

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC

PRÉ-FABRICAÇÃO E COMPORTAMENTO DE VIGAS "I" EM MADEIRA

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil – PPGEC, para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil.

ORLANDO JOSÉ PRADA

Florianópolis, Dezembro de 2003

PRÉ-FABRICAÇÃO E COMPORTAMENTO DE VIGAS "T" EM MADEIRA

ORLANDO JOSÉ PRADA

Dissertação julgada adequada para a obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Prof^a Henriette Lebre La Rovere – Coordenadora do PPGEC

Prof^o Dr. Carlos Alberto Szücs - Orientador

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof^o Dr. Carlos Alberto Szücs - Moderador – ECV/UFSC

Prof^o Dr. Carlito Calil Junior – EESC/USP

Prof^o Dr. Félix Alberto Díaz Díaz – ECV/UFSC

Prof^a Dra Ângela do Valle – ECV/UFSC

OFERECIMENTO

A Deus, pela belíssima vida e saúde.

Minha esposa Carla e aos meus filhos Thales e Thiago , que foram minha fonte de entusiasmo e incentivo.

Aos meus pais: Selma e Orlando, pela benção, entusiasmo e pela mais nobre das heranças, a dedicação, persistência e a vontade de seguir em busca do êxito.

Aos meus irmãos: Vilson, Vilmar, Euclair e Eliane pelo apoio e incentivo.

AGRADECIMENTOS

A Empresa Battistella Ind. e Com. Ltda, pelos recursos disponibilizados em especial ao seu Gerente Administrativo Sr. Adalberto José Marin, pelo apoio e incentivo no desenvolvimento deste trabalho. Aos funcionários da área produtiva que contribuíram na confecção dos corpos de prova.

Ao Prof^o Carlos Alberto Szücs, pela belíssima condução, orientação e apoio em todas as fases do curso de Mestrado.

Aos amigos Gustavo Lacerda e Altevir dos Santos que contribuíram na realização dos ensaios de laboratório e aos demais colegas do GIEM.

Aos membros da Banca Examinadora, que me deram a honra de julgar minha dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FOTOS.....	ix
RESUMO.....	xi
ABSTRACT.....	xiii
JUSTIFICATIVA.....	xv
1 – Introdução.....	1
2 – Objetivos.....	3
2.1 – Objetivo Geral.....	3
2.2 – Objetivo Específico.....	3
3 – Metodologia.....	4
4 – Revisão Bibliográfica.....	6
4.1 – Métodos de Classificação da Madeira.....	6
4.1.1 – Classificação Visual da Madeira.....	6
4.1.2 – Classificação Mecânica da Madeira.....	18
4.2 – Classificadora Mecânica de Madeira Computermatic MKP IVa.....	21
4.2.1 – Especificações Técnicas.....	23
6 - VIGA I – Caracterização e Descrição dos Materiais.....	26
6.1 – Madeira.....	26
6.1.1 – Procedência da Madeira.....	26
6.1.2 – Secagem.....	26
6.2 – Geometria e Composição da Viga Seção I.....	26
6.2.1 – Madeira Maciça.....	26
6.2.2 – Composto tipo Placa “Blockboard”.....	27
6.3 – Geometria dos Entalhes Múltiplos.....	32
6.4 - Colagem das Madeiras.....	36
6.5 - Determinação do Módulo de Elasticidade na Classificadora Mecânica Computermatic MKP IVa.....	39
6.5.1 – Características do ensaio para Classificação Mecânica.....	39

7 - Procedimento de Cálculo.....	45
7.1 - Cálculo do Momento de Inércia.....	46
7.2 - Cálculo do Momento Estático.....	46
7.2.1 – Cálculo do Momento Estático Máximo.....	46
7.2.2 - Cálculo do Momento Estático na Junção Mesa e Alma.....	46
7.3 – Critério de Dimensionamento.....	46
7.3.1 - Tensão Normal.....	47
7.3.2 - Efeito da Tensão de Cisalhamento.....	47
7.3.2.1 – Tensão de Cisalhamento na Linha Neutra.....	47
7.3.2.2 – Tensão de Cisalhamento na Junção Enfraquecida pelos	
Entalhes Múltiplos.....	47
7.3.3 - Elasticidade.....	48
8 - Resultados de Ensaio.....	49
8.1 - Método de Ensaio.....	49
8.2 - Exemplos de Diagrama Carga x Deslocamento.....	51
8.3 - Resultados.....	52
8.4 - Exemplos dos Tipos de Ruptura.....	56
8.5 - Análise dos Resultados dos Ensaios das Vigas.....	62
9– Cálculo das Vigas I conforme a norma NBR-7190/97 para Madeira Conífera.....	63
9.1 – Determinação do Peso Próprio.....	64
9.2 – Estados Limites Últimos.....	68
9.2.1 – Valores dos Esforços para Estados Limites Últimos.....	69
9.3 – Estados Limites de Utilização.....	70
9.3.1 – Valores dos Esforços para Estados Limites de Utilização.....	73
9.4 – Capacidade de Cargas por metro linear, Vãos e Espaçamento entre Vigas I	74
10 - Estudo Comparativo da Viga I com Viga em M.L.C. utilizada no sistema construtivo	
industrializado Battistella.....	75
11 - Conclusão.....	77
12 – Bibliografia.....	79
Anexos.....	81

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Encanoamento.....	13
FIGURA 2 – Arqueamento.....	14
FIGURA 3 – Encurvamento.....	15
FIGURA 4 – Diagrama da Máquina Computermatic.....	22
FIGURA 5 – Composto Tipo Placa “Blockboard”.....	27
FIGURA 6 – Geometria Finger-Joint.....	32
FIGURA 7 – Largura da base da Junta.....	32
FIGURA 8 – Seção Transversal.....	45
FIGURA 9 – Detalhe da Seção para b_0.....	47
FIGURA 10 – Sistema de Carregamento.....	49
FIGURA 11 – Diagrama Carga e Deslocamento viga Mesa Maciça V1.....	51
FIGURA 12 – Diagrama Carga e Deslocamento viga Mesa LVL V3.....	51
FIGURA 13 – Diagrama de Tensões de Cisalhamento.....	52
FIGURA 14 – Indicativo de Faixa de Influência e Espaçamento entre Vigas.....	74

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Consumo Energético para Produção de Materiais.....	1
TABELA 2 – Velocidade da Máquina Computermatic.....	24
TABELA 3 – Definição da Carga Aplicada.....	24
TABELA 4 – Características para Classificação Mecânica com o equipamento empregado.....	39
TABELA 5 – Intervalos de Módulos obtidos na Classificação Mecânica.....	40
TABELA 6 – Módulo de Elasticidade da Composição de Peças da Classificação Mecânica Estimado e o Resultado obtido nos Ensaios das Vigas.....	41
TABELA 7 – Apresentação dos Resultados dos Ensaios das Vigas.....	55
TABELA 8 – Cargas devido peso próprio por Faixa de Influência.....	64
TABELA 9 – Cargas devido peso próprio por metro linear na viga.....	65
TABELA 10 – Cargas devido Sobre Carga por metro linear na viga.....	65
TABELA 11 – Esforço solicitante de Cálculo por Faixa de Influência.....	65
TABELA 12 – Valores de Esforços para Estados Limites Últimos.....	69
TABELA 13 – Esforços solicitantes de cálculo devido peso próprio e sobre carga.....	70
TABELA 14 – Valores dos Esforços para Estados Limites de utilização.....	73
TABELA 15 – Cargas por Metro Linear, Vãos e Espaçamento entre Vigas.....	74
TABELA 16 – Estudo Viga I x Viga M.L.C.....	75

LISTA DE FOTOS

FOTO 1 – Presença de medula.....	7
FOTO 2 – Rachaduras Originadas pela Presença de Medula.....	7
FOTO 3 – Faixas de Parênquima.....	8
FOTO 4 – Nó Firme ou São.....	9
FOTO 5 – Nó Solto.....	9
FOTO 6 – Nó Cariado.....	9
FOTO 7 – Nó Vazado.	10
FOTO 8 – Nó de Gravata.....	10
FOTO 9 – Feixe de Nós.....	10
FOTO 10 – Gupos de Nós.....	10
FOTO 11 – Perfurações Pequenas causadas por Insetos ou Larvas.....	11
FOTO 12 – Perfurações Grandes causadas por Insetos ou Larvas.....	11
FOTO 13 – Peça de Madeira Atacada por Fungo Causador da Mancha Azul.....	12
FOTO 14 – Peça de Madeira Atacada por Fungo Causador da Podridão Clara.....	12
FOTO 15 – Encanoamento.....	13
FOTO 16 – Torcimento.....	15
FOTO 17 – Rachadura.....	16
FOTO 18 - Esmoado.....	16
FOTO 19 – Bolsa de resina.....	17
FOTO 20 – Máquina Computermatic MKPIVa.....	25
FOTO 21 – Máquina Computermatic MKPIVa.....	25
FOTO 22 – Colagem do Sarrafeado de Madeira.....	28
FOTO 23 – Calibragem da Espessura do Sarrafeado de Madeira.....	28
FOTO 24 – Prensagem do Composto “Blockboard”.....	29
FOTO 25 – Retirada do Composto “Blockboard” da Prensa.....	29
FOTO 26 - Retirada do Composto “Blockboard” da Prensa.....	30
FOTO 27 – Refilamento do Composto “Blockboard”.....	30
FOTO 28 - Refilamento do Composto “Blockboard” para Obtenção das Peças a serem Usadas na Alma da Viga I.....	31

