, o Método de DUNCAN, que toma uma dada média e a compara com as demais, tomadas uma a uma, concluindo se há ou não diferença. Entretanto ele só é utilizado se, pelo processo anterior, a igualdade das médias, hipótese H_0 , for rejeitada.

VII. 2 - COMPARAÇÃO MÚLTIPLA DE MÉDIAS ENTRE OS SUBGRUPOS

O método de " **comparação de média de k grupos**" foi o adotado para comparar os resultados obtidos para módulo de elasticidade e resistência à tração na flexão entre os diferentes subgrupos.

O procedimento de cálculo foi o seguinte:

- 1 - Somou-se os dados de cada amostra (T_j)
- 2 - Somou-se todos os dados ($T_{..}$)
- 3 - Anotou-se o número de dados de cada amostra (n_j)
- 4 - Anotou-se o número total de dados (N)
- 5 - Determinou-se a média de cada amostra (μ_j)
- 6 - Determinou-se a média de todos os dados ($\mu_{..}$)
- 7 - Calculou-se a soma de todos os dados elevados ao quadrado (χ^2)
- 8 - Calculou-se para cada amostra, o valor (T_j^2 / n_j) e somou-se, obtendo-se (S)
- 9 - Calculou-se $T_{..}^2 / N$ obtendo-se (CT)
- 10 - Determinou-se os graus de liberdade : entre grupos ($k-1$)
dentro dos grupos ($N-K$)
total ($N-1$)

11 - Com estes valores determinou-se :

$$SQT = \chi^2 - CT \quad (\text{Soma dos Quadrados Totais})$$

$$SQR = \chi^2 - S \quad (\text{Soma dos Quadrados dos Resíduos})$$

$$SQG = S - CT \quad (\text{Soma dos Quadrados dos Grupos})$$

$$MQG = SQG / (k-1) \quad (\text{Média dos quadrados dos grupos})$$

$$MQR = SQR / (n-k) \quad (\text{Média dos quadrados dos resíduos})$$

$$F = MQG / MQR$$

Este "F" então foi comparado com $F_\alpha (k-1 ; N-k)$ valor tabelado.

Se "F" < " $F_\alpha (k-1 ; N-k)$ " a hipótese H_0 , não poderia ser rejeitada e a igualdade das médias deveria ser aceita.

A seguir mostramos a análise feita para os resultados encontrados para módulo de elasticidade e resistência à tração na flexão.

VII. 2. 1 - COMPARAÇÃO ENTRE OS MÓDULOS DE ELASTICIDADES MÉDIOS DE CADA SUBGRUPO.

	A1	A2	B1	B2	B3	
	7429	8818	8220	8386	10890	
	9381	9895	10101	9516	9110	
	9664	8525	10275	10570	10002	
	8827	8809	8988	8211	9012	
	9997	9531	9937	9782	10260	
	9488	10542	10256	10183	9210	
Nº de observações	6	6	6	6	6	30
Totais	54786	56120	57777	56648	58484	283815
Médias	9131	9353,3	9629,5	9441,3	9747,3	9460,5

$$T..^2 / N = 2685031808$$

$$SQT = 19573961$$

$$SQR = 18186421$$

$$SQG = 1387540$$

FONTE	SQ	G D L	MQ	F
Entre Grupos	1387540	4	346885	0,477
Dentro do grupo	18186421	25	727456,8	
Total	19573961	29	$F_{0,05}(4, 25) = 2,76$	

Como $F < F_{0,05}(4, 25)$ a hipótese H_0 não pode ser rejeitada, ou seja, não existe diferença significativa entre os subgrupos.

VII. 2. 2 - COMPARAÇÃO ENTRE AS RESISTÊNCIAS MÉDIAS À TRAÇÃO NA FLEXÃO DE CADA SUBGRUPO

	A1	A2	B1	B2	B3	
	20,28	24,60	14,04	20,67	23,27	
	15,08	22,13	23,01	27,56	23,50	
	17,68	19,19	24,75	17,94	25,01	
	21,48	23,76	25,74	16,64	24,91	
	22,41	26,16	21,79	26,83	25,14	
	23,04	25,84	20,54	26,99	18,95	
Nº de observações	6	6	6	6	6	30
Totais	119,97	141,68	129,87	136,63	140,78	668,93
Médias	20,0	23,61	21,64	22,77	23,46	22,30

$$T..^2 / N = 14915,58$$

$$SQT = 352,59$$

$$SQR = 318,34$$

$$SQG = 54,15$$

FONTE	SQ	G D L	MQ	F
Entre grupos	54,15	4	13,54	1,06
Dentro do grupo	318,34	25	12,73	
Total	352,59	29	$F_{0,05}(4, 25) = 2,76$	

Como $F < F_{0,05}(4, 25)$ a hipótese H_0 não pode ser rejeitada, logo, não existe diferença significativa entre os subgrupos.

**VII. 3. COMPARAÇÃO ENTRE OS MÓDULOS DE ELASTICIDADE
TEÓRICOS E OS MÓDULOS DE ELASTICIDADES REAIS.**

	Mód. Elast. real		Mód. Elast. Teórico	
	E (N/mm ²)		E (N/mm ²)	
VIGA 01	7429		8900	
VIGA 02	9381		8982	
VIGA 03	9664		8765	
VIGA 04	8827		8185	
VIGA 05	9997		9066	
VIGA 06	9488		9240	
VIGA 07	8818		8741	
VIGA 08	9895		9503	
VIGA 09	8525		8503	
VIGA 10	8809		7873	
VIGA 11	9531		10152	
VIGA 12	10542		9189	
VIGA 13	8220		7997	
VIGA 14	10101		8739	
VIGA 15	10275		8874	
VIGA 16	8988		8622	
VIGA 17	9937		9302	
VIGA 18	10256		10362	
VIGA 19	8386		9896	
VIGA 20	9516		8314	
VIGA 21	10570		8834	
VIGA 22	8211		8112	
VIGA 23	9782		9429	
VIGA 24	10183		8625	
VIGA 25	10890		8606	
VIGA 26	9110		9005	
VIGA 27	10002		10474	
VIGA 28	9012		8750	
VIGA 29	10260		9415	
VIGA 30	9210		8667	
Média	9460,5		8970,73	
Desv. Pad.	821,56		649,48	

Tab. 7.1 Comparativo entre os módulos de elasticidades real e teórico.

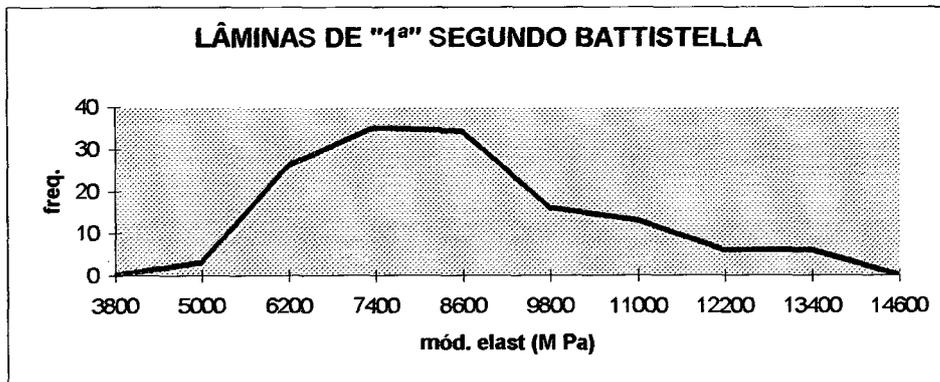
Foi feito a comparação entre médias para os dois valores acima e constatou-se que existe uma diferença significativa entre eles, porém pequena pois, encontramos $Z = 2,56$ e o $Z_{0,025}(30) = 1,96$.

VII. 4. ANÁLISE DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADES DAS LÂMINAS CLASSIFICADAS COMO "1ª" e "2ª" SEGUNDO BATTISTELLA.

VII. 4. 1 - DISTRIBUIÇÃO GRÁFICA

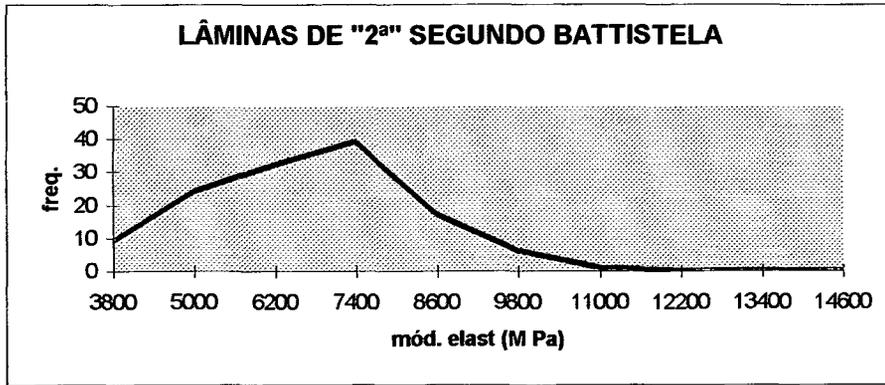
LÂMINAS DE "1ª" SEGUNDO BATTISTELLA.

CLASSES	MÉDIAS	Freq. Lâm. 1º
3200 - 4400	3800	0
4400 - 5600	5000	3
5600 - 6800	6200	26
6800 - 8000	7400	35
8000 - 9200	8600	34
9200 - 10400	9800	16
10400 - 11600	11000	13
11600 - 12800	12200	6
12800 - 14000	13400	6
14000 - 15200	14600	0



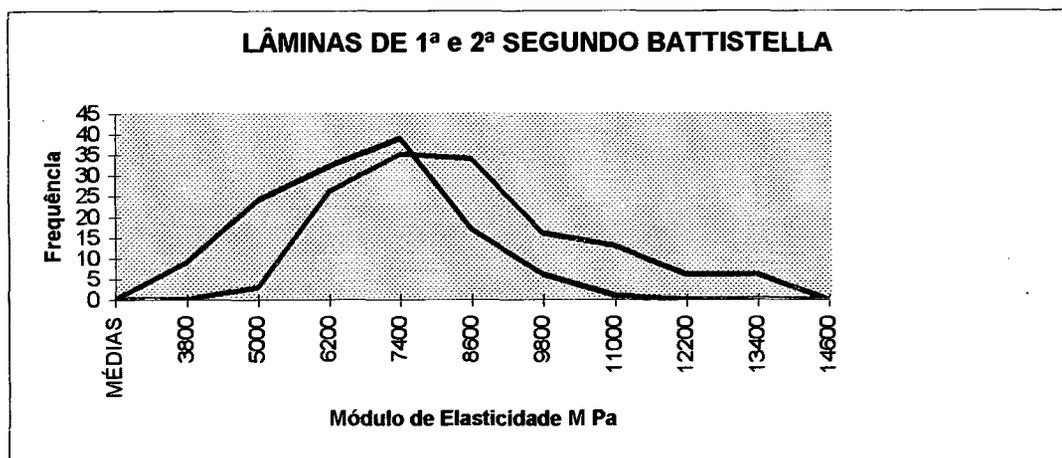
LÂMINAS DE "2ª" SEGUNDO BATTISTELLA.

CLASSES	MÉDIAS	Freq. Lâm. 2º
3200 - 4400	3800	9
4400 - 5600	5000	24
5600 - 6800	6200	32
6800 - 8000	7400	39
8000 - 9200	8600	17
9200 - 10400	9800	6
10400 - 11600	11000	1
11600 - 12800	12200	0
12800 - 14000	13400	0
14000 - 15200	14600	0



LÂMINAS DE "1ª" E "2ª" SEGUNDO BATTISTELLA.

CLASSES	MÉDIAS	Freq. Lâm. 1º	Freq. Lâm. 2º
3200 - 4400	3800	0	9
4400 - 5600	5000	3	24
5600 - 6800	6200	26	32
6800 - 8000	7400	35	39
8000 - 9200	8600	34	17
9200 - 10400	9800	16	6
10400 - 11600	11000	13	1
11600 - 12800	12200	6	0
12800 - 14000	13400	6	0
14000 - 15200	14600	0	0



VII. 4. 2 - COMPARAÇÃO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADES MÉDIOS DAS LÂMINAS DE "1ª" e de "2ª" SEGUNDO BATTISTELLA.

	Lâminas 1ª	Lâminas 2ª
E _{médio}	8537 N/mm ²	6731 N/mm ²
DP	2026 N/mm ²	1499 N/mm ²
Nº	139	128

Tab. 7.2. Módulos de elasticidades médios das lâminas de 1ª e 2ª, segundo Battistella.

Realizada a comparação entre médias à partir dos dados do quadro acima, verificou-se que existe diferença significativa entre as mesmas.