FOTO 29 – Fresa Finger-Joint.....	33
FOTO 30 – Confeção Finger-Joint na Alma.....	34
FOTO 31 – Finger-Joint na Alma da Viga.....	34
FOTO 32 – Confeção do Finger-Joint na Mesa da Viga.....	35
FOTO 33 – Finger-Joint na Mesa da Viga.....	35
FOTO 34 – Aplicação de Cola na Mesa e na Alma da Viga.....	36
FOTO 35 - União da Mesa e Alma da Viga.....	37
FOTO 36 – Prensagem Manual das Vigas.....	37
FOTO 37 – Retirada das Vigas da Prensa.....	38
FOTO 38 – Classificação Mecânica- Mesa Maciça – Cor Vermelho.....	42
FOTO 39 – Classificação Mecânica- Mesa Maciça – Cor Púrpura/Vermelho.....	42
FOTO 40 – Classificação Mecânica- Mesa Maciça – Cor Verde/Amarelo.....	43
FOTO 41 – Classificação Mecânica- Mesa LVL – Cor Vermelho.....	43
FOTO 42 – Classificação Mecânica- Alma Composto Blockboard – Cor Púrpura.....	44
FOTO 43 – Classificação Mecânica- Alma Composto Blockboard – Cor Vermelho.....	44
FOTO 44 – Sistema de Carregamento e Leitura da Flecha.....	50
FOTO 45 – Sistema de Carregamento.....	50
FOTO 46 – Ruptura Viga Mesa Maciça –V1 – Flexão e Cisalhamento na Região da União Mesa com a Alma.....	56
FOTO 47 – Ruptura Viga Mesa Maciça –V2 – Flexão e Tração Mesa Inferior Junto a um Nó.....	57
FOTO 48 – Ruptura Viga Mesa Maciça –V2 – Flexão e Tração Mesa Inferior Junto a um Nó.....	58
FOTO 49 – Ruptura Viga Mesa LVL –V1 – Flexão e Perda de Estabilidade Lateral.....	59
FOTO 50 – Ruptura Viga Mesa LVL –V2 – Flexão e Tração Mesa Inferior.....	60
FOTO 51 – Ruptura Viga Mesa LVL –V3 – Compressão Mesa Superior.....	61
FOTO 52 – Ruptura Viga Mesa LVL –V3 – Compressão Normal Mesa Superior.....	61

RESUMO

A pré-fabricação industrial de peças e componentes em madeira, passa a ter grande importância, tendo em vista a melhor adequação de emprego deste material, que é de fonte renovável, requer baixo consumo de energia para seu processamento, pode ser reciclado e que econômica e comercialmente pode mostrar-se bastante competitivo.

Na industrialização deve-se observar a sistematização das etapas de todo o processo de fabricação das peças, de forma padronizada, proporcionando assim um maior controle de qualidade no processo produtivo, economia nos custos, possibilidades de arranjos estruturais diversificados, baixo peso próprio e flexibilidade na concepção arquitetônica.

Desta forma, o presente estudo da viga composta com seção I, visa apresentar um método sistematizado de produção e uma análise teórico-experimental do desempenho estrutural do elemento assim constituído.

A classificação estrutural da madeira maciça e do composto tipo “blockboard”, que compõem, respectivamente, a mesa e a alma da viga I, foi realizada com a máquina classificadora eletrônica Computermatic MKP IVa, de origem australiana, atualmente disponível junto ao IBAMA. Esta classificação leva em conta a relação entre a resistência e a rigidez à flexão pelo seu módulo de elasticidade. Este método de classificação mecânica não destrutivo é proposto como meio de avaliação mais precisa das propriedades de resistência de peças estruturais de madeira, mantendo a integridade da peça, sem comprometer o seu uso posterior.

Foram confeccionadas, 6 vigas I compostas por mesa em madeira maciça e 3 vigas I compostas por mesa em material LVL (Laminated Veneer Lumber). Todas às vigas foram submetidas ao ensaio de Flexão a quatro pontos, com aplicação de cargas a cada 1/3 do vão (L).

As vigas com mesa maciça, apresentaram Módulo de Resistência (MOR) Média na Flexão $\sigma_F = 419,70 \text{ daN/cm}^2$ e Módulo de Elasticidade Médio de $E_F = 106579 \text{ daN/cm}^2$ e as vigas I com mesa em LVL apresentaram valores de $\sigma_F = 496,0 \text{ daN/cm}^2$ e $E_F = 139791 \text{ daN/cm}^2$.

Os dois modelos de vigas I, apresentaram ótima performance quanto a resistência e rigidez à flexão, quando comparados aos valores da viga em M.L.C. (Madeira Laminada Colada) a qual apresenta $\sigma_F = 281,60 \text{ daN/cm}^2$ $E_F = 87250 \text{ daN/cm}^2$.

No processo de fabricação, a união entre as mesas e a alma, foi realizada pela usinagem dos chamados entalhes múltiplos (finger-joint) em toda a extensão da peça, e colagem com resorcina-formol. Esta solução estrutural tem como objetivo, obter vigas de alta resistência, com baixo peso próprio, para serem utilizadas como elemento estrutural definitivo no sistema construtivo industrializado da empresa Battistella, como também, no processo construtivo convencional (alvenaria) das edificações. Outro uso para esses elementos é como escoramento reutilizável na concretagem das estruturas de concreto armado. Para esta finalidade de uso, já existe uma grande demanda por parte de algumas empresas do mercado nacional. Nesse sentido, foi produzida uma tabela com a classificação das vigas “I” de seção padrão, para diversos vãos e capacidade de carregamento.

ABSTRACT

The industrial prefabrication of wood members and components has become of great significance because of an adjustment in the application of this raw material, which comes from a renewable source. In addition, it requires low energy consumption for sawing, can be recycled and also be economically and commercially competitive.

In the industrial process, all the stages of components' manufacturing must be systematic, in a standardized way, thus providing better quality control in the production process, saving of costs, diversified possibilities of structural arrangements, low self weight and flexibility in architectural planning. Therefore, this research presents a systematized manufacturing method and a theoretical and experimental structural analysis of wood I-joists.

Stress grading of solid wood (flange of the joist) and *blockboard* (web of the joist) was carried by the Australian electronic grading machine *Computermatic MKP IVa*. In this classification, the relation between the strength and the rigidity in bending for its modulus of elasticity is relevant. It seems this nondestructive method of grading enables a more accurate evaluation of wood mechanical properties, keeping the integrity of the member, besides not compromising its future use.

Six I beams composed of solid lumber flanges and three I beams composed of LVL (Laminated Veneer Lumber) flanges. Every beam was submitted to a four-point bending trial, with application of loads at each $1/3$ of the gap (L).

The beams with solid flanges showed Average Module of Strength (MOS) on bending $\sigma_F = 419,70 \text{ daN/cm}^2$ and Average Module of Elasticity $E_F = 106579 \text{ daN/cm}^2$ and the I beams with LVL flanges showed $\sigma_F = 496,0 \text{ daN/cm}^2$ and $E_F = 139791 \text{ daN/cm}^2$.

Both I beam models showed excellent performance in terms of strength and rigidity to bending when compared to the values of the beam in Glued Laminated Timber which shows $\sigma_F = 281,60 \text{ daN/cm}^2$ $E_F = 87250 \text{ daN/cm}^2$.

In manufacturing process, the assembling of flange and web is made by finger-joints along all member's length. The goal of this solution is to get beams of high resistance and low self weight, to be used as a structural component of Battistella's industrialized construction system, as well as in conventional masonry construction. Another possibility of use, which already has a great demand in the national market, is propping concrete forming. For this purpose, it has been produced a table for selecting standard wood I-joists, relating different spans and its respective load-carrying capacity.

JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

A empresa Battistella Ind. e Com. Ltda é uma das poucas empresas no Brasil que possui um sistema construtivo industrializado em madeira, destinado à aplicação em edificações residenciais, e também como componentes industrializados em madeira, destinados a todo o ramo da construção civil. Embora este sistema construtivo tenha respaldo técnico, a preocupação da empresa em colocar no mercado produtos de qualidade, devidamente ensaiados em instituições técnicas, exige uma avaliação sistêmica do processo produtivo (etapas de fabricação, transporte e montagem), um detalhamento dos componentes que constituem o conjunto, além da adequação do produto à norma brasileira NBR-7190/97, relativa aos projetos de edificações em madeira.

A relevância desta pesquisa consiste na sistematização das técnicas e processos construtivos, mas também, na avaliação do desempenho estrutural da viga composta com seção I, frente às normas estabelecidas, visando atender os critérios necessários para sua utilização como elemento estrutural definitivo no sistema construtivo da própria empresa, ou como elemento estrutural provisório e reutilizável na construção civil em geral.

Com a avaliação e sistematização deste processo construtivo, possibilita-se uma maior integração dos conhecimentos compartimentados e da identificação de metodologias específicas mais adequadas, na tentativa de melhorar o processo de fabricação, gerar ganho de produtividade, reduzir custos de produção, estimular o consumo e aumentar o número de ofertas de componentes idealizados em madeira, para a construção civil.

1 – INTRODUÇÃO

Os sistemas de construção industrializada, especialmente os de madeira, destinados a edificações residenciais, são pouco difundidos no Brasil. O ensino tradicional das universidades e escolas técnicas encontra-se voltado ao sistema de construção em alvenaria e concreto, ficando o sistema construtivo em madeira relegado a segundo plano.

Em parte, isso se deve à escassez em nosso país de literatura técnica sobre o processo de industrialização da construção em madeira, somada a problemas decorrentes de nossa colonização. Entretanto, face à racionalização dos sistemas construtivos existentes e às pesquisas em desenvolvimento em algumas instituições de ensino, este panorama começa a mudar.