CAP. VIII. CONCLUSÕES

Após a análise dos dados obtidos à partir dos ensaios e o registro de algumas observações pode-se constatar que :

- Não verificou-se diferenças significativas na análise do módulo de elasticidade longitudinal e tampouco na análise da resistência à tração na flexão entre os diferentes subgrupos propostos. O que implica dizer que o tipo de pré-classificação adotado neste estudo não influencia significativamente nos resultados.

- Numa análise visual dos dados, observa-se que no módulo de elasticidade, as médias obtidas para os subgrupos do grupo "B" (classificado em 3 categorias) foram todas superiores às obtidas para os subgrupos do grupo "A" (classificado em 2 categorias). Entretanto, a diferença entre a média do grupo "A" e a média do grupo "B" também não são significativas. Portanto pré-classificar as lâminas em duas ou três categorias não interfere significativamente nos resultados.

- A diferença verificada entre os módulos de elasticidade teórico e real, embora significativa, não invalida o uso do primeiro módulo.

- Em termos de módulo de elasticidade longitudinal das lâminas, o método adotado pela Battistella, de classificação visual das tábuas em "1ª" e "2ª" na hora da destopagem, no caso analisado, mostrou certa eficiência, pois a comparação entre as médias dos módulos de elasticidades das lâminas de "1ª" com os módulos de elasticidades das lâminas de "2ª" apresentou diferença significativa. Porém deve-se observar que este método é subjetivo, podendo variar de acordo com a pessoa responsável pela classificação.

Pelo exposto conclui-se então que:

O MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO VISUAL DAS TÁBUAS ADOTADO PELA EMPRESA BATTISTELLA, EM 1ª E 2ª, VISANDO EFEITO ESTÉTICO CONTRIBUI TAMBÉM PARA A MELHORIA DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DA PEÇA.

A PRÉ-CLASSIFICAÇÃO DAS LÂMINAS QUANTO AO MÓDULO DE ELASTICIDADE, DEVE SER FEITA EM APENAS DUAS CATEGORIAS, VISANDO A SIMPLIFICAÇÃO DE OPERAÇÕES EM UMA LINHA DE PRODUÇÃO.

O ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DA VIGA PELO MÓDULO DE ELASTICIDADE TEÓRICO É ACEITÁVEL.

A PRÉ CLASSIFICAÇÃO VISUAL REALIZADA PELA EMPRESA BATISTELA FOI CONSIDERADA IMPORTANTE COMO PRIMEIRA TRIAGEM DO MATERIAL. PORTANTO, PARA MELHORIA DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DAS LÂMINAS, RECOMENDA-SE QUE ESTA ATIVIDADE SEJA PRELIMINAR À FASE DE CLASSIFICAÇÃO POR MÓDULOS DE ELASTICIDADES.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard methods of testing small clear specimens of timber - ASTM D143-52. Easton, 1978
- 2- ARRUDA, HUMBERTO A. C. - Influência da Cassificação das Lâminas em Vigas de MLC - Florianópolis 1995 - Dissertação de Mestrado em Construção Civil - UFSC
- 3- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Cálculo e execução de estruturas de madeira - NBR 7190. São Paulo. Brasil, ABNT, 1984
- 4- _____ - Ensaio físicos e mecânicos, método brasileiro - MB-26. Rio de Janeiro, Brasil, ABNT, 1940.
- 5- ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION - Essai de flexion statique. NF b51-008. Paris, França. AFNOR.
- 6- _____ - Essai de cisalhament. NF B5-32. Paris, França. AFNOR, 1942.
- 7- BODIG, J. e JAYNE, B. A. - Mechanic of wood and composites. New York, USA. Van Nostrand Reinold Company. 1982.
- 8- BONO, Cynara Tessoni e MACEDO, Alcebiades Negrão - Madeira Laminada Colada (MLC) no Brasil: Estado da Arte - V EBRAMEM - São Carlos, SP. 1995
- 9- BRITISH STANDARDS INSTITUTION - Methods of test for determination of certain physical and mechanical properties of timber in structural size. BS 5820. London, UK, BSI, 1979.
- 10- CAHIERS DU CENTRE TECHNIQUE DU BOIS. CTB - La fabrication des éléments de structure em bois lamellé collé. Paris, França. 1976.
- 11- CARRASCO, Edgar V. M. e BREMER, Cynara F. - Estudo Experimental dos Elementos Estruturais de Madeira Laminada Colada de Eucalipto - V EBRAMEM - São Carlos, SP - 1995 - 2º vol.
- 12- COMISSION PANAMERICA DE NORMAS TECNICAS - Madeiras: método de medicion de los defeitos. COPANT 30:3-002. COPANT, 1975.
- 13- CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION - Structural glued laminated timber. CAN/SCA - 0122- M89.1989. Canadian Standards Association, Toronto, Canadá. 1989. 17p.
- 14- _____ - Structural Glued- Laminated Timber - CAN/CSA - 0122-M89. Toronto, Canadá. 1989.
- 15- CHAHUD, Eduardo e ROCCO LAHAR, F. Antônio - O módulo de elasticidade longitudinal da madeira - III ENCONTRO BRASILEIRO DE MADEIRA E

- ESTRUTURA DE MADEIRA - EBRAMEM. São Carlos- São Paulo - 1989 - p 103-129
- 16- DATE, DEPARTAMENTO DE APOIO E DESENVOLVIMENTO TÉCNICO. Biodeterioração e Preservação de Madeiras. Montana Química AS.- São Paulo- SP- 1991
- 17- EUROCODE 5 - Common unified rules for timber structures - Bélgica, 1987.
- 18-FREITAS, Amantino Ramos de - Utilização racional da madeira na engenharia. Comunicação Técnica n. 1724, São Paulo, IPT- 1986 - 25p.
- 19- _____ - Potencial de utilização de madeiras em construção - Comunicação Técnica n 220, São Paulo, IPT- 1984 - 5p.
- 20- FURIATI, Marcos - Classificação estrutural de peças de madeira - São Carlos. 1981. 131p - Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.
- 21- FUSCO, P. Brasiliense- Os caminhos da evolução da engenharia das madeiras - III ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS EM MADEIRA - EBRAMEM. São Carlos, SP - 1989 - vol. 6 p.07-18.
- 22- HELLMEISTER, J, César - Madeiras e suas características - ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS EM MADEIRA - EBRAMEM. São Carlos, SP - 1983 - vol. 1 p. 1-37.
- 23- HELLMEISTER, J, César - Estruturas de Madeira. Anais jornada Franco Brasileira / Valorização Industrial da Madeira- Florianópolis- SC- 1996.
- 24- KOLLMANN, Franz F. P. e CÔTE, W. A. - Principles of wood science and technology. New York. 1984. vol 1 p. 79-95.
- 25- MELO, Júlio E. - Classificação mecânica de peças estruturais de madeira - São Carlos. 1984. 84p. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
- 26- MOODY, R. C. e BOHANNAN, B. - Flexural properties of glued-laminated southern pine beam with lamination positioned by visual stiffness criteria - Madison, USDA - Forest Products Laboratory - FS, 1970 . 20 p
- 27- MOOSMAYER, Heinrich - Sistema de desdobro do Pinus ssp e sua valorização no Brasil - JORNADA FRANCO-BRASILEIRA / VALORIZAÇÃO INDUSTRIAL DA MADEIRA. Florianópolis, 1986. Santa catarina. UFSC, 1986 p174-191.
- 28- NANNI, L. F. - Análise estatística de dados com o uso de técnicas computacionais. Porto Alegre, CPGEC / URGs, 1986. 178p. (caderno técnico).
- 29- NEIVA, G. Shirahama - Estudo de vigas retas de madeira laminada colada (MLC). IV ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS EM MADEIRA - EBRAMEM. São Carlos, SP - 1992 vol 4, p 1-13.

- 30- PEREIRA, João Costa- A Madeira Na Arquitetura - III EBRAMEM - São Carlos, SP - 1989 Vol. 1.
- 31- PERES E KOWASOE - Sistema Construtivo em Madeira - Tecnologia de Edificação - IPT/PINI - SP - 1988.
- 32- PETRUCCI, Eládio G. R. -Materiais de Construção - Editora Globo - 2ª Edição - RS- 1976.
- 33- PFEIL, Walter - Estruturas de Madeira - Livro Técnico e Científico Editora SA - 5ª Edição - RJ -1994.
- 34- PRUDENTE DE FONTES, Paulo - O Governo e a Floresta no Brasil - Anais jornada Franco Brasileira / Valorização Industrial da Madeira- Florianópolis - SC- 1986.
- 35- ROCCO LAHR, F. Antônio - Verificação do módulo de elasticidade longitudinal aparente com a relação vão livre - altura de peças de madeira - I ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS EM MADEIRA - EBRAMEM. São Carlos, SP -1983 vol 1 16p.
- 36- _____ - Contribuição ao estudo de vigas retas de madeira laminada-colada. São Carlos, SP - 1991. Relatório de iniciação científica. 32p.
- 37- SZUCS, C. Alberto - A madeira laminada na cobertura de residências - I ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS EM MADEIRA - EBRAMEM- São Carlos, SP. - 1983 vol.3 p.01-28.
- 38- _____ - Étude d'un assemblage par pièce de coin im bás lamillé-collé reforcé par fibras de verre - Metz, França. LPF 1991 199p.
- 39- _____ - Aplicação estrutural da madeira sob a técnica do laminado-colado. Florianópolis, SC. Departamento de Engenharia Civil, UFSC- 1992 13p.
- 40- _____ - A madeira no mundo dos compósitos - Dpto de Engenharia Civil - UFSC - Florianópolis - março - 1993.
- 41- ZANDER, J. R. Torres - Cálculo e execução de estruturas de madeira laminada. São Carlos. 1979. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

ANEXOS

ANEXO 1

RELAÇÃO DAS LÂMINAS EM ORDEM DE GRANDEZA CRESCENTE SEGUNDO O MÓDULO DE ELASTICIDADE - DIVISÃO EM 5 LOTES.

A1=1 A2=2 B1=3 B2=4 B3=5

Nº lâmina	E médio (kgf/cm ²)	Grupo		E médio (kgf/cm ²)	Grupo
			215	-74394,75	2
			119	-74801,01	3
14	-		57	-74838,39	4
15	-		67	-74838,39	5
68	-		60	-75088,13	1
73	-		120	-75202,30	3
225	-		41	-75225,21	4
230	-		176	-75365,20	5
9	-	1	125	-75429,99	1
269	-34121,50	2	31	-75861,02	2
232	-35151,82	3	133	-75892,01	4
257	-39952,01	4	224	-75923,00	5
1	-41020,95	5	154	-75923,00	1
252	-41729,48	2	195	-75923,00	2
5	-42462,32	3	131	-75951,48	3
243	-42847,08	4	23	-76058,58	5
257	-42847,08	5	248	-76058,58	1
78	-44464,38	1	203	-76418,82	2
13	-45216,01	3	77	-77041,42	3
272	-46595,67	4	89	-77143,19	4
254	-47916,20	5	208	-77143,19	1
75	-49747,32	1	45	-77557,44	2
48	-51002,69	2	136	-77968,27	3
24	-51570,91	4	216	-78092,23	4
25	-51821,20	5	179	-78092,23	5
270	-52432,44	1	130	-78196,82	2
3	-52736,56	2	228	-78196,82	3
39	-52842,41	3	193	-78273,29	4
123	-52904,42	5	175	-78526,07	5
82	-53187,82	1	145	-78754,62	1
4	-53913,81	2	7	-78966,44	3
29	-54039,37	3	231	-79312,42	4
261	-54209,02	4	204	-79346,23	5
264	-54444,98	1	50	-79385,82	1
84	-54479,95	2	58	-79385,82	2
19	-54549,97	3	140	-79448,00	4
44	-55069,36	4	16	-79857,92	5
116	-55256,26	5	47	-79974,81	1
35	-55315,33	2	101	-80356,26	2
37	-55315,33	3	20	-80369,92	3
255	-55315,33	4	201	-80471,62	5
236	-55480,80	5	220	-80532,61	1
90	-55609,56	1	100	-80532,61	2
226	-55928,59	3	241	-80532,61	3
173	-56210,81	4	21	-80619,67	4
87	-56866,73	5	168	-80828,37	1
122	-56891,53	1	139	-81124,22	2
249	-57173,75	2	91	-81124,22	3
129	-57467,98	4	42	-81739,14	4
268	-57775,00	5	162	-81853,52	5

ANEXO 1

11	-58085,54	1	79	-82521,70	2
69	-58376,26	2	256	-82661,06	3
95	-58376,26	3	128	-82805,37	4
273	-58430,92	5	30	-82823,76	5
238	-59032,17	1	92	-82972,99	1
253	-59032,17	2	10	-83135,69	3
244	-59086,83	3	182	-84158,32	4
55	-59149,30	4	146	-84355,88	5
18	-59297,50	1	74	-85025,01	1
152	-59688,08	2	227	-85187,71	2
202	-59688,08	3	151	-85307,73	4
246	-59688,08	4	85	-85470,42	5
221	-60344,00	5	6	-85562,13	1
59	-60482,15	2	213	-85738,76	2
40	-60657,90	3	180	-85738,76	3
94	-60694,83	4	191	-85738,76	5
127	-60930,04	5	199	-85779,31	1
49	-61045,67	1	70	-85898,41	2
262	-61062,38	3	112	-86099,01	3
207	-61257,76	4	148	-86407,90	4
239	-61852,60	5	197	-86407,90	1
242	-61852,60	1	212	-87077,03	2
98	-61868,19	2	66	-87198,22	3
62	-62705,28	4	143	-87319,20	4
88	-62849,98	5	43	-87359,75	5
135	-62921,81	1	178	-88767,93	2
222	-62921,81	2	34	-89142,78	3
27	-62956,45	3	106	-89325,73	4
171	-63217,52	5	105	-89465,05	5
138	-63289,36	1	209	-89568,77	1
235	-63361,20	2	190	-90084,96	3
260	-64079,58	3	233	-90282,52	4
164	-64414,82	4	251	-90282,52	5
258	-64549,13	1	161	-91610,90	1
263	-64797,96	2	115	-91638,15	2
64	-65205,04	3	104	-91665,40	4
71	-65223,46	4	108	-91665,40	5
8	-65341,43	5	165	-91665,40	1
214	-65511,64	2	188	-91665,40	2
141	-65555,88	3	196	-92428,37	3
237	-65588,18	4	142	-92543,42	5
97	-65689,29	5	51	-93245,84	1
271	-65923,42	1	159	-94251,95	2
28	-66078,44	3	181	-94826,28	3
81	-66089,16	4	189	-94826,28	4
158	-66378,39	5	65	-95069,42	1
63	-66378,39	1	147	-95069,42	2
247	-66713,64	2	156	-95814,05	3
153	-67085,26	4	72	-95947,44	4
56	-67251,79	5	118	-96710,41	5
96	-67721,79	1	80	-99949,79	2
274	-67769,87	2	183	-100600,96	3
2	-68003,99	3	99	-100600,96	4
186	-68125,19	5	132	-100600,96	5
22	-68125,19	1	245	-102416,54	1
217	-68149,09	2	137	-102424,54	3

ANEXO 1

266	-68222,24	3	200	-102424,54	4
113	-68232,27	4	167	-102500,18	5
83	-68550,70	1	149	-102728,47	1
240	-69095,64	2	144	-103302,56	2
229	-69452,46	3	54	-103694,55	4
76	-69479,41	4	198	-104385,38	5
219	-69521,14	5	169	-105269,33	1
17	-69521,14	2	93	-107066,38	2
111	-69570,26	3	205	-107783,66	3
174	-69775,51	4	61	-108503,15	5
259	-70149,26	5	218	-108889,97	1
36	-70344,10	1	177	-108889,97	2
52	-70491,59	3	150	-109193,90	3
166	-70652,36	4	114	-109462,51	4
117	-70842,44	5	187	-110630,66	1
234	-70939,48	1	192	-110630,66	2
33	-71150,70	2	170	-111017,48	3
32	-71263,38	4	110	-111708,23	4
38	-71314,55	5	184	-114034,68	5
46	-72449,60	1	210	-116861,83	2
86	-72550,91	2	155	-121190,86	3
53	-72897,50	3	109	-123253,90	4
160	-73369,61	5	107	-123705,19	5
157	-73401,62	1	102	-123772,24	1
134	-73424,31	2	211	-127441,15	3
12	-73753,77	3	121	-129098,25	4
267	-73867,94	4	206	-131612,01	5
223	-74280,58	1	103	-133427,28	1
172	-74280,58	2	185	-136312,77	2
265	-74328,90	3	163	-141724,58	4
124	-74340,05	4	126	-144753,75	5
194	-74340,05	5	250	-228636,69	1

SUBGRUPO A1

ANEXO 2

Nº lâmina	E (kgf/cm ²)	Grupo	Categoria	E Médio (kgf/cm ²)	Des. Padrão (kgf/cm ²)	Coef. Var.
9	-34075,71	A1	2 ^a			
78	-44464,38	A1	2 ^a			
75	-49747,32	A1	2 ^a			
24	-51570,91	A1	2 ^a			
270	-52432,44	A1	2 ^a			
82	-53187,82	A1	2 ^a			
264	-54444,98	A1	2 ^a			
90	-55609,56	A1	2 ^a			
122	-56891,53	A1	2 ^a			
11	-58085,54	A1	2 ^a			
238	-59032,17	A1	2 ^a			
18	-59297,50	A1	2 ^a			
49	-61045,67	A1	2 ^a			
242	-61852,60	A1	2 ^a			
135	-62921,81	A1	2 ^a			
138	-63289,36	A1	2 ^a			
258	-64549,13	A1	2 ^a			
271	-65923,42	A1	2 ^a			
63	-66378,39	A1	2 ^a			
96	-67721,79	A1	2 ^a			
22	-68125,19	A1	2 ^a			
83	-68550,70	A1	2 ^a			
36	-70344,10	A1	2 ^a			
234	-70939,48	A1	2 ^a			
46	-72449,60	A1	2 ^a			
157	-73401,62	A1	2 ^a			
223	-74280,58	A1	2 ^a			
60	-75088,13	A1	2 ^a			
125	-75429,99	A1	2 ^a			
154	-75923,00	A1	2 ^a			
248	-76058,58	A1	2 ^a			
208	-77143,19	A1	2 ^a			
145	-78754,62	A1	2 ^a			
50	-79385,82	A1	2 ^a			
47	-79974,81	A1	2 ^a			
220	-80532,61	A1	2 ^a			
168	-80828,37	A1	2 ^a			
92	-82972,99	A1	2 ^a			
74	-85025,01	A1	2 ^a			
6	-85562,13	A1	2 ^a			
199	-85779,31	A1	2 ^a	-67294,44	12130,44	-0,18
197	-86407,90	A1	1 ^a			
209	-89568,77	A1	1 ^a			
161	-91610,90	A1	1 ^a			
165	-91665,40	A1	1 ^a			
51	-93245,84	A1	1 ^a			
65	-95069,42	A1	1 ^a			
245	-102416,54	A1	1 ^a			
149	-102728,47	A1	1 ^a			
169	-105269,33	A1	1 ^a			
218	-108889,97	A1	1 ^a			
187	-110630,66	A1	1 ^a			
102	-123772,24	A1	1 ^a			
103	-133427,28	A1	1 ^a	-102669,4396	13923,26	-0,14
250	-228636,69	A1	fora			
	Do total dados			-75810,64	19697,66	-0,26

ANEXO 2

SUBGRUPO A2

Nº lâmina	E (kgf/cm2)	Grupo	Categoria	E Médio (kgf/cm2)	Desv. Padrão (kgf/cm2)	Coef. Var.
269	-34121,50	A2	2ª			
252	-41729,48	A2	2ª			
48	-51002,69	A2	2ª			
3	-52736,56	A2	2ª			
4	-53913,81	A2	2ª			
84	-54479,95	A2	2ª			
35	-55315,33	A2	2ª			
249	-57173,75	A2	2ª			
69	-58376,26	A2	2ª			
253	-59032,17	A2	2ª			
152	-59688,08	A2	2ª			
59	-60482,15	A2	2ª			
98	-61868,19	A2	2ª			
222	-62921,81	A2	2ª			
235	-63361,20	A2	2ª			
263	-64797,96	A2	2ª			
214	-65511,64	A2	2ª			
247	-66713,64	A2	2ª			
274	-67769,87	A2	2ª			
217	-68149,09	A2	2ª			
240	-69095,64	A2	2ª			
17	-69521,14	A2	2ª			
33	-71150,70	A2	2ª			
86	-72550,91	A2	2ª			
134	-73424,31	A2	2ª			
172	-74280,58	A2	2ª			
215	-74394,75	A2	2ª	-61613,45	9733,88	-0,16
31	-75861,02	A2	1ª			
195	-75923,00	A2	1ª			
203	-76418,82	A2	1ª			
45	-77557,44	A2	1ª			
130	-78196,82	A2	1ª			
58	-79385,82	A2	1ª			
101	-80356,26	A2	1ª			
100	-80532,61	A2	1ª			
139	-81124,22	A2	1ª			
79	-82521,70	A2	1ª			
227	-85187,71	A2	1ª			
213	-85738,76	A2	1ª			
70	-85898,41	A2	1ª			
212	-87077,03	A2	1ª			
178	-88767,93	A2	1ª			
115	-91638,15	A2	1ª			
188	-91665,40	A2	1ª			
159	-94251,95	A2	1ª			
147	-95069,42	A2	1ª			
80	-99949,79	A2	1ª			
144	-103302,56	A2	1ª			
93	-107066,38	A2	1ª			
177	-108889,97	A2	1ª			
192	-110630,66	A2	1ª			
210	-116861,83	A2	1ª			
185	-136312,77	A2	1ª	-91391,79	14953,03	-0,16
Total dados				-76221,69	19512,59	-0,26

ANEXO 2

SUBGRUPO B1

Nº lâmina	E (Kgf/cm2)	Grupo	Categoria	E Médio (kgf/cm2)	Desv. Padrão (kgf/cm2)	Coef. Var.
232	-35151,82	B1	3 ^a			
5	-42462,32	B1	3 ^a			
13	-45216,01	B1	3 ^a			
39	-52842,41	B1	3 ^a			
29	-54039,37	B1	3 ^a			
19	-54549,97	B1	3 ^a			
37	-55315,33	B1	3 ^a			
226	-55928,59	B1	3 ^a			
95	-58376,26	B1	3 ^a			
244	-59086,83	B1	3 ^a			
202	-59688,08	B1	3 ^a			
40	-60657,90	B1	3 ^a			
262	-61062,38	B1	3 ^a			
27	-62956,45	B1	3 ^a	-54095,26	7962,90	-0,15
260	-64079,58	B1	2 ^a			
64	-65205,04	B1	2 ^a			
141	-65555,88	B1	2 ^a			
28	-66078,44	B1	2 ^a			
2	-68003,99	B1	2 ^a			
266	-68222,24	B1	2 ^a			
229	-69452,46	B1	2 ^a			
111	-69570,26	B1	2 ^a			
52	-70491,59	B1	2 ^a			
53	-72897,50	B1	2 ^a			
12	-73753,77	B1	2 ^a			
265	-74328,90	B1	2 ^a			
119	-74801,01	B1	2 ^a	-69418,51	3661,99	-0,05
120	-75202,30	B1	1 ^a			
131	-75951,48	B1	1 ^a			
77	-77041,42	B1	1 ^a			
136	-77968,27	B1	1 ^a			
228	-78196,82	B1	1 ^a			
7	-78966,44	B1	1 ^a			
20	-80369,92	B1	1 ^a			
241	-80532,61	B1	1 ^a			
91	-81124,22	B1	1 ^a			
256	-82661,06	B1	1 ^a			
10	-83135,69	B1	1 ^a			
180	-85738,76	B1	1 ^a			
112	-86099,01	B1	1 ^a			
66	-87198,22	B1	1 ^a			
34	-89142,78	B1	1 ^a			
190	-90084,96	B1	1 ^a			
196	-92428,37	B1	1 ^a			
181	-94826,28	B1	1 ^a			
156	-95814,05	B1	1 ^a			
183	-100600,96	B1	1 ^a			
137	-102424,54	B1	1 ^a			
205	-107783,66	B1	1 ^a			
150	-109193,90	B1	1 ^a			
170	-111017,48	B1	1 ^a			
155	-121190,86	B1	1 ^a			
211	-127441,15	B1	1 ^a	-91235,97	14401,81	-0,16
Todos dados				-76073,77	19358,10999	-0,25