Acontecimentos ocorridos nas duas últimas décadas, como a crise de energia e o rápido esgotamento das reservas naturais de certos materiais (ferro, alumínio), despertaram uma nova consciência em relação ao uso da madeira. Isto porque, se trata de um material renovável e que não é mais visto como um recurso proveniente de atividade puramente extrativista como é o caso do minério de ferro e outras matérias-primas empregadas na fabricação do concreto. A madeira requer um menor consumo energético em todas as fases de seu processamento, portanto, apresenta-se perfeitamente compatível com a atual realidade na necessidade de racionalidade no consumo de energia.

Tabela 1 - Consumo energético para produção de alguns materiais.

Produto	kg E.C. por Tonelada
Alumínio	4.200
Cal	1.800
Aço	1.000
Cimento	260
Tijolo Cerâmico	140
Bloco de Concreto	25
Madeira	0.8

kg E.C. : quilogramas equivalentes de carvão = 3.000 kcal

Estima-se que o Brasil necessitará, até o ano 2010, de uma base florestal com características de emprego industrial da ordem de 15 milhões de hectares. Existem atualmente cerca de 3,8 milhões de hectares de florestas plantadas. É fundamental entender-se que, além de proporcionar imensas riquezas e oportunidades de trabalho e contribuir para a fixação do homem no campo, a ampliação da cobertura florestal proporciona proteção ambiental, garantindo a manutenção e a melhoria da qualidade do solo, da água e do ar, enfim, do necessário equilíbrio ambiental.

Desta forma, a pré-fabricação de componentes de madeira dentro da indústria passa a ter grande importância no emprego mais adequado deste material.

Com a industrialização, é preciso sistematizar as etapas de todo o processo construtivo das peças e dos componentes a serem padronizados. Procura-se conseguir, assim, maior controle de qualidade em toda linha de produção, economia nos custos e possibilidades de arranjos estruturais diversificados.

Com esta pesquisa sobre o comportamento da viga composta em seção “I”, procura-se apresentar um método sistematizado de produção e uma análise teórico-experimental do desempenho estrutural.

O objetivo desta solução estrutural é obter vigas de alta resistência, com baixo peso próprio, para serem utilizadas como elemento estrutural definitivo no sistema construtivo industrializado em madeira da Battistella, assim como, disponibilizá-la comercialmente para sistemas convencionais de construção (alvenaria) da habitação. Outra forma de uso é como escoramento de fôrmas para a concretagem de lajes na construção civil. Atualmente, algumas empresas vêm importando este tipo de elemento estrutural de outros países para uso no cimbramento de lajes de concreto armado. Desta maneira, espera-se atender esse nicho de mercado onde a empresa Battistella, que deu todo o apoio necessário ao desenvolvimento do presente trabalho, poderá figurar como grande fornecedor nacional.

Os critérios descritos para avaliação do comportamento estrutural das vigas objeto deste estudo, estão em conformidade com o que preconiza a norma brasileira NBR 7190/97 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

2 – OBJETIVOS

2.1- Objetivo Geral.

- ◆ Estudo teórico-experimental das vigas em madeira, compostas com seção “I”, visando a pré-fabricação e o desempenho estrutural.

2.2 – Objetivos Específicos.

- ◆ Análise do processo de fabricação das vigas compostas com seção “I” dentro da linha de produção da empresa Battistella Ind. e Com. Ltda. visando o emprego de componentes que já fazem parte de sua produção.
- ◆ Descrição dos métodos de classificação da madeira utilizados pela empresa Battistella.
- ◆ Determinação do módulo de elasticidade da madeira que compõe a mesa e a alma da viga “I”, através da máquina classificadora de madeira Compurtematic MKP IVa.
- ◆ Avaliar o desempenho do elemento estrutural da viga seção “I”, a ser empregada de forma definitiva no sistema construtivo industrializado da empresa Battistella Ind. e Com. Ltda. e de forma provisória e reutilizável como fôrma e escoramento para lajes, dentro da construção civil em geral. A avaliação seguirá critérios estabelecidos pela norma brasileira NBR 7190/97 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- ◆ Analisar o estudo do comportamento mecânico da viga “I” e o tipo de ruptura.
- ◆ Apresentar tabela de dimensionamento das vigas “I” em função do vão, espaçamento entre vigas e capacidade de carregamento.

3 – Metodologia

Procurou-se investigar quais componentes construtivos eram fabricados em escala padrão pela empresa Battistella em seu processo produtivo, visando utilizar estes elementos para compor a *Viga “I”*. A apropriação destes dados permite a otimização do processo de produção, na tentativa da diminuição dos custos de produção e controle de todas as variáveis envolvidas, possibilitando retorno ao projeto, num processo de realimentação e conseqüente melhoria da qualidade do produto final.

A segunda etapa consiste no enquadramento do elemento estrutural (*Viga “I”*) no sistema construtivo da empresa.

Após a investigação de componentes produzidos pela empresa, optou-se pelos seguintes materiais para compor o elemento estrutural:

- madeira maciça, placas tipo blockboard e placas em LVL (Laminated Veneer Lumber) de pinus taeda, oriundos de reflorestamentos próprios da empresa Battistella.
- Colas à base de resinas fenólicas e resorcina-formol.

Os métodos de classificação, avaliação e procedimentos de cálculo do elemento estrutural seguem critérios estabelecidos pela norma brasileira NBR 7190/97 da ABNT.

O desempenho estrutural está avaliado por meio de ensaios específicos, baseados em procedimentos descritos por esta norma. Os ensaios mecânicos foram realizados no laboratório de Experimentação em Estruturas (LEE), através de um pórtico e prensa Losenasen com capacidade de carga de 20.000daN. O carregamento se deu em estágios de 200daN de forma contínua e progressiva, sendo que o esquema de aplicação de cargas pode ser visto na figura 10. Foram confeccionados 6 vigas com mesa em madeira maciça e 3 vigas com mesa em LVL, com dimensões de Largura (b) = 8cm,

Altura (H) = 25,5 cm e Comprimento (L) = 250 cm. O número de vigas com mesa maciça, foi maior devido o objetivo da empresa Battistella de produzir e comercializar este modelo de viga, possibilitando uma melhor análise estatística.

A análise dos resultados será realizada em duas etapas: análise do processamento dos componentes e montagem dos modelos (corpos de prova), e análise do desempenho estrutural.

◆ **Análise do processamento dos componentes e montagem dos modelos:**

A avaliação obtida nesta etapa, da exequibilidade da produção dos modelos para ensaios, está baseada nas dificuldades encontradas no processamento das peças, identificando as variáveis que apresentam maior interferência na fabricação e montagem.

Entre as dificuldades de fabricação encontradas, identifica-se o processo de usinagem das emendas dentadas (Finger-Joint) como o de maior nível de interferência dentro do processo global de produção. Para confecção em grande escala dos elementos estruturais será necessária a aquisição de uma fresadora específica.

A análise do processo de fabricação está baseada nas informações obtidas a partir da observação qualitativa das etapas de processamento, dentro da própria empresa.

◆ **Análise do desempenho estrutural:**

A análise do desempenho estrutural enfoca a metodologia teórica, visando a análise estrutural e construtiva com a finalidade de definir um modelo de comportamento para os elementos estruturais de viga “T”, a partir da confecção e da análise de comportamento de corpos de prova do elemento estrutural em tamanho real.

A esta metodologia conjugou-se o trabalho experimental onde após a realização de ensaios em corpos de prova no laboratório, fez-se a avaliação do comportamento mecânico do elemento estrutural (*Viga “T”*).

Dos resultados esperados:

Espera-se, após a avaliação do desempenho estrutural das vigas com seção “T”, que sua resistência esteja compatível com a norma e que traduza de forma técnica as exigências dos usuários, podendo-se desta forma efetuar a sistematização do processo produtivo, permitindo-se com isto a integração do produto como estrutura do entrepiso no sistema construtivo industrializado em madeira da empresa Battistella, e no mercado da construção civil em geral.

4 - Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica encontra-se dividida em tópicos referentes aos assuntos pertinentes aos procedimentos utilizados pela empresa Battistella, bem como, à concepção construtiva do elemento estrutural visando a sua adequação ao processo produtivo.

4.1 - Métodos de Classificação da Madeira

4.1.1 – Classificação Visual da Madeira

De acordo com Melo (1981), a madeira para uso estrutural requer um bom controle de qualidade das peças, pois há necessidade de garantir sua rigidez e resistência mecânica. Esse controle de qualidade pode ser realizado por métodos mecânicos, visuais ou pela combinação de ambos. O método de classificação visual consiste na seleção das peças individualmente através de sua aparência.

Dado a variabilidade do material madeira e seu aspecto anisotrópico e heterogêneo, apenas com a classificação visual não se pode garantir que o material venha a ter um ótimo desempenho estrutural.

- **As principais características visuais utilizadas nas regras de classificação da madeira para uso estrutural na empresa Battistella são as seguintes:**

1. Defeitos de Origem Anatômica:

São decorrentes da própria espécie a que a madeira pertence. Esses defeitos apenas seriam evitados no instante da seleção da espécie, desde que se conheçam suas características naturais.

1.1 Presença de Medula

Quando a peça serrada contém a medula, ocorre uma diminuição da resistência mecânica e uma facilidade ao ataque biológico pela baixa impregnação de ingredientes ativos durante processo de tratamento (**Foto 1**). A medula é permitida desde que seja eliminada com o aplainamento.

Podem surgir rachaduras no cerne próximo a medula, decorrentes de fortes tensões internas devidas ao processamento (**Foto 2**).