ANEXO 2

SUBGRUPO B2

Nº lâmina	E (kgf/cm ²)	Grupo	Categoria	E Médio (kgf/cm ²)	Des. Padrão (kgf/cm ²)	Coef. Var.
257	-39952,01	B2	3 ^a			
243	-42847,08	B2	3 ^a			
272	-46595,67	B2	3 ^a			
261	-54209,02	B2	3 ^a			
44	-55069,36	B2	3 ^a			
255	-55315,33	B2	3 ^a			
173	-56210,81	B2	3 ^a			
129	-57467,98	B2	3 ^a			
55	-59149,30	B2	3 ^a			
246	-59688,08	B2	3 ^a			
94	-60694,83	B2	3 ^a			
207	-61257,76	B2	3 ^a			
62	-62705,28	B2	3 ^a	-54704,81	7199,99	-0,13
164	-64414,82	B2	2 ^a			
71	-65223,46	B2	2 ^a			
237	-65588,18	B2	2 ^a			
81	-66089,16	B2	2 ^a			
153	-67085,26	B2	2 ^a			
113	-68232,27	B2	2 ^a			
76	-69479,41	B2	2 ^a			
174	-69775,51	B2	2 ^a			
166	-70652,36	B2	2 ^a			
32	-71263,38	B2	2 ^a			
267	-73867,94	B2	2 ^a			
124	-74340,05	B2	2 ^a			
57	-74838,39	B2	2 ^a			
41	-75225,21	B2	2 ^a			
133	-75892,01	B2	2 ^a			
89	-77143,19	B2	2 ^a			
216	-78092,23	B2	2 ^a			
193	-78273,29	B2	2 ^a			
231	-79312,42	B2	2 ^a			
140	-79448,00	B2	2 ^a			
21	-80619,67	B2	2 ^a			
42	-81739,14	B2	2 ^a			
128	-82805,37	B2	2 ^a			
182	-84158,32	B2	2 ^a			
151	-85307,73	B2	2 ^a			
148	-86407,90	B2	2 ^a	-74818,26	6626,80	-0,09
143	-87319,20	B2	1 ^a			
106	-89325,73	B2	1 ^a			
233	-90282,52	B2	1 ^a			
104	-91665,40	B2	1 ^a			
189	-94826,28	B2	1 ^a			
72	-95947,44	B2	1 ^a			
99	-100600,96	B2	1 ^a			
200	-102424,54	B2	1 ^a			
54	-103694,55	B2	1 ^a			
114	-109462,51	B2	1 ^a			
110	-111708,23	B2	1 ^a			
109	-123253,90	B2	1 ^a			
121	-129098,25	B2	1 ^a	-102277,65	13065,07	-0,13
163	141724,58	B2	fora			
Todos dados				-76654,74	19125,14	-0,25

ANEXO 2

SUBGRUPO B3

Nº lâmina	E (kgf/cm ²)	Grupo	Categoria	E Médio (kgf/cm ²)	Desv. Padrão (kgf/cm ²)	Coef. Var.
1	-41020,95	B3	3 ^a			
257	-42847,08	B3	3 ^a			
254	-47916,20	B3	3 ^a			
25	-51821,20	B3	3 ^a			
123	-52904,42	B3	3 ^a			
116	-55256,26	B3	3 ^a			
236	-55480,80	B3	3 ^a			
87	-56866,73	B3	3 ^a			
268	-57775,00	B3	3 ^a			
273	-58430,92	B3	3 ^a			
221	-60344,00	B3	3 ^a			
127	-60930,04	B3	3 ^a			
239	-61852,60	B3	3 ^a			
88	-62849,98	B3	3 ^a			
171	-63217,52	B3	3 ^a			
8	-65341,43	B3	3 ^a			
97	-65689,29	B3	3 ^a			
158	-66378,39	B3	3 ^a			
56	-67251,79	B3	3 ^a			
186	-68125,19	B3	3 ^a			
219	-69521,14	B3	3 ^a			
259	-70149,26	B3	3 ^a			
117	-70842,44	B3	3 ^a			
38	-71314,55	B3	3 ^a			
160	-73369,61	B3	3 ^a			
194	-74340,05	B3	3 ^a			
67	-74838,39	B3	3 ^a			
176	-75365,20	B3	3 ^a	-62215,73	9355,82	-0,15
224	-75923,00	B3	2 ^a			
23	-76058,58	B3	2 ^a			
179	-78092,23	B3	2 ^a			
175	-78526,07	B3	2 ^a			
204	-79346,23	B3	2 ^a			
16	-79857,92	B3	2 ^a			
201	-80471,62	B3	2 ^a			
162	-81853,52	B3	2 ^a			
30	-82823,76	B3	2 ^a			
146	-84355,88	B3	2 ^a			
85	-85470,42	B3	2 ^a			
191	-85738,76	B3	2 ^a			
43	-87359,75	B3	2 ^a	-81221,36	3726,64	-0,05
105	-89465,05	B3	1 ^a			
251	-90282,52	B3	1 ^a			
108	-91665,40	B3	1 ^a			
142	-92543,42	B3	1 ^a			
118	-96710,41	B3	1 ^a			
132	-100600,96	B3	1 ^a			
167	-102500,18	B3	1 ^a			
198	-104385,38	B3	1 ^a			
61	-108503,15	B3	1 ^a			
184	-114034,68	B3	1 ^a			
107	-123705,19	B3	1 ^a			
206	-131612,01	B3	1 ^a	-103834,03	13555,54	-0,131
126	-144753,75	B3	fora			
Todos Dados				-76300,50	19373,79	-0,25

ANEXO 3

Módulos de Elasticidade Médio e Desvio Padrão de cada grupo e suas categorias

	E Médio	DP	CV
	M Pa	M Pa	%
Grupo A1	7581	1970	26,00
Cat. 1	10267	1392	13,50
Cat. 2	6729	1213	18,00

	E Médio	DP	CV
	M Pa	M Pa	%
Grupo A2	7622	1951	25,60
Cat. 1	9139	1495	16,40
Cat. 2	6161	973	15,80

	E Médio	DP	CV
	M Pa	M Pa	%
Grupo B1	7607	1936	25,40
Cat. 1	9124	1440	15,80
Cat. 2	6942	366	5,30
Cat. 3	5410	796	14,70

	E Médio	DP	CV
	M Pa	M Pa	%
Grupo B2	7665	1912	24,90
Cat. 1	10228	1306	12,80
Cat. 2	7482	663	8,90
Cat. 3	5470	720	13,20

	E Médio	DP	CV
	M Pa	M Pa	%
Grupo B3	7630	1937	25,40
Cat. 1	10383	1355	13,10
Cat. 2	8122	373	4,60
Cat. 3	6222	936	15,00

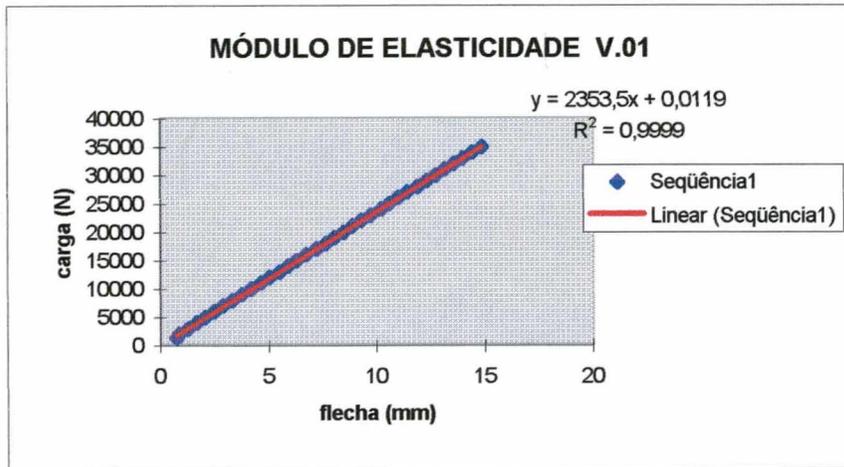
ANEXO 4

CÁLCULO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADES

Viga 01

Rel.1 2ªleit.	flecha 1 (mm)	Rel.2 2ªleit.	flecha 2 (mm)	flec. méd. (mm)	P (N)	E (N/mm2)
43,86		8,36			0	
44,34	0,48	8,8	0,44	0,78694	1350	5455,31
44,43	0,57	8,95	0,59	0,90694	2000	7012,59
44,82	0,96	9,35	0,99	1,30194	3000	7327,53
45,22	1,36	9,75	1,39	1,70194	4000	7473,82
45,63	1,77	10,14	1,78	2,10194	5000	7564,44
46,04	2,18	10,55	2,19	2,51194	6000	7595,72
46,46	2,6	10,96	2,60	2,92694	7000	7605,21
46,88	3,02	11,39	3,03	3,35194	8000	7589,63
47,29	3,43	11,8	3,44	3,76194	9000	7607,78
47,72	3,86	12,25	3,89	4,20194	10000	7567,93
48,2	4,34	12,7	4,34	4,66694	11000	7495,28
48,63	4,77	13,1	4,74	5,08194	12000	7508,94
49,04	5,18	13,54	5,18	5,50694	13000	7506,89
49,47	5,61	13,91	5,55	5,90694	14000	7536,90
49,88	6,02	14,34	5,98	6,32694	15000	7539,19
50,33	6,47	14,75	6,39	6,75694	16000	7530,04
50,89	7,03	15,14	6,78	7,23194	17000	7475,17
51,33	7,47	15,58	7,22	7,67194	18000	7460,96
51,73	7,87	15,97	7,61	8,06694	19000	7489,83
52,17	8,31	16,41	8,05	8,50694	20000	7476,25
52,58	8,72	16,8	8,44	8,90694	21000	7497,52
52,99	9,13	17,24	8,88	9,33194	22000	7496,83
53,42	9,56	17,68	9,32	9,76694	23000	7488,53
53,86	10	18,18	9,82	10,23694	24000	7455,35
54,3	10,44	18,52	10,16	10,62694	25000	7480,99
54,72	10,86	18,92	10,56	11,03694	26000	7491,21
55,13	11,27	19,36	11,00	11,46194	27000	7490,88
55,63	11,77	19,78	11,42	11,92194	28000	7468,58
56,04	12,18	20,2	11,84	12,33694	29000	7475,11
56,46	12,6	20,63	12,27	12,76194	30000	7475,35
56,88	13,02	21,05	12,69	13,18194	31000	7478,41
57,32	13,46	21,5	13,14	13,62694	32000	7467,56
57,71	13,85	21,89	13,53	14,01694	33000	7486,66
58,13	14,27	22,35	13,99	14,45694	34000	7478,76
58,56	14,7	22,78	14,42	14,88694	35000	7476,35
					Média	7429,36
					Desv. Pad.	99,33

ANEXO 4



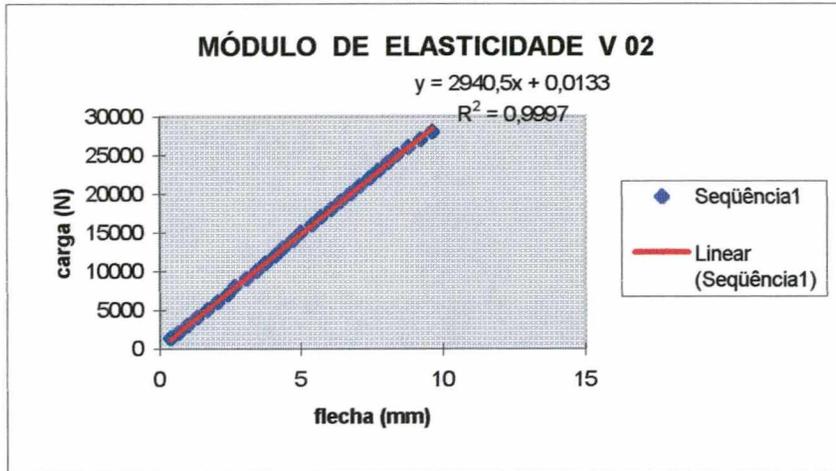
ANEXO 4

CÁLCULO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADES

VIGA 02

Rel.1 leit.1	flecha 1 (mm)	Rel. 2 leit.1	flecha 2 (mm)	flec. méd. (mm)	P (N)	E(N/mm2)
42,26		4,82			0	
42,66	0,4	5,34	0,52	0,40246	1350	10666,90
42,94	0,68	5,62	0,80	0,68246	2000	9319,23
43,29	1,03	5,94	1,12	1,01746	3000	9376,29
43,66	1,4	6,26	1,44	1,36246	4000	9336,05
44,02	1,76	6,63	1,81	1,72746	5000	9204,27
44,39	2,13	6,96	2,14	2,07746	6000	9184,29
44,75	2,49	7,32	2,50	2,43746	7000	9132,46
45,1	2,84	7,46	2,64	2,68246	8000	9483,83
45,39	3,13	8	3,18	3,09746	9000	9239,83
45,73	3,47	8,39	3,57	3,46246	10000	9184,22
46,03	3,77	8,71	3,89	3,77246	11000	9272,46
46,38	4,12	9,06	4,24	4,12246	12000	9256,61
46,61	4,35	9,4	4,58	4,40746	13000	9379,55
46,94	4,68	9,73	4,91	4,73746	14000	9397,44
47,2	4,94	10,08	5,26	5,04246	15000	9459,67
47,59	5,33	10,45	5,63	5,42246	16000	9383,20
47,91	5,65	10,78	5,96	5,74746	17000	9405,89
48,25	5,99	11,15	6,33	6,10246	18000	9379,82
48,58	6,32	11,51	6,69	6,44746	19000	9371,13
48,91	6,65	11,86	7,04	6,78746	20000	9370,22
49,22	6,96	12,22	7,40	7,12246	21000	9375,97
49,55	7,29	12,56	7,74	7,45746	22000	9381,21
49,86	7,6	12,89	8,07	7,77746	23000	9404,10
50,1	7,84	13,3	8,48	8,10246	24000	9419,36
50,32	8,06	13,72	8,90	8,42246	25000	9439,05
50,68	8,42	14,18	9,36	8,83246	26000	9360,93
51,16	8,9	14,57	9,75	9,26746	27000	9264,67
51,55	9,29	14,98	10,16	9,66746	28000	9210,28
ROMPEU		ROMPEU			29000	
					30000	
					31000	
					32000	
					33000	
					34000	
					35000	
					E Médio	9380,68
					Desv. Pad.	268,28

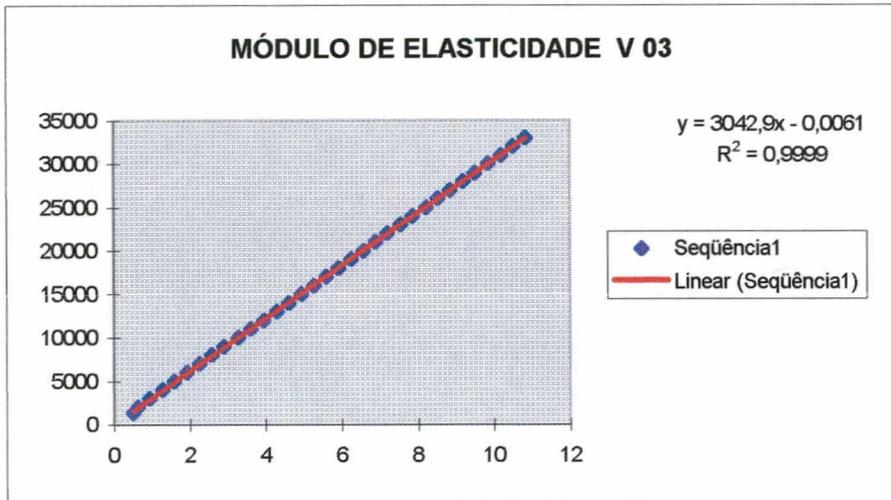
ANEXO 4



CÁLCULO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADES

VIGA 03

Rel.1 leit.2	flecha 1 (mm)	Rel.2 leit.2	flecha 2 (mm)	flec. méd. (mm)	P (N)	E(N/mm ²)
42,77		7,27			0	
43,15	0,38	7,72	0,45	0,51645	1350	8312,52
43,18	0,41	7,95	0,68	0,64645	2000	9838,35
43,48	0,71	8,26	0,99	0,95145	3000	10026,80
43,81	1,04	8,63	1,36	1,30145	4000	9773,71
44,12	1,35	8,93	1,66	1,60645	5000	9897,60
44,45	1,68	9,27	2	1,94145	6000	9827,71
44,78	2,01	9,6	2,33	2,27145	7000	9799,91
45,11	2,34	9,93	2,66	2,60145	8000	9779,16
45,43	2,66	10,25	2,98	2,92145	9000	9796,51
45,81	3,04	10,62	3,35	3,29645	10000	9646,74
46,15	3,38	10,93	3,66	3,62145	11000	9659,11
46,48	3,71	11,28	4,01	3,96145	12000	9632,84
46,82	4,05	11,64	4,37	4,31145	13000	9588,42
47,13	4,36	11,93	4,66	4,61145	14000	9654,23
47,47	4,7	12,28	5,01	4,95645	15000	9623,82
47,78	5,01	12,64	5,37	5,29145	16000	9615,51
48,11	5,34	12,96	5,69	5,61645	17000	9625,30
48,43	5,66	13,27	6	5,93145	18000	9650,25
48,76	5,99	13,63	6,36	6,27645	19000	9626,46
49,08	6,31	13,93	6,66	6,58645	20000	9656,19
49,41	6,64	14,25	6,98	6,91145	21000	9662,23
49,7	6,93	14,58	7,31	7,22145	22000	9687,81
50,07	7,3	14,9	7,63	7,56645	23000	9666,36
50,37	7,6	15,2	7,93	7,86645	24000	9701,96
50,72	7,95	15,55	8,28	8,21645	25000	9675,71
51,03	8,26	15,85	8,58	8,52145	26000	9702,57
51,36	8,59	16,18	8,91	8,85145	27000	9700,11
51,71	8,94	16,52	9,25	9,19645	28000	9682,00
52,03	9,26	16,83	9,56	9,51145	29000	9695,68
52,39	9,62	17,16	9,89	9,85645	30000	9678,94
52,71	9,94	17,51	10,24	10,19145	31000	9672,81
53,04	10,27	17,82	10,55	10,51145	32000	9680,87
53,37	10,6	18,14	10,87	10,83645	33000	9683,98
ROMPEU		ROMPEU			34000	
					35000	
					E Médio	9664,31
					Desv. Pad.	259,37

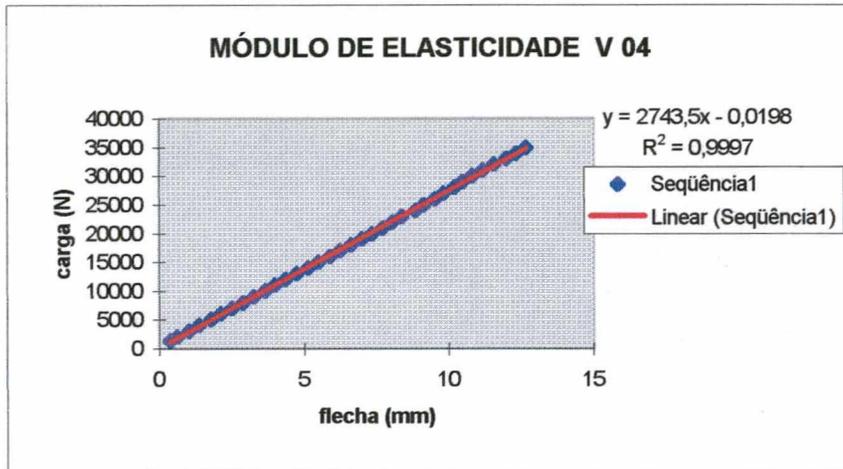


ANEXO 4

CÁLCULO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADES

VIGA 04

Rel.1 leit.2	flecha 1 (mm)	Rel.2 leit.2	flecha 2 (mm)	flec. méd. (mm)	P (N)	E (N/mm ²)
0,29		6,46			0	
0,84	0,55	6,91	0,45	0,40093	1350	10707,60
1,09	0,8	7,14	0,68	0,64093	2000	9923,08
1,46	1,17	7,55	1,09	1,03093	3000	9253,78
1,84	1,55	7,91	1,45	1,40093	4000	9079,68
2,24	1,95	8,32	1,86	1,80593	5000	8804,33
2,58	2,29	8,67	2,21	2,15093	6000	8870,58
2,96	2,67	9,06	2,60	2,53593	7000	8777,84
3,35	3,06	9,45	2,99	2,92593	8000	8694,67
3,71	3,42	9,81	3,35	3,28593	9000	8709,86
4,1	3,81	10,2	3,74	3,67593	10000	8650,87
4,43	4,14	10,53	4,07	4,00593	11000	8732,05
4,79	4,5	10,9	4,44	4,37093	12000	8730,41
5,18	4,89	11,29	4,83	4,76093	13000	8683,18
5,59	5,3	11,67	5,21	5,15593	14000	8634,72
5,95	5,66	12,03	5,57	5,51593	15000	8647,68
6,35	6,06	12,42	5,96	5,91093	16000	8607,78
6,73	6,44	12,75	6,29	6,26593	17000	8627,61
7,1	6,81	13,12	6,66	6,63593	18000	8625,77
7,5	7,21	13,5	7,04	7,02593	19000	8599,57
7,83	7,54	13,81	7,35	7,34593	20000	8657,86
8,21	7,92	14,19	7,73	7,72593	21000	8643,62
8,55	8,26	14,51	8,05	8,05593	22000	8684,29
8,9	8,61	14,86	8,40	8,40593	23000	8701,00
9,36	9,07	15,33	8,87	8,87093	24000	8603,38
9,6	9,31	15,64	9,18	9,14593	25000	8692,39
9,99	9,7	16	9,54	9,52093	26000	8684,03
10,26	9,97	16,35	9,89	9,83093	27000	8733,66
10,61	10,32	16,74	10,28	10,20093	28000	8728,62
10,86	10,57	17,07	10,61	10,49093	29000	8790,45
11,22	10,93	17,41	10,95	10,84093	30000	8799,98
11,54	11,25	17,77	11,31	11,18093	31000	8816,80
11,93	11,64	18,18	11,72	11,58093	32000	8786,86
12,35	12,06	18,62	12,16	12,01093	33000	8737,04
12,67	12,38	18,96	12,50	12,34093	34000	8761,09
13,03	12,74	19,33	12,87	12,70593	35000	8759,69
					E Médio	8826,91
					Desv. Pad.	404,59



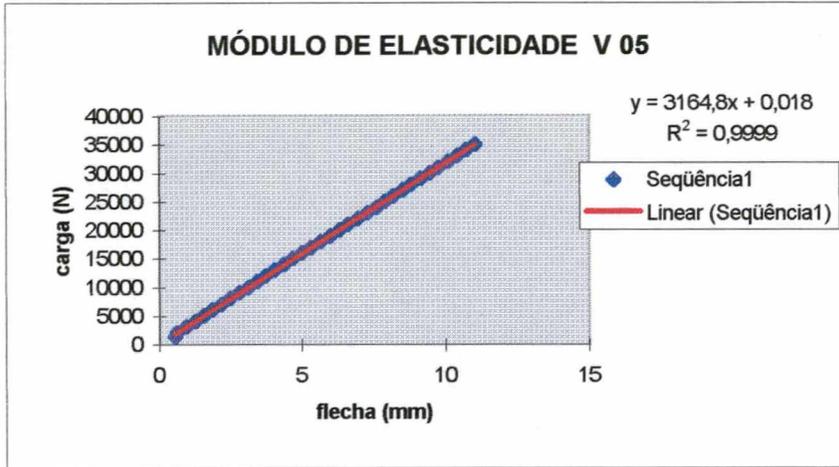
ANEXO 4

CÁLCULO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADES

VIGA 05

Rel.1 leit.2	flecha 1 (mm)	Rel.2 leit.2	flecha 2 (mm)	flec. méd. (mm)	P (N)	E (N/mm ²)
44,35		8,28			0	
44,69	0,34	8,66	0,38	0,58134	1350	7384,66
44,8	0,45	8,69	0,41	0,65134	2000	9764,49
45,11	0,76	8,99	0,71	0,95634	3000	9975,53
45,42	1,07	9,3	1,02	1,26634	4000	10044,70
45,75	1,4	9,61	1,33	1,58634	5000	10023,07
46,05	1,7	9,91	1,63	1,88634	6000	10114,83
46,37	2,02	10,21	1,93	2,19634	7000	10135,04
46,67	2,32	10,52	2,24	2,50134	8000	10170,55
46,99	2,64	10,83	2,55	2,81634	9000	10162,13
47,3	2,95	11,14	2,86	3,12634	10000	10171,64
47,62	3,27	11,46	3,18	3,44634	11000	10149,90
47,94	3,59	11,72	3,44	3,73634	12000	10213,20
48,24	3,89	12,05	3,77	4,05134	13000	10204,03
48,57	4,22	12,38	4,10	4,38134	14000	10161,27
48,9	4,55	12,71	4,43	4,71134	15000	10124,51
49,24	4,89	13,03	4,75	5,04134	16000	10092,55
49,56	5,21	13,34	5,06	5,35634	17000	10092,71
49,88	5,53	13,66	5,38	5,67634	18000	10083,96
50,22	5,87	13,99	5,71	6,01134	19000	10051,00
50,55	6,2	14,32	6,04	6,34134	20000	10029,43
50,87	6,52	14,61	6,33	6,64634	21000	10047,64
51,2	6,85	14,95	6,67	6,98134	22000	10021,00
51,51	7,16	15,3	7,02	7,31134	23000	10003,64
51,83	7,48	15,61	7,33	7,62634	24000	10007,42
52,13	7,78	15,86	7,58	7,90134	25000	10061,58
52,47	8,12	16,17	7,89	8,22634	26000	10050,64
52,78	8,43	16,51	8,23	8,55134	27000	10040,53
53,1	8,75	16,79	8,51	8,85134	28000	10059,49
53,41	9,06	17,08	8,80	9,15134	29000	10077,21
53,71	9,36	17,41	9,13	9,46634	30000	10077,81
54,03	9,68	17,73	9,45	9,78634	31000	10073,22
54,37	10,02	18,04	9,76	10,11134	32000	10063,95
54,68	10,33	18,38	10,10	10,43634	33000	10055,25
55	10,65	18,69	10,41	10,75134	34000	10056,42
55,33	10,98	18,97	10,69	11,05634	35000	10066,62
					E Médio	9997,48
					Desv. Pad.	461,45