FOTO 1 – Presença de Medula

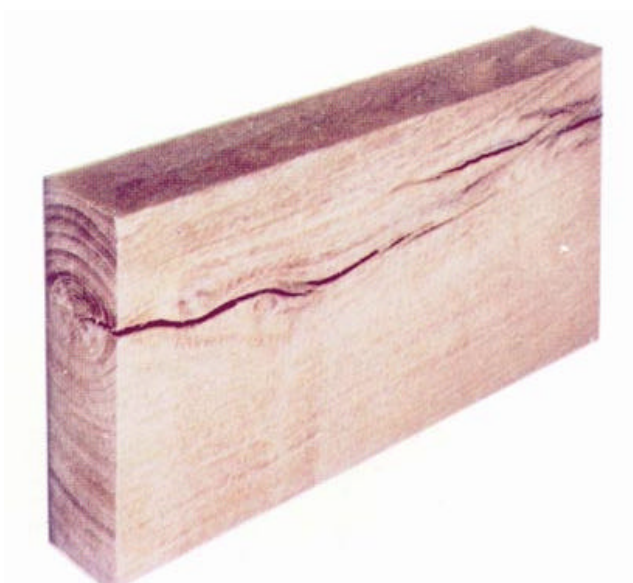


FOTO 2 – Rachaduras originadas pela presença de medula.

1.2 Faixas de Parênquima

Essas faixas, quando largas (**Foto 3**), apresentam baixa densidade e pouca resistência mecânica. Portanto, não são permitidas, pois quando submetidas à solicitação de esforços mecânicos podem causar a separação das faixas de anéis de crescimento.



FOTO 3 – Faixas de Parênquima

1.3 Nós - Tecido lenhoso resultante da existência de um ramo (galho), cujas propriedades são diferentes das da madeira circundante. São medidos pela área da seção transversal que ocupam nas peças de madeira.

Nós firmes, grupos e feixes de nós são permitidos, desde que a soma dos seus diâmetros máximos, medidos em relação à largura da face na qual eles aparecem, não exceda a 1/4 da seção transversal da peça, caracterizando uma classificação visual de classe estrutural nº1 com nível de classificação visual VQL-2 para classificação mecânica.

Para nós cariados e soltos, se permite um diâmetro máximo de 1cm ou 1/8 da altura da face da peça e que a face apresente no máximo um (1) nó por metro linear.

Nó de gravata e nó vazado não são permitidos.

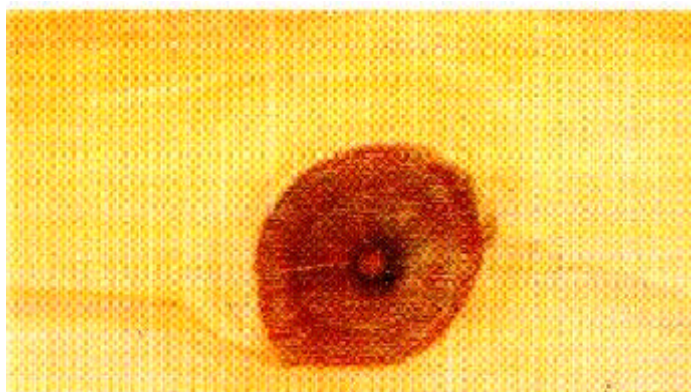


FOTO 4 – Nó firme ou são - Zona contínua, sem orifícios ou rachaduras.



FOTO 5 – Nó solto – Apresenta-se total ou parcialmente envolvido por casca, normalmente não se mantém retido na peça de madeira.

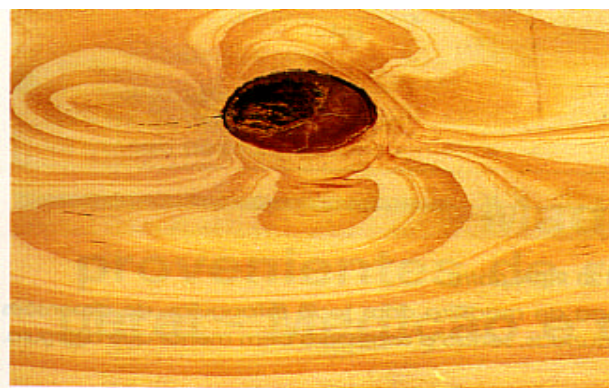


FOTO 6 – Nó cariado – Nó que se encontra parcialmente deteriorado.



FOTO 7 – Nó vazado – Orifício na peça provocado pelo desprendimento do material deteriorado.

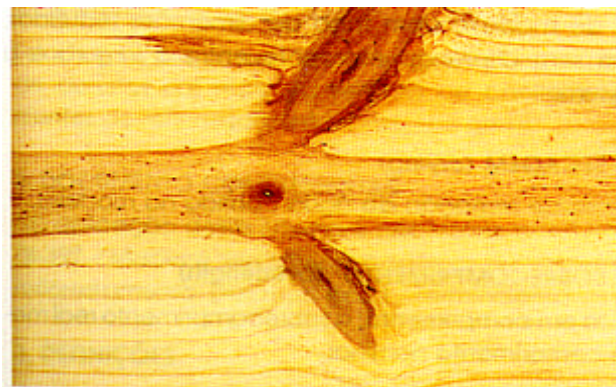


FOTO 8 – Nó de Gravata – Conjunto de dois nós de formas alongadas e que convergem para o mesmo ponto na face da peça.



FOTO 9 – Feixe de Nós – Dois ou mais nós agrupados, bem próximos entre si, formando praticamente uma só unidade.



FOTO 10 – Grupo de Nós – Dois ou mais nós separados entre si por fibras desviadas do sentido da grã.

2. Defeitos por ataques Biológicos:

São o apodrecimento ou furos de variados tamanhos e formas causados pelo ataques de fungos, insetos ou larvas.

2.1 Insetos

De acordo com o tamanho dos furos esses podem ser classificados como perfurações pequenas e perfurações grandes. Não é permitido nenhum tipo de perfuração.

- **Perfurações pequenas**



FOTO 11 – Perfurações pequenas causadas pelo ataque de insetos ou larvas

- **Perfurações grandes**



FOTO 12 – Perfurações grandes causadas pelo ataque de insetos ou larvas

2.2 Fungos

São formas inferiores de plantas que invadem a madeira para viverem e se alimentarem dela.

- **Mancha Azul** – Permitido desde que seja superficial

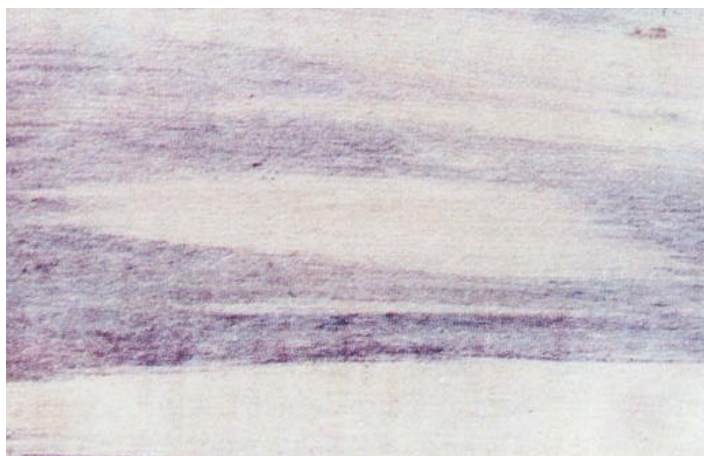


FOTO 13 – Peça de madeira atacada por fungo que provoca o surgimento da mancha azul

- **Podridão Clara** – Nenhum tipo de podridão é permitido.

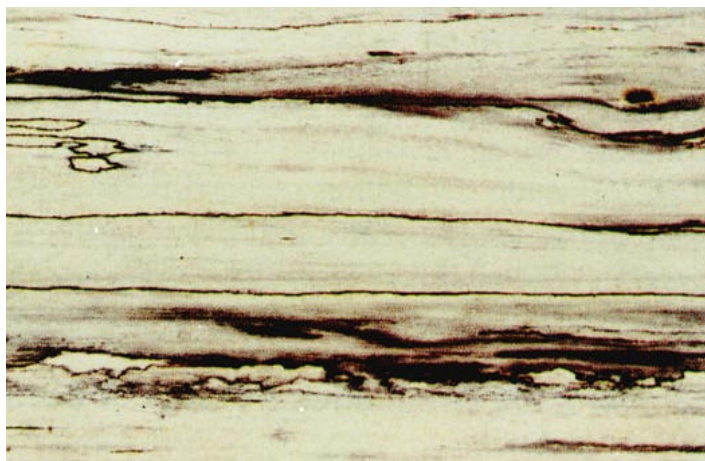


FOTO 14 – Peça de madeira atacada por fungo que provoca o surgimento da podridão clara

3. Defeitos originados durante a secagem da madeira:

São originados por deficiência no sistema de secagem ou no armazenamento das peças.

3.1 Encanoamento

É o empenamento transversal da face, provocando curvatura através da largura de uma peça de madeira. É permitido no caso em que o aplainamento da peça não reduza sua espessura em mais de 4mm abaixo de sua espessura nominal.