ANEXO 4

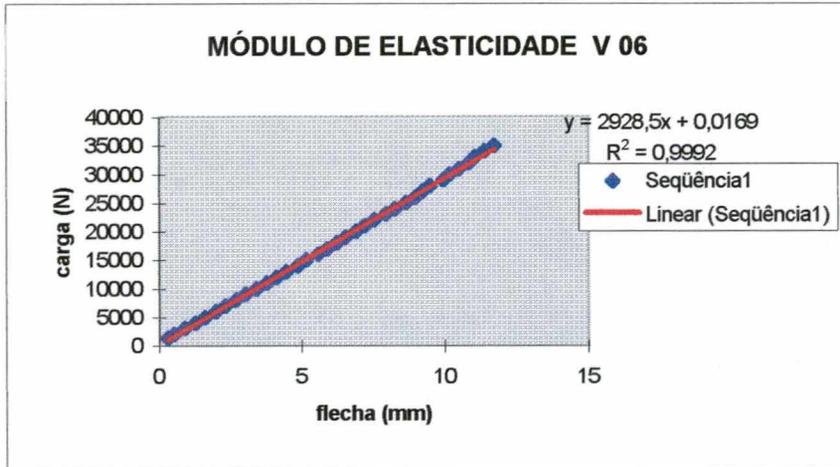


ANEXO 4

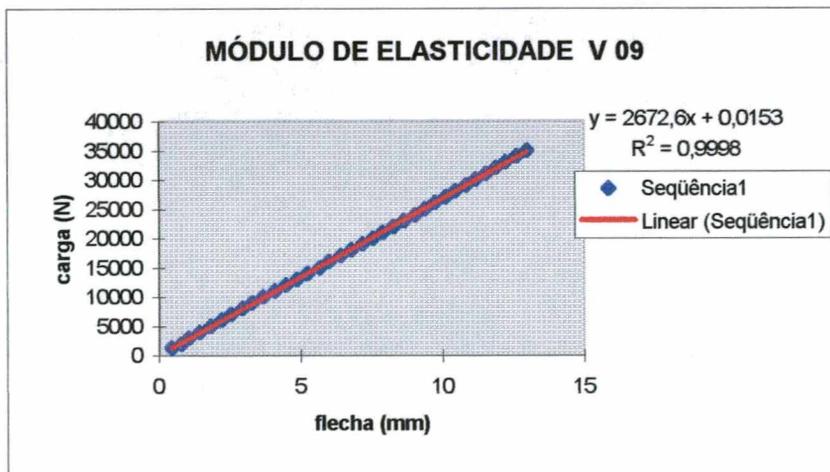
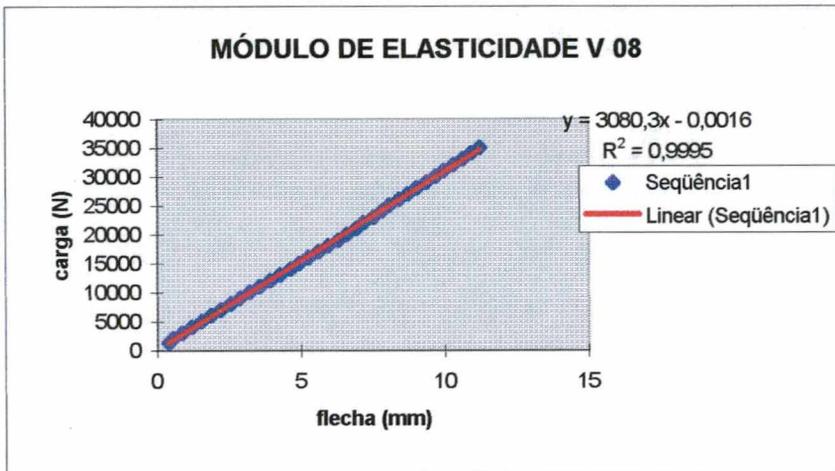
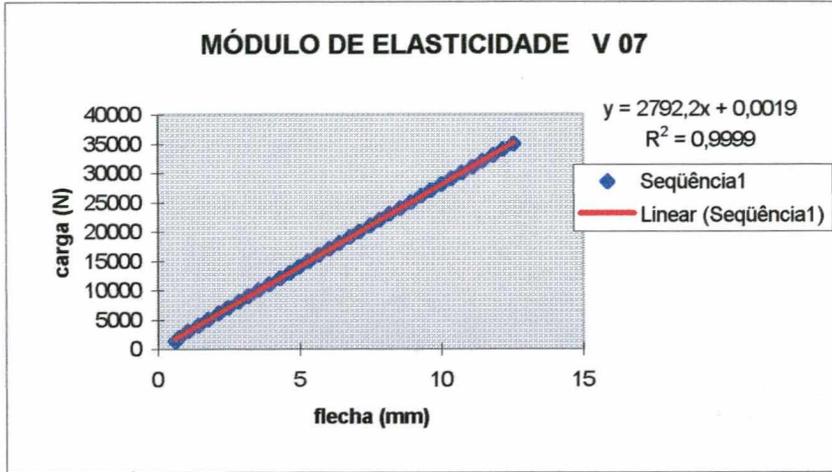
CÁLCULO DOS MÓDULOS DE ELASTICIDADES

VIGA 06

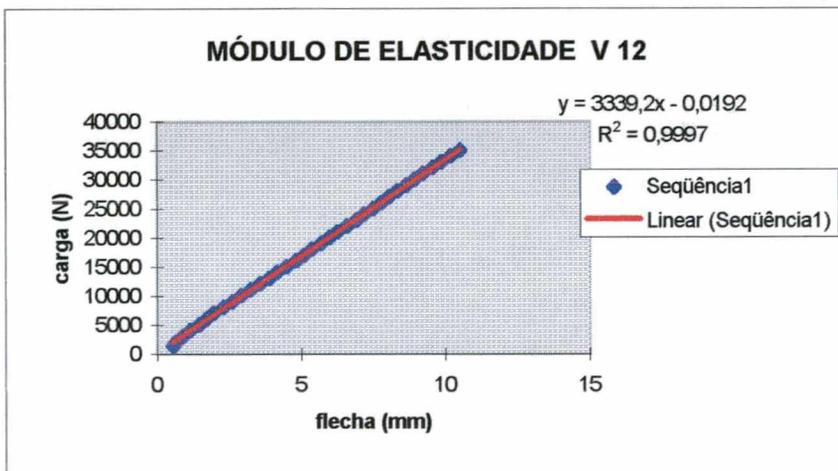
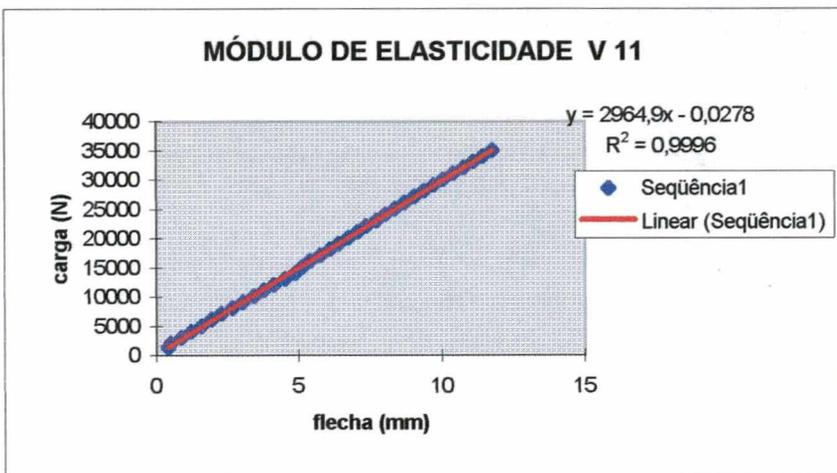
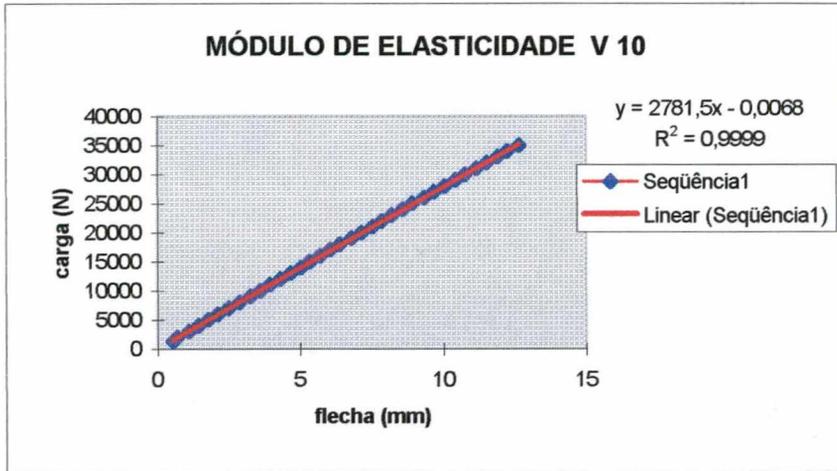
Rel.1 leit.2	flecha 1 (mm)	Rel.2 leit.2	flecha 2 (mm)	flec. méd. (mm)	P (N)	E (N/mm2)
6,48		4,53			0	
6,98	0,5	5,1	0,57	0,34469	1350	12454,67
7,22	0,74	5,31	0,78	0,56969	2000	11163,97
7,55	1,07	5,67	1,14	0,91469	3000	10429,76
7,94	1,46	6,05	1,52	1,29969	4000	9786,95
8,28	1,8	6,37	1,84	1,62969	5000	9756,46
8,64	2,16	6,76	2,23	2,00469	6000	9517,68
9	2,52	7,11	2,58	2,35969	7000	9433,44
9,35	2,87	7,45	2,92	2,70469	8000	9405,88
9,7	3,22	7,8	3,27	3,05469	9000	9369,20
10,07	3,59	8,19	3,66	3,43469	10000	9258,48
10,43	3,95	8,54	4,01	3,78969	11000	9230,31
10,78	4,3	8,89	4,36	4,13969	12000	9218,08
11,12	4,64	9,23	4,70	4,47969	13000	9228,32
11,5	5,02	9,63	5,10	4,86969	14000	9142,27
11,81	5,33	9,94	5,41	5,17969	15000	9209,05
12,22	5,74	10,36	5,83	5,59469	16000	9094,34
12,55	6,07	10,65	6,12	5,90469	17000	9155,43
12,89	6,41	10,99	6,46	6,24469	18000	9166,19
13,2	6,72	11,31	6,78	6,55969	19000	9210,80
13,55	7,07	11,66	7,13	6,90969	20000	9204,47
13,89	7,41	11,97	7,44	7,23469	21000	9230,53
14,23	7,75	12,31	7,78	7,57469	22000	9236,02
14,57	8,09	12,76	8,23	7,96969	23000	9177,27
14,92	8,44	13,02	8,49	8,27469	24000	9223,31
15,3	8,82	13,4	8,87	8,65469	25000	9185,77
15,65	9,17	13,73	9,20	8,99469	26000	9192,09
15,92	9,44	13,97	9,44	9,24969	27000	9282,47
16,22	9,74	14,19	9,66	9,50969	28000	9363,08
16,65	10,17	14,71	10,18	9,98469	29000	9236,14
16,96	10,48	14,82	10,29	10,19469	30000	9357,81
17,33	10,85	15,1	10,57	10,51969	31000	9371,00
17,68	11,2	15,45	10,92	10,86969	32000	9361,81
17,88	11,4	15,68	11,15	11,08469	33000	9467,11
18,21	11,73	15,97	11,44	11,39469	34000	9488,63
18,56	12,08	16,32	11,79	11,74469	35000	9476,62
					E Médio	9488,15
					Desv. Pad.	648,75