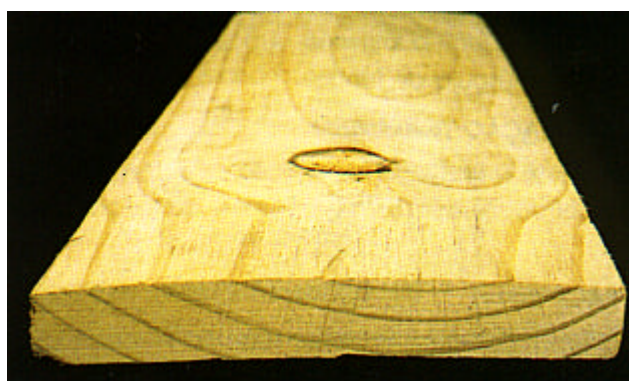


FOTO 15 – Encanoamento

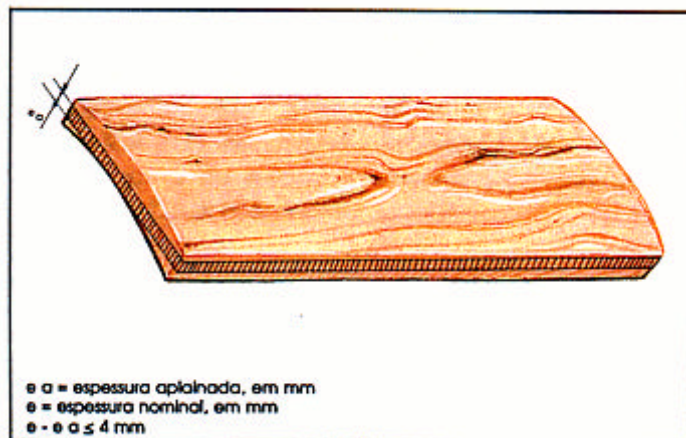


FIGURA 1 - Encanoamento

3.2 Arqueamento

É o empenamento longitudinal das bordas, provocando curvatura ao longo do comprimento da peça de madeira, num plano paralelo à face.

É permitido até uma flecha máxima de 5mm por metro, medida em relação ao comprimento total da peça.

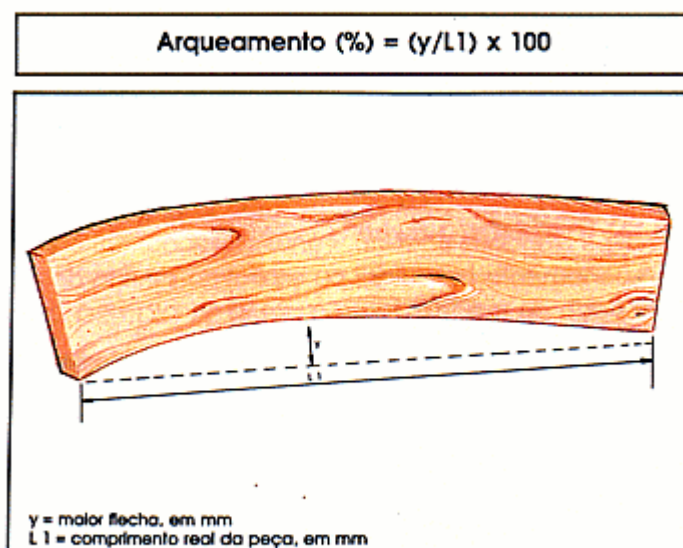


FIGURA 2 – Arqueamento

3.3 Encurvamento

É o empenamento longitudinal da face, provocando curvatura ao longo do comprimento da peça de madeira num plano perpendicular à face.

É permitido em peças maiores que 3 m de comprimento até uma flecha máxima de 5 mm por metro, medida em relação a todo o comprimento da peça.

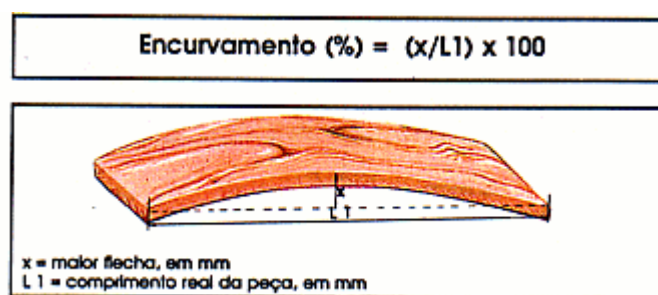


FIGURA 3– Encurvamento

3.4 Torcimento

É o empenamento helicoidal ou espiral no sentido do eixo da peça de madeira. Não é permitido.

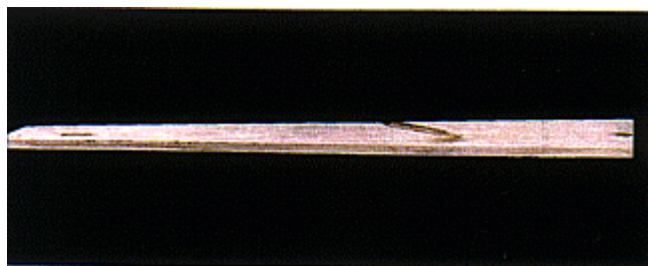


FOTO 16 – Torcimento

3.5 - Rachadura

É a separação dos elementos constituintes da madeira na direção longitudinal das fibras, afetando totalmente as dimensões da peça serrada. Usualmente são perpendiculares aos anéis de crescimento.

É limitada em função de que seu comprimento não deve exceder 1,5 vezes a largura da peça.



FOTO 17 - Rachadura

3.6 - Arestas quebradas (esmoados)

Ausência de madeira na quina da peça, originada geralmente da peça beneficiada da costaneira.

É permitido desde que não exceda 1/6 da largura da peça.



FOTO 18 - Esmoado

3.7 - Bolsa de Resina

Cavidade mais ou menos alongada e bem delimitada que contém resina. É permitida desde que não ocupe mais que 1/6 da largura da peça de madeira.



FOTO 19 – Bolsa de resina

Principais deficiências encontradas na utilização da classificação visual:

- ◆ requer um considerável manejo das peças, pois todos os lados devem ser examinados;
- ◆ admite resistência igual para as peças contendo os mesmos defeitos;
- ◆ considera apenas os defeitos aparentes;
- ◆ aplicação do sistema de classificação visual exige muita prática e experiência dos classificadores para o reconhecimento dos defeitos e das espécies de madeira;
- ◆ classificação das peças depende do julgamento humano;
- ◆ admite a resistência das peças estruturais a partir das propriedades de resistência média.

4.1.2 – Classificação Mecânica da Madeira.

De acordo com Melo (1981) a classificação por meios mecânicos possibilitou um avanço na metodologia para a caracterização estrutural das peças de madeira, substituindo os ensaios de pequenos corpos-de-prova isentos de defeitos pelo ensaio não destrutivo da peça a ser utilizada estruturalmente.

A classificação mecânica em função de sua simplicidade e eficiência, aliada a uma precisão satisfatória na determinação do módulo de elasticidade à flexão em peças estruturais, apresenta uma maior aceitação comercial.

Em virtude da dispersão dos valores nos módulos de elasticidade, da anisotropia e da heterogeneidade da madeira, diferentes módulos de elasticidade podem ser verificados numa mesma peça, dependendo da distribuição de suas características, do sistema de aplicação de carga e também do lado no qual a carga é aplicada. Grande parte dos equipamentos apresenta como tipo de teste, a aplicação da carga na direção perpendicular ao eixo de menor inércia (considerando-se como tábua). Isto, devido à maior facilidade de obtenção de grandes deflexões sob a ação de pequenas cargas, e também pelo fato da seção transversal das peças estruturais apresentarem normalmente maior variação de dimensão na altura do que na largura da seção.

A classificação mecânica apresenta as seguintes vantagens:

- ◆ proporciona melhores resultados do que a classificação visual;
- ◆ a medida da rigidez à flexão também é um bom indicador das resistências à tração e à compressão paralela às fibras da madeira;
- ◆ o módulo de elasticidade é melhor indicador de resistência das peças de madeira do que as medidas de defeitos;
- ◆ as peças de madeira são classificadas individualmente pelas suas próprias características, independente da espécie, considerando tanto a superfície como o interior da madeira.

Desta forma, a classificação mecânica permite aumentar significativamente a produção de peças do mais alto grau de qualidade e, conseqüentemente, o relativo alto custo do sistema será compensado pela larga e melhor utilização das madeiras para fins estruturais e como material de construção;

- ◆ a resistência é obtida na própria peça a ser utilizada estruturalmente;
- ◆ esse processo de classificação é rápido e tem baixo custo operacional quando comparado com outros processos físicos de classificação como radiação, vibração ou ultra-som.

Ainda segundo Melo (1981), as principais máquinas de classificação estrutural mecânica de madeira são as seguintes:

1. **Máquinas de primeira geração** ⇨ As primeiras máquinas datam de 1962 e estão baseadas na correlação entre a resistência à flexão e a rigidez à flexão.

◆ **Modelo CLT 1 " Continuous Lamber tester"**

Surgiu em 1962, fabricada por Potlatch Forests, Inc – USA. Mede a força necessária para provocar uma deformação constante de flexão a 15cm ao longo da peça. Aplica dois carregamentos no centro de vãos diferentes e direções opostas, vão livre de 122 cm.

A máquina faz leituras contínuas, registra a menor rigidez encontrada e a rigidez média é programada para as diferentes dimensões comerciais. Trabalha com velocidade operacional de 30 m/min a 300 m/min.

◆ **Modelo SOM " Stress O Matic "**

Fabricada por Western Pine Association – USA.

É um dos primeiros modelos fabricados, mede a deformação em uma direção provocada por uma força constante em um vão de 122 cm.

A máquina controla a deformação para não ultrapassar o limite máximo, reduzindo automaticamente a carga aplicada. O processo é contínuo e informa a máxima carga capaz de provocar a deformação limite. Velocidade de operação 120 m/min.

◆ **Micro – Stress Grading Machine**

De origem australiana, mede os módulos de elasticidade em quatro limites de deflexão pré-estabelecidos, com a peça solicitada como tábua. É necessário passar as peças na máquina de ambos os lados para compensar o efeito de possíveis empenos nas peças. Possui vão livre de 91,44 cm, opera com velocidade de até 30 m/min e apresenta sete níveis de classes de tensão.