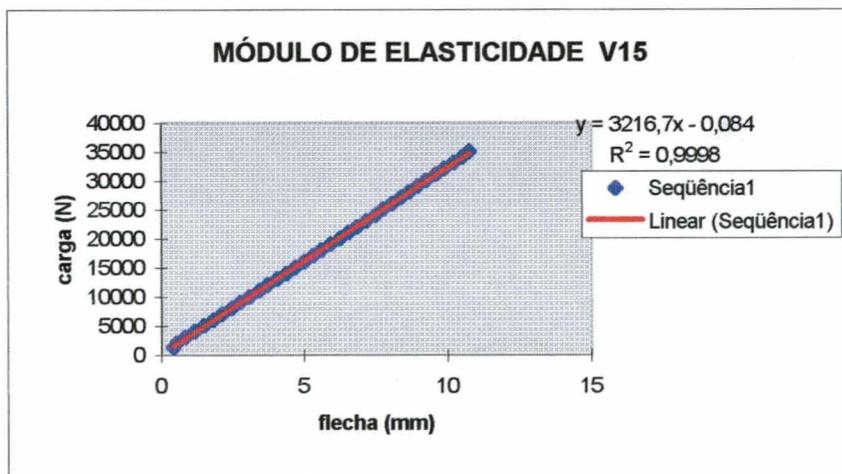
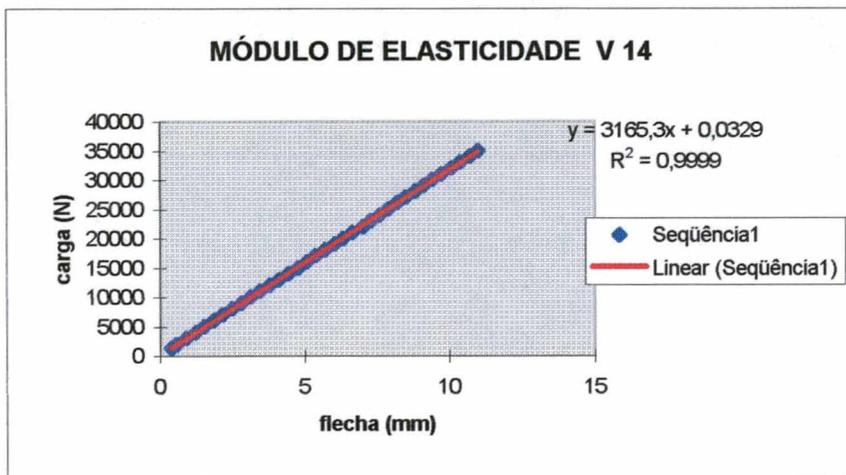
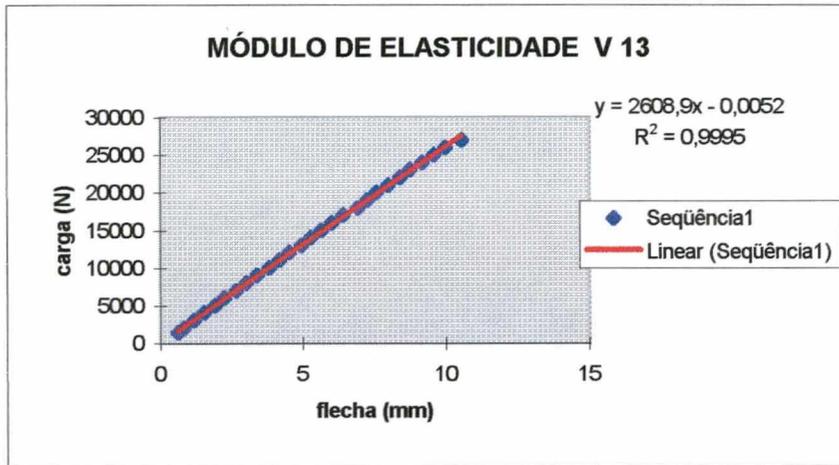
ANEXO 4



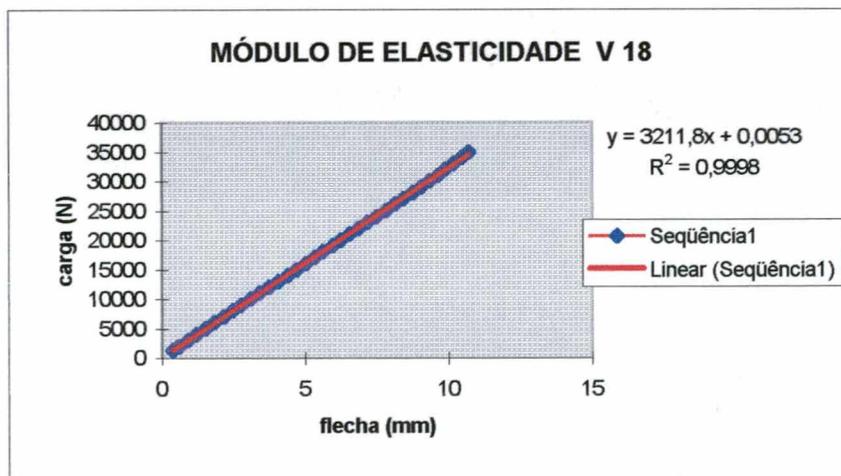
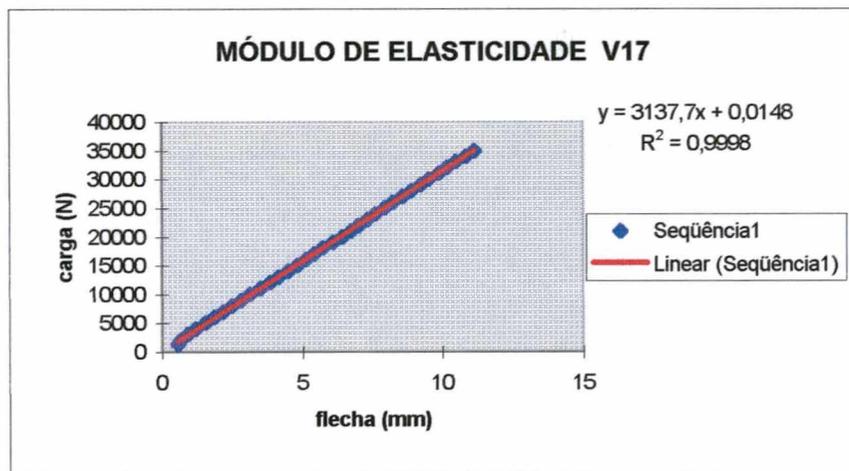
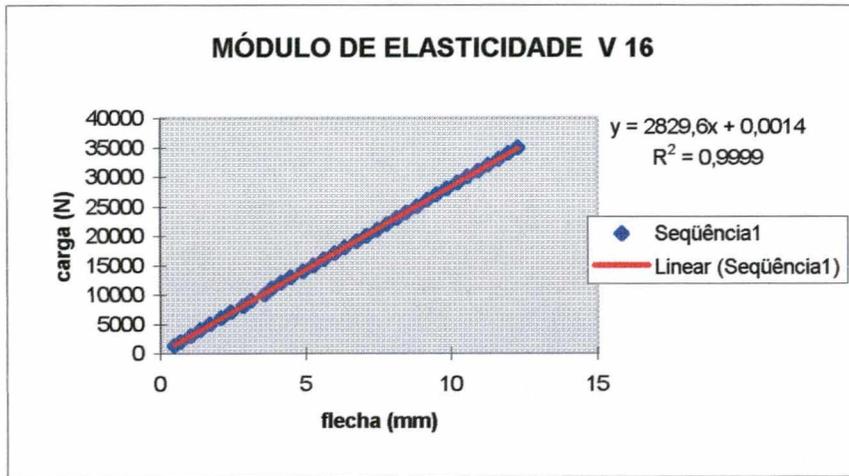
ANEXO 4



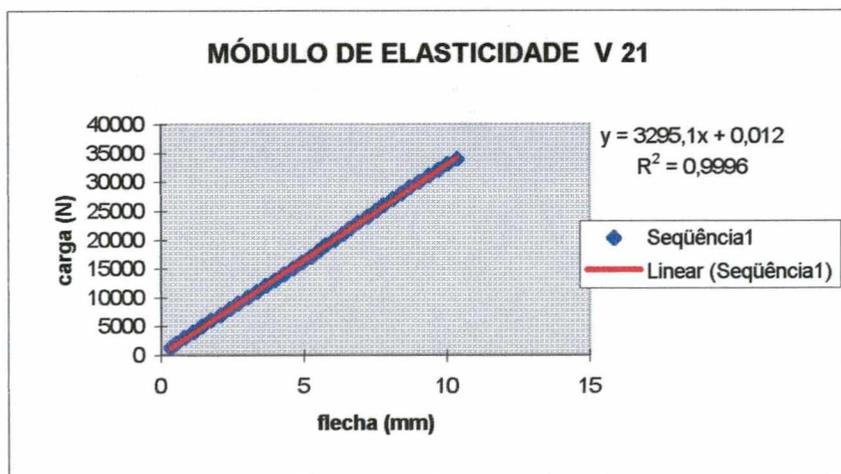
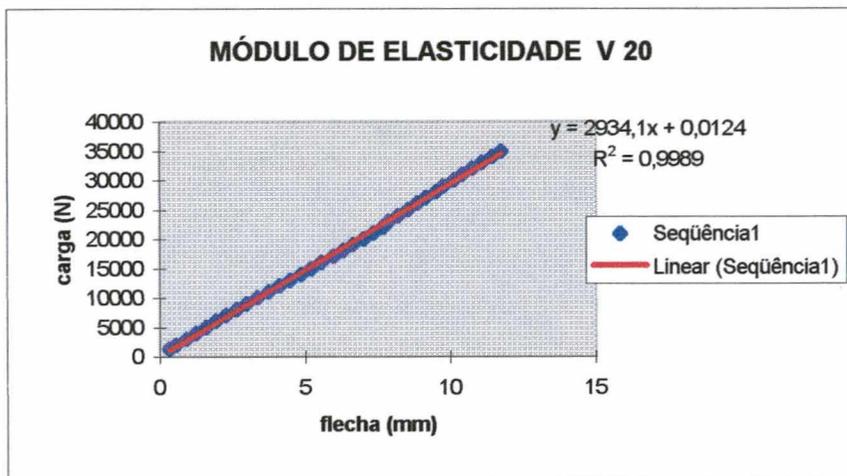
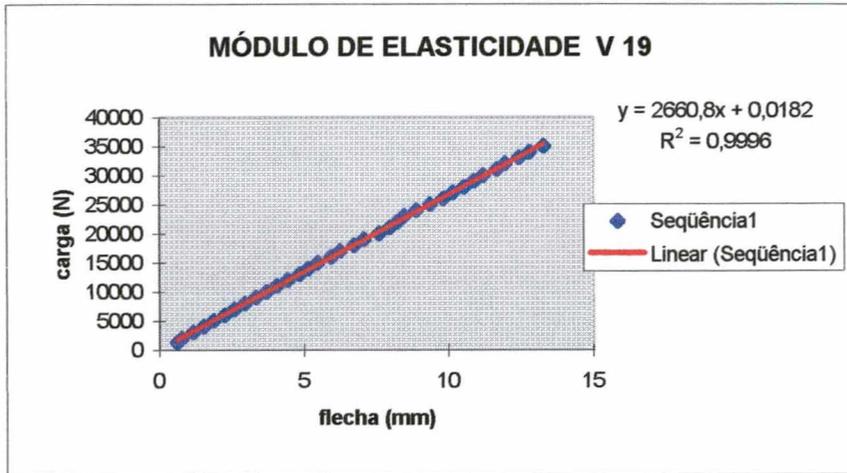
ANEXO 4



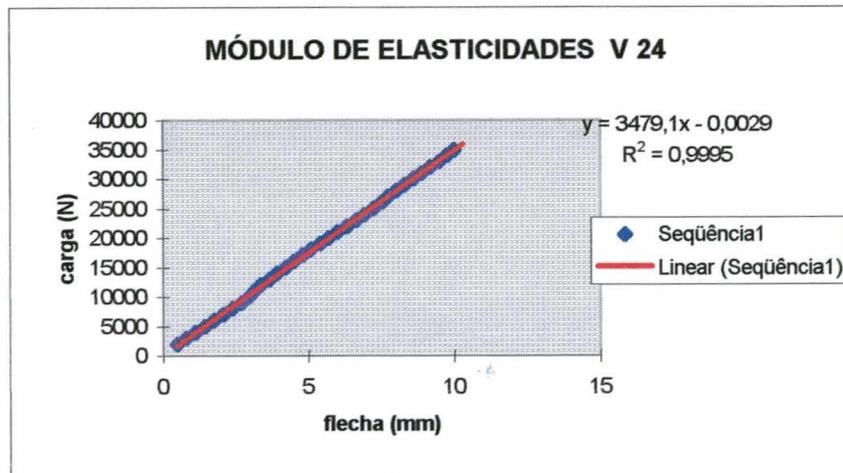
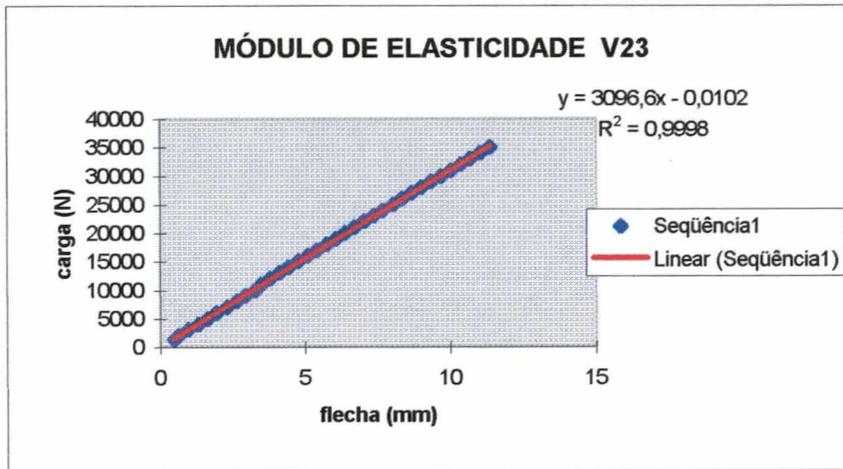
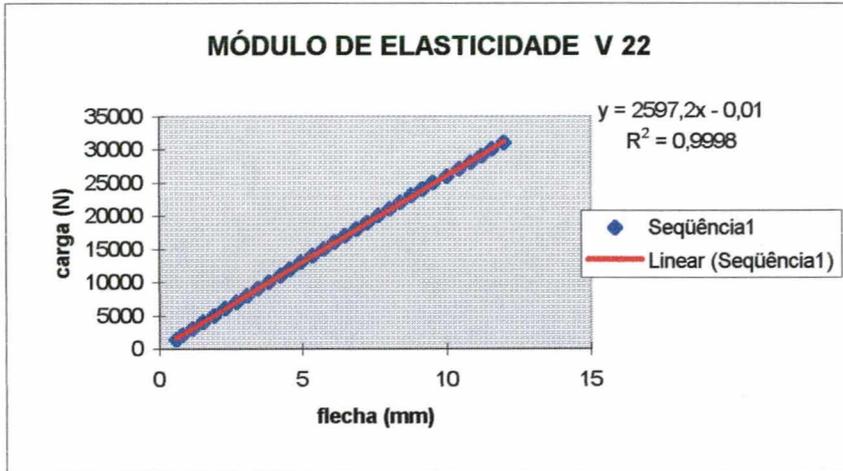
ANEXO 4



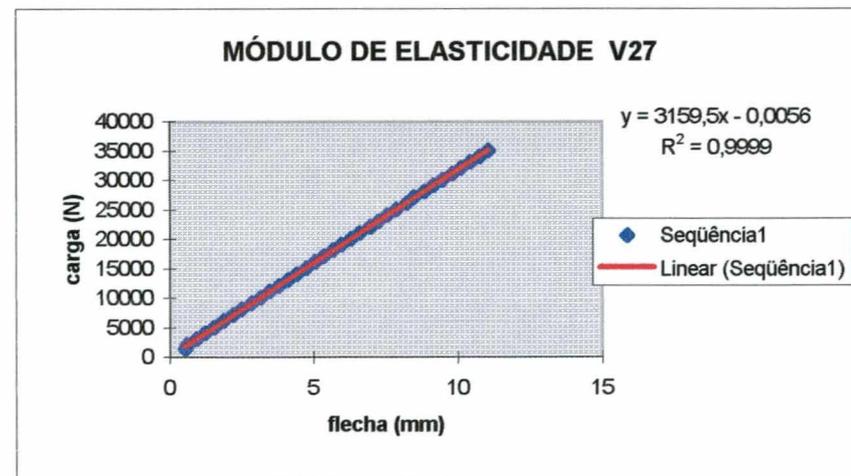
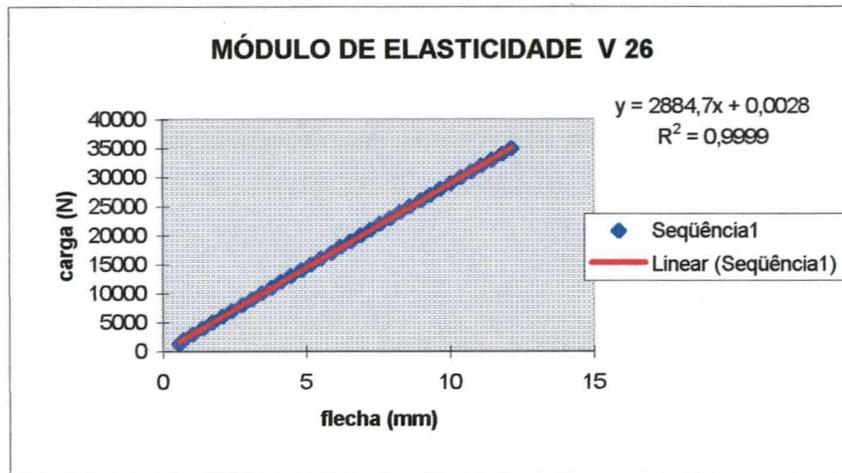
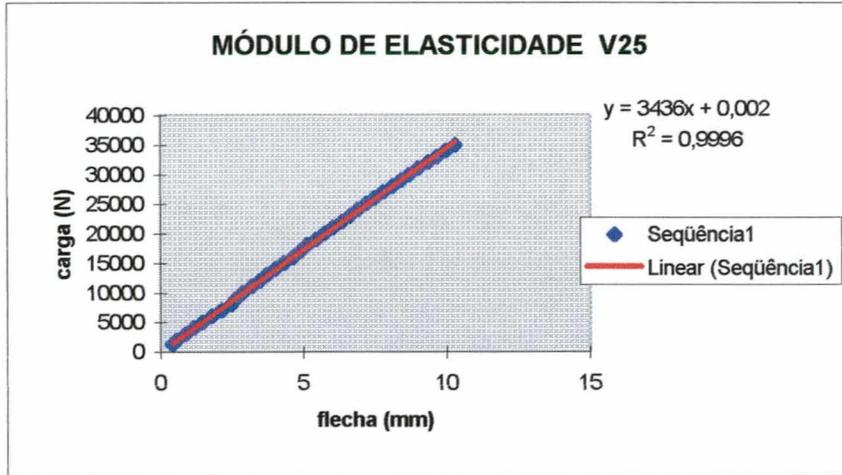
ANEXO 4



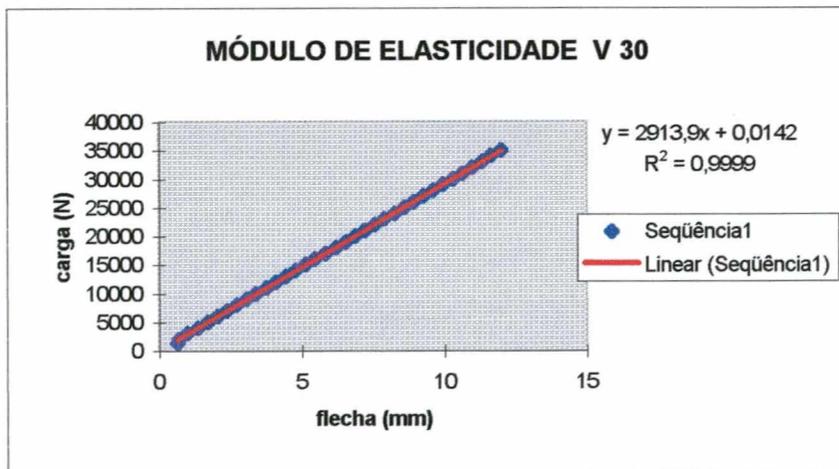
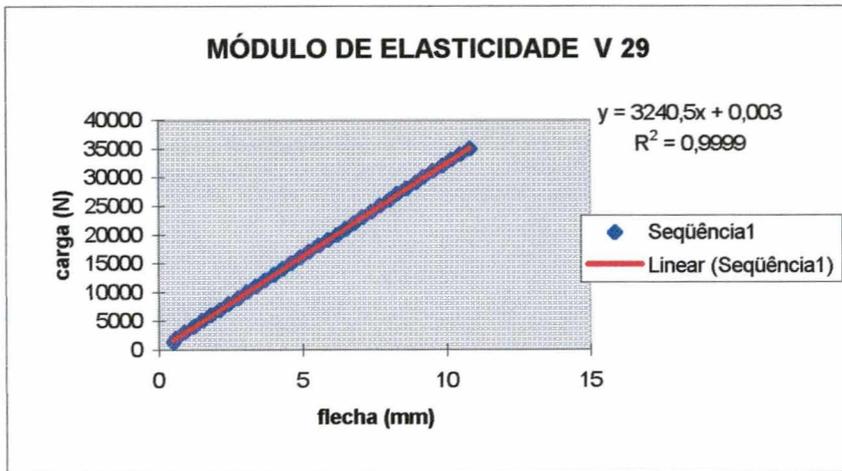
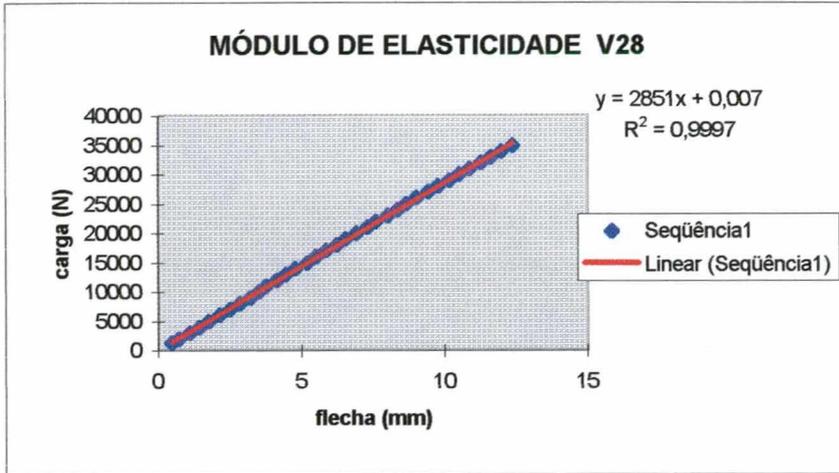
ANEXO 4



ANEXO 4



ANEXO 4



MÓDULOS DE ELASTICIDADES POR SUBGRUPOS**SUBGRUPO A1**

	E (M Pa)	DP (M Pa)	CV %
VIGA 01	7429	99	1,33
VIGA 02	9381	268	2,86
VIGA 03	9664	259	2,68
VIGA 04	8827	405	4,59
VIGA 05	9997	461	4,61
VIGA 06	9488	649	6,84

Média 9131
 DP 918
 CV 10,05

SUBGRUPO A2

	E (M Pa)	DP (Mpa)	CV %
VIGA 07	8818	353	4,00
VIGA 08	9895	357	3,61
VIGA 09	8525	195	2,29
VIGA 10	8809	194	2,20
VIGA 11	9531	477	5,00
VIGA 12	10542	598	5,67

Media 9353
 DP 775
 CV 8,29

SUBGRUPO B1

	E (M Pa)	DP (M Pa)	CV %
VIGA 13	8220	329	4,00
VIGA 14	10101	146	1,45
VIGA 15	10275	298	2,90
VIGA 16	8988	148	1,65
VIGA 17	9937	518	5,21
VIGA 18	10256	137	1,34

Média 9630
 DP 840
 CV 8,72

SUBGRUPO B2

	E (M Pa)	DP (M Pa)	CV %
VIGA 19	8386	353	4,21
VIGA 20	9516	657	6,90
VIGA 21	10570	358	3,39
VIGA 22	8211	218	2,65
VIGA 23	9782	298	3,05
VIGA 24	10183	785	7,71

Media 9441
 DP 956
 CV 10,13

ANEXO 5

SUBGRUPO B3

	E (M Pa)	DP (M Pa)	CV %
VIGA 25	10890	229	2,10
VIGA 26	9110	338	3,71
VIGA 27	10002	411	4,11
VIGA 28	9012	194	2,15
VIGA 29	10260	368	3,59
VIGA 30	9210	468	5,08

Media	9747
DP	757
CV	7,77

ANEXO 6

CÁLCULO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO

SUBGRUPO A1

VIGAS	Carga Rup. (N)	Res. Tração (M Pa)
-------	---------------------	-------------------------

1	39000	20,28
2	29000	15,08
3	34000	17,68
4	41300	21,48
5	43100	22,41
6	44300	23,04

Média	(M Pa)	19,99
DP	(M Pa)	3,06
CV	%	15,31

SUBGRUPO A2

VIGAS	Carga Rup. (N)	Res. Tração (M Pa)
-------	---------------------	-------------------------

7	47300	24,60
8	42550	22,13
9	36900	19,19
10	45700	23,76
11	50300	26,16
12	49700	25,84

Média	(M Pa)	23,61
DP	(M Pa)	2,62
CV	%	11,08

SUBGRUPO B1

VIGAS	Carga Rup. (N)	Res. Tração (M Pa)
-------	---------------------	-------------------------

13	27000	14,04
14	44250	23,01
15	47600	24,75
16	49500	25,74
17	41900	21,79
18	39500	20,54

Média	(M Pa)	21,65
DP	(M Pa)	4,18
CV	%	19,31

SUBGRUPO B2

VIGAS	Carga Rup. (N)	Res. Tração (M Pa)
-------	---------------------	-------------------------

19	39750	20,67
20	53000	27,56
21	34500	17,94
22	32000	16,64
23	51600	26,83
24	51900	26,99

Média	(M Pa)	22,77
DP	(M Pa)	4,95
CV	%	21,74

ANEXO 6

SUBGRUPO B3

VIGAS	Carga Rup. (N)	Res. Tração (M Pa)
-------	---------------------	-----------------------

25	44750	23,27
26	45200	23,50
27	48100	25,01
28	47900	24,91
29	48350	25,14
30	36450	18,95

Média	(M Pa)	23,47
DP	(M Pa)	2,35
CV	%	10,03