◆ **Modelo Computermatic Grading Machine**

Surgiu em 1965, produzida por Plessey Telecommunications PTY LTD, Austrália.

Mede a deformação em uma direção a partir da aplicação de uma força fixa em um vão de 91,44 cm. Registra deformações em intervalos de 15,2 cm com cinco classificações de diferentes cores. Quando a peça sai da máquina, os últimos 76 cm são marcados com uma faixa mais larga correspondendo à cor de menor rigidez encontrada na peça.

Pode ser programada para os diversos tipos de seção transversal comercial.

2. **Máquinas de segunda geração** ⇨ Desenvolvidas a partir de 1970, são basicamente as mesmas máquinas de primeira geração nas quais foram eliminadas falhas de projeto que induziam erros provocados por vibrações e interferências no sistema de leitura de deformações das peças de madeira.

3. **Máquinas de terceira geração** ⇨ Não dependem mais da relação resistência / rigidez das peças, empregam métodos não destrutíveis de análise morfológica da madeira. Incluem exames ópticos, transmissões ultra-sônicas, vibrações, raio x, e microondas. Algumas máquinas combinam várias técnicas simultaneamente.

◆ **Modelo Stress – Ware MOE Computer**

Projetado nos EUA, define o valor do módulo de elasticidade medindo a velocidade de propagação do som na peça, combinado com sua densidade. A partir de um golpe dado em uma extremidade, mede-se o tempo gasto para a transmissão desse som. A classificação é feita com marcas coloridas e a velocidade operacional é de 10 peças / min.

◆ Máquinas para o processo Proof – Loading

Produzido por Hilleng Ptv Ltd, Austrália. Possui ação contínua, aplica simultaneamente duas forças na mesma direção, centradas no vão livre de 120 cm, equidistantes de 30 cm. O momento fletor constante no centro da peça provoca deformações que indicam a rigidez da peça. Um mecanismo especial remove a carga se a madeira romper ou ocorrer deformação excessiva. A velocidade operacional é de 3 peças / min.

5 – Classificadora Mecânica de Madeira: Computermatic MKP IVa

A classificadora MKP IVa classifica automaticamente peças estruturais de madeira serrada através da relação entre a resistência e a rigidez à flexão.

As peças recebem até cinco classificações que são indicadas com diferentes cores para facilitar o reconhecimento visual.

Para cada peça introduzida na máquina a curvatura natural e os deslocamentos causados pelos carregamentos são continuamente registrados por dois transdutores (A e B) que convertem os deslocamentos em sinais elétricos de saída.

Esses deslocamentos são medidos em intervalos de 15,2 cm ao longo da peça.

- O transdutor A mede os empenamentos naturais da peça nos intervalos acima referidos.
- O transdutor B mede o deslocamento da peça sob aplicação de uma carga aplicada pelo cilindro de carga.

A unidade de processamento registra a primeira leitura (transdutor A) e a segunda leitura

(transdutor B) nos mesmos pontos ao longo da peça. A programação realiza a diferença entre as leituras (B – A) e o valor é comparado com os limites dos intervalos de classificação programados a partir da peça de referência.

Todas as medidas são armazenadas em forma binária de oito bit e cada número representa um deslocamento de 0,1905mm.

A unidade de controle compensa a curvatura natural e compara a rigidez da peça nesses intervalos com a rigidez de uma peça padronizada ensaiada em laboratório.

A máquina aplica nos pontos testados pequenos jatos de tintas com cores diferentes, que correspondem às cinco possibilidades de graduação.

Essas cores são aplicadas em toda a extensão excluindo os primeiros 45,7 cm. A cor correspondente à menor rigidez encontrada na peça é aplicada em uma faixa contínua mais larga nos últimos 76 cm da peça.

Esse método de aplicar forças em peças de madeira com comprimento acima de 91,44 cm e testá-la a cada 15,2 cm detecta os defeitos internos que de outra forma não seriam observados em uma classificação visual.

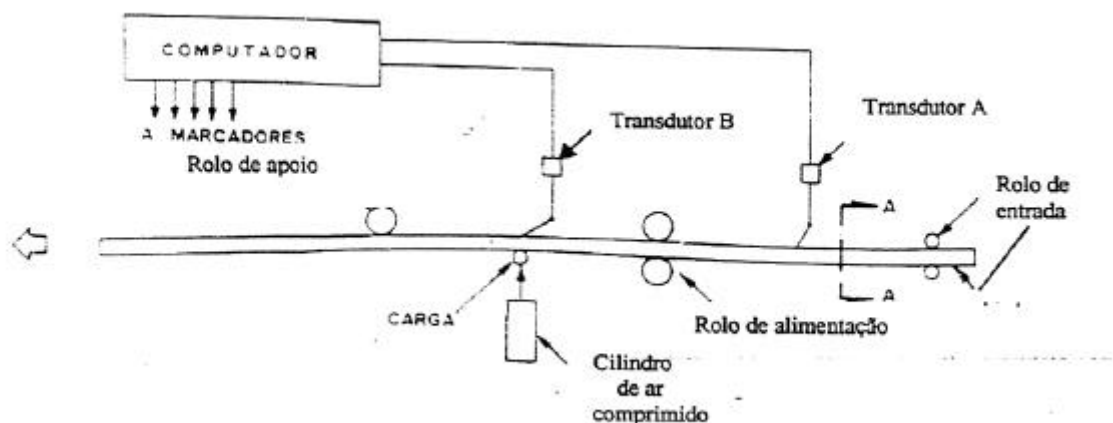


FIGURA 4 – Diagrama da Máquina Computermatic
Fonte: Melo (1981)

Este é um equipamento disponível hoje no IBAMA e que foi modificado, onde a unidade de controle que programa o sistema através de cartões com circuitos impressos, foi substituída por um atualizado sistema de automação.

A automação está composta por um avançado hardware da marca MITSUBISHI (CL P de 16 entradas e 16 saídas) FX2Nc – 32MT, o qual interliga-se a um microcomputador com configuração de pelo menos 32 Mb de RAM, 100 Mb livres no HD e um software que oferece as informações

(espécie, seção transversal, força) e adquirirá os dados gerados pela máquina (módulo de elasticidade das peças de madeira a cada 15,2 cm, seus deslocamentos, bem como a rigidez global da peça dada pelo menor valor. Grava em um banco de dados os resultados obtidos, possibilitando a baixa de estoque de segmentos de peça de madeira e da peça como um todo).

5.1 – Especificações Técnicas.

Como este é um equipamento disponível na empresa e que foi utilizado na classificação da madeira empregada na presente pesquisa, passamos a detalhar algumas de suas características:

- ◆ Compressor de ar: - Pressões operacionais de : 620 kPa ☞ mínima
862 kPa ☞ máxima

- ◆ Capacidade de trabalho:

- Cilindro de carga: 22250N ☞ máximo
- Altura da peça de madeira: 50,8 mm ☞ mínimo
304,8 mm ☞ máximo
- Espessura das peças de madeira: 25,4 mm ☞ mínimo
76,2 mm ☞ máximo
- Velocidade operacional: 23 – 152 m /min.
- Código de cores: 1 ☞ Azul
2 ☞ Verde
3 ☞ Amarelo
4 ☞ Púrpura
5 ☞ Vermelho
- Umidade Máxima: 95%

- ◆ Controle da carga e do tempo de acionamento do cilindro de carga

O cilindro de carga possui um mecanismo que determina o intervalo de tempo para aplicação da carga e o limitador, que limita o acionamento do cilindro de força. A tabela 2 indica as regulagens para definir a velocidade de classificação em relação ao tempo de acionamento da carga.

Tabela 2 – Velocidade da Máquina

Velocidade da Máquina (m/min)	Regulagem
25	2
30	3
60	5-3/4
90	7-1/4
120	8-1/2
150	9-1/4

Tabela 3 – Definição da carga aplicada

Carga Aplicada (N)	Pressão (kPa)		
	Ranger 1	Ranger 2	Ranger 3
300	73		
700	170		
1100	267		
2300	558	211	
3400	825	313	
4000		368	
5000		460	
6200		570	237
9200		846	352
10000			382
14000			535
22200			849

Cada espécie de madeira e tamanho de seção transversal requer a aplicação de uma carga específica para se obter precisão oficialmente reconhecida.

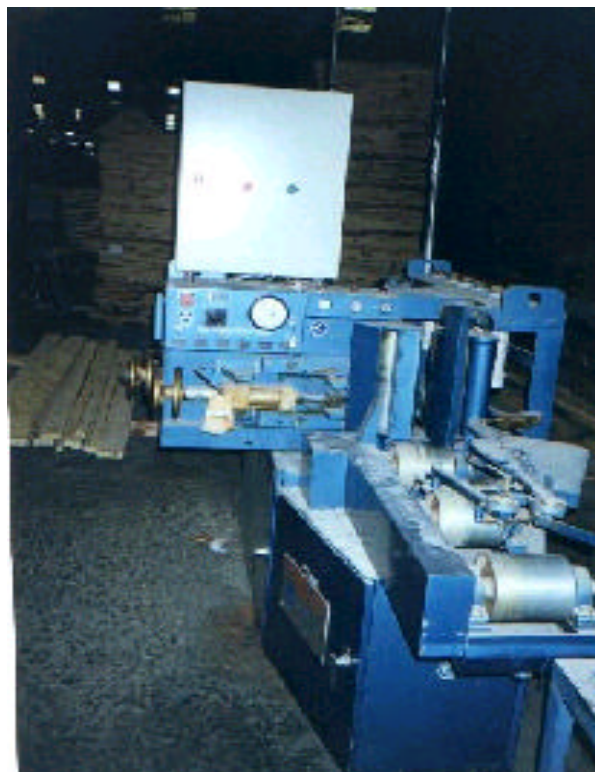


FOTO 20 – Máquina Comtermatic MKP IVa



FOTO 21 – Máquina Comtermatic MKP IVa

6 – Caracterização e descrição dos Materiais.

6.1 – Madeira

Toda a madeira utilizada é da espécie Pinus Taeda, originária da região serrana do Estado de Santa Catarina. De acordo com a NBR 7190/97, a resistência à compressão característica e o módulo de elasticidade médio à compressão, admitindo-se umidade de 12%, são apresentados na tabela 5 da Norma.

6.1.1 – Procedência da Madeira.

As primeiras mudas de pinus foram trazidas da região sudeste dos Estados Unidos, mas atualmente as mudas provêm de áreas de cultivo permanente, com manejo sustentável e próprio da empresa Battistella.

6.1.2 – Secagem da Madeira.

Todos os componentes de madeira na empresa Battistella são secados em estufa a vapor de alta temperatura (80° C a 130° C), oferecendo no fim do processo um teor máximo de umidade de 12%.

6.2 - Geometria e Composição da Viga Seção “T”

A viga seção “T” é composta com mesas em madeira maciça e mesas em LVL com seção 40x80mm e alma formada por um composto com seção 34x175mm,. oriundo de placa denominada na empresa por “blockboard”. A figura 5 apresenta a composição da placa blockboard. Estas dimensões, foram definidas a partir de um exemplar de viga recebida da empresa Meva, que a utiliza como escoramento de laje de concreto armado. Foram confeccionadas 6 vigas com mesa em madeira maciça e 3 vigas com mesa em LVL (Laminated Veneer Lumber).

6.2.1 - Madeira Maciça

Peças de madeira serrada e aparelhada nas 4 faces, com seção 40x80mm que compõe a mesa da viga. No topo e ao longo dessas peças são efetuadas usinagens dos chamados emendas dentadas (finger-joints).

6.2.2 - Composto tipo Placa Blockboard.

O composto resulta do refilamento da placa “blockboard”. Esta por sua vez é composta por um sarrafeado em madeira maciça revestido em ambas as faces por lâminas resultantes do desfolhamento de toras de pinus em torno automático. Na sua composição, a placa apresenta 2 camadas de lâminas com espessura de 3,2mm, superpostas, coladas entre si, com orientação das fibras de cada lâmina em direções contrárias, conforme ilustra a figura 5.

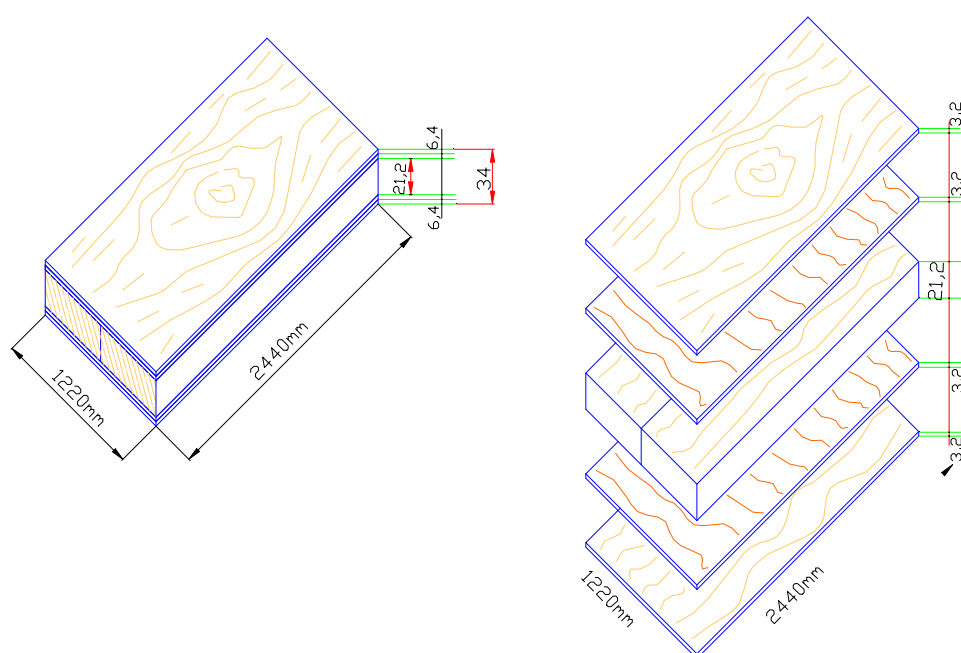


FIGURA 5 – Composto tipo Placa “Blockboard”



FOTO 22 – Colagem do sarrafeado de Madeira



FOTO 23 – Calibragem da espessura do Sarrafeado com Lixadeira



FOTO 24 – Prensagem do Composto Blockboard



FOTO 25 – Retirada do Composto “Blockboard” da prensa



FOTO 26 – Retirada do Composto “Blockboard” da prensa



FOTO 27 – Refilamento do Composto “Blockboard”



FOTO 28 – Refilamento do Composto “Blockboard” para obtenção das peças a serem usadas na alma da Viga “I”

6.3 – Geometria dos Entalhes Múltiplos (Finger-Joint).

Ao comparar a geometria da amostra recebida ($b = 3\text{mm}$; $l = 17\text{mm}$; $t = 12\text{mm}$) ao especificado pelas normas DIN 68140 (Ensaio de Vigas coladas) e DIN 1052 (Cálculo de Estruturas coladas), verifica-se que este perfil de junta enquadra-se no grupo de pressão II, onde o limite para a espessura da ponta do dente (b) pode chegar a 5mm, porém não deve exceder 10% da largura total (g) da junta de fixação, conforme figuras 6 e 7.

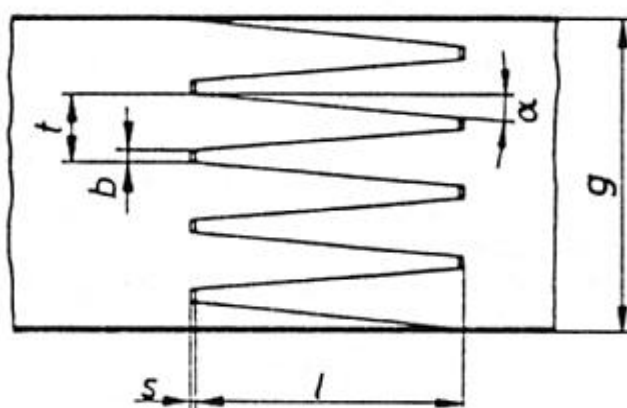


FIGURA 6 – Geometria finger-joint

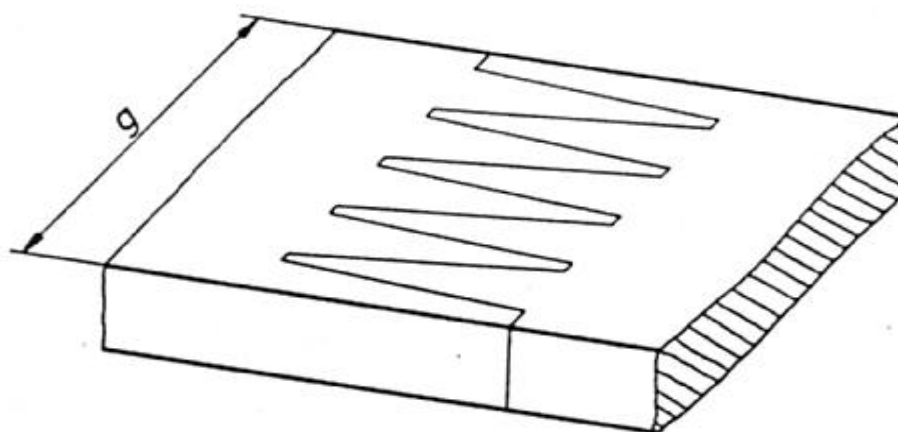


FIGURA 7 – Largura da base da junta

Vale salientar que essa relação geométrica na definição dos entalhes a serem usinados considera o seu emprego na união longitudinal entre a mesa e a alma, o que favorece a justaposição entre as peças e não uma união de continuidade de uma peça de madeira destinada a uma solicitação, por exemplo, em tração, pois neste caso a geometria dos entalhes deveria ser compatível a grandes esforços solicitantes, para as emendas de continuidade.

Para comprimento dos dentes $l > 10 \text{ mm}$ $\Leftrightarrow l = 4 t (1 - 2 v)$, onde :

$t = 12 \text{ mm}$

$$v = \frac{b}{t} = \frac{4}{12} \Leftrightarrow v = 0,33 \quad \text{neste caso} \Leftrightarrow l = 16,32 \text{ mm} \Leftrightarrow \text{e foi adotado } l = 17 \text{ mm}$$



FOTO 29 – Fresa finger-joint



FOTO 30 – Confeção do Finger-Joint na Alma



FOTO 31 – Finger-Joint na Alma da Viga



FOTO 32 – Confecção do Finger-Joint na Mesa da Viga



FOTO 33 – Finger-Joint na Mesa da Viga

6.4 - Colagem das Madeiras.

A placa “blockboard” que origina o composto refilado utiliza no seu processo de colagem o adesivo fenol-formaldeído à prova d'água, atendendo a norma britânica BS 1455.

Na união das peças de madeira maciça que compõem a mesa com a peça da alma, na formação da viga “T”, onde foi realizada a usinagem de entalhes múltiplos, foi utilizada a colagem com adesivo estrutural resorcinol-formaldeído (Cascofen RS- 216M com seu catalisador FM – 60M) conforme fotos 34 e 35. As vigas foram submetidas a uma pressão mínima de 5 daN/cm², por 6hs a uma temperatura ambiente de 25° C, como ilustra foto 36.



FOTO 34 – Aplicação manual de cola na mesa e na alma



FOTO 35 – União de mesa e alma da Viga “T”



FOTO 36 – Prensagem manual das Vigas



FOTO 37 – Retirada das Vigas da prensa

6.5 – Determinação do Módulo de Elasticidade na Classificadora Mecânica MKP - IVa

Como já mencionado, a classificadora é uma máquina de primeira geração que classifica automaticamente peças estruturais de madeira serrada, através da rigidez à flexão.

A máquina tem como principais vantagens a precisão na avaliação da madeira e a agilidade no processo de classificação.

As peças podem receber até cinco níveis de classificação que são indicadas com as cores azul, verde, amarelo, púrpura e vermelho, necessárias para o reconhecimento visual.

A máquina usa um processador de informações para coordenar e controlar as várias operações em cada peça de madeira. Esses dados são automaticamente repassados ao computador, obtendo-se a máxima confiabilidade nos resultados. Desta forma, obtém-se um valor médio de rigidez, qualquer que seja a espécie da madeira utilizada, pois as peças são classificadas individualmente pelas suas características próprias. Este método de aplicar forças em peças de madeira (sem causar danos ao produto) detecta os defeitos internos que não seriam observados em uma classificação visual.







6.5.1 – Características do ensaio para Classificação Mecânica.

Para a determinação do módulo de elasticidade das peças de madeira que compõe a mesa e a alma das vigas de seção “I”, atribuiu-se os seguintes dados:

Tabela 4 – Características para Classificação Mecânica com o equipamento empregado

INTERVALOS DE MÓDULO DE ELASTICIDADE	
CORES	FAIXAS
AZUL	100 daN/cm ²50000 daNcm ²
VERDE	50001 daN/cm ²60000 daN/cm ²
AMARELO	60001 daN/cm ²80000 daN/cm ²
PÚRPURA	80001 daN/cm ²100000 daN/cm ²
VERMELHO	100001 daN/cm ²1000000 daN/cm ²
VELOCIDADE DA MÁQUINA = 25m/minuto	
PRESSÃO = 243 kPa	
RANGER 1 ⚙️ CARGA APLICADA = 100daN	

Tabela 5 – Intervalos de Módulo obtidos na Classificação Mecânica

PEÇA DE MADEIRA	INTERVALO OBTIDO
Mesa Maciça	Faixa – Cor Vermelho  (Foto 38)
	Faixa – Cor Púrpura/Vermelho  (Foto 39)
	Faixa – Cor Verde/Amarelo  (Foto 40)
Mesa LVL	Faixa – Cor Vermelho  (Foto 41)
ALMA	Faixa – Cor Púrpura  (Foto 42)
	Faixa – Cor Vermelho  (Foto 43)

Através dos valores de módulo de elasticidade médio obtidos na classificadora mecânica para cada uma das peças de madeira que compõem a viga “I”, procurou-se estimar um valor de módulo de elasticidade para o conjunto, antes do ensaio de laboratório. Este cálculo do módulo de elasticidade estimado considerou um processo de homogeneização da seção através da seguinte equação:

$$E \cdot I = \sum_{i=1}^3 E^i \cdot I^i \quad E = \frac{E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2 + E_3 \cdot I_3}{I}$$

Tabela 6 – Módulos de Elasticidade da Composição de Peças da Classificação Mecânica estimado e o resultado obtido nos ensaios de laboratório realizados com as vigas I.

VIGA	MESA	ALMA	MÓDULO DE ELASTICIDADE ESTIMADO	MÓDULO DE ELASTICIDADE DO ENSAIO	VARIAÇÃO (%)
V1	Maciça 116750 daN/cm ² 59635 daN/cm ²	123852 daN/cm ²	94209 daN/cm ²	93502 daN/cm ²	0,756
V2	Maciça 105920 daN/cm ² 97631 daN/cm ²	96580 daN/cm ²	100898 daN/cm ²	100003 daN/cm ²	0,895
V3	Maciça 118470 daN/cm ² 99772 daN/cm ²	98885 daN/cm ²	107228 daN/cm ²	108160 daN/cm ²	0,869
V4	Maciça 107981 daN/cm ² 88484 daN/cm ²	122278 daN/cm ²	102289 daN/cm ²	97912 daN/cm ²	4,47
V5	Maciço 117978 daN/cm ² 119968 daN/cm ²	131975 daN/cm ²	121167 daN/cm ²	124813 daN/cm ²	3,01
V6	Maciça 111745 daN/cm ² 117953 daN/cm ²	130849 daN/cm ²	117549 daN/cm ²	115084 daN/cm ²	2,14
V1	LVL 149245 daN/cm ² 148342 daN/cm ²	134933 daN/cm ²	146455 daN/cm ²	138522 daN/cm ²	5,73
V2	LVL 138281 daN/cm ² 134580 daN/cm ²	98350 daN/cm ²	129836 daN/cm ²	125718 daN/cm ²	3,28
V3	LVL 153665 daN/cm ² 151759 daN/cm ²	134742 daN/cm ²	149680 daN/cm ²	155133 daN/cm ²	3,64

Observa-se na tabela 6, com base nos resultados obtidos na máquina classificadora e nos ensaios, que a variação máxima registrada para o valor estimado não ultrapassou 6%. Isto indica uma grande confiabilidade nos resultados estimados a partir da classificadora mecânica diante do real comportamento verificado experimentalmente. Mostrando desta forma, a importância de uma classificação visual, aliada a uma classificação mecânica da madeira.

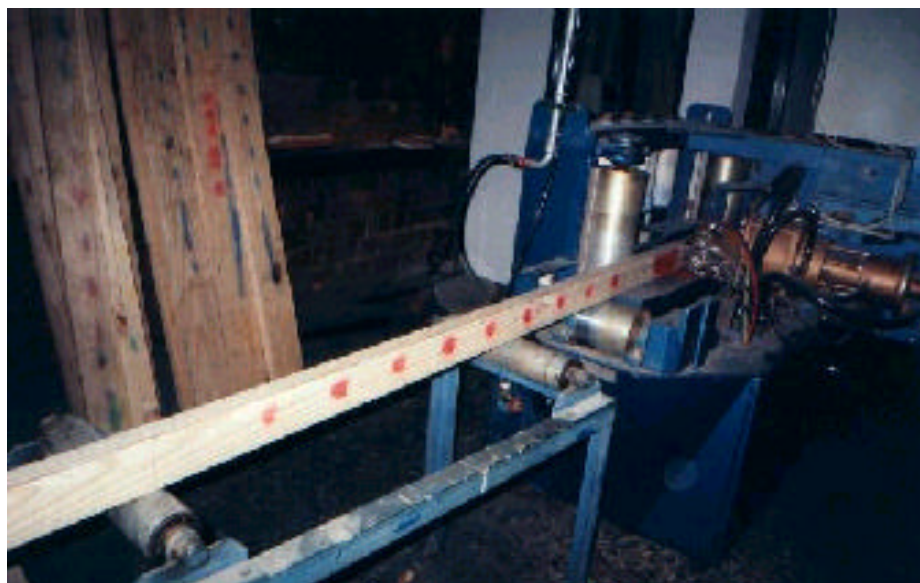


FOTO 38 – Classificação Mecânica – Mesa Maciça – Cor Vermelho

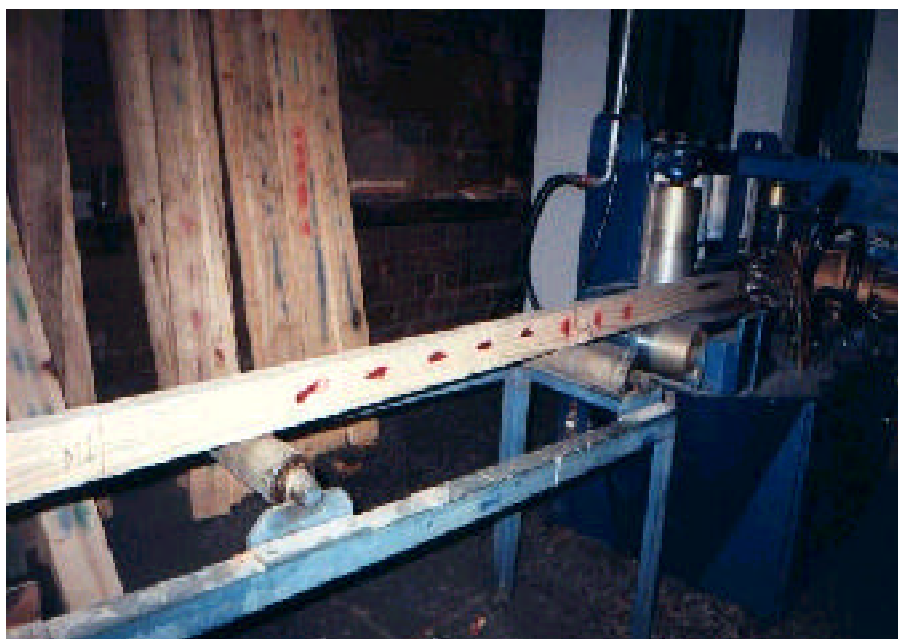


FOTO 39 – Classificação Mecânica – Mesa Maciça – Cor Púrpura/Vermelho



FOTO 40 – Classificação Mecânica – Mesa Maciça – Cor Verde /Amarelo



FOTO 41 – Classificação Mecânica – Mesa LVL – Cor Vermelho



FOTO 42 – Classificação Mecânica – Alma – Composto “Blockboard” – Cor Púrpura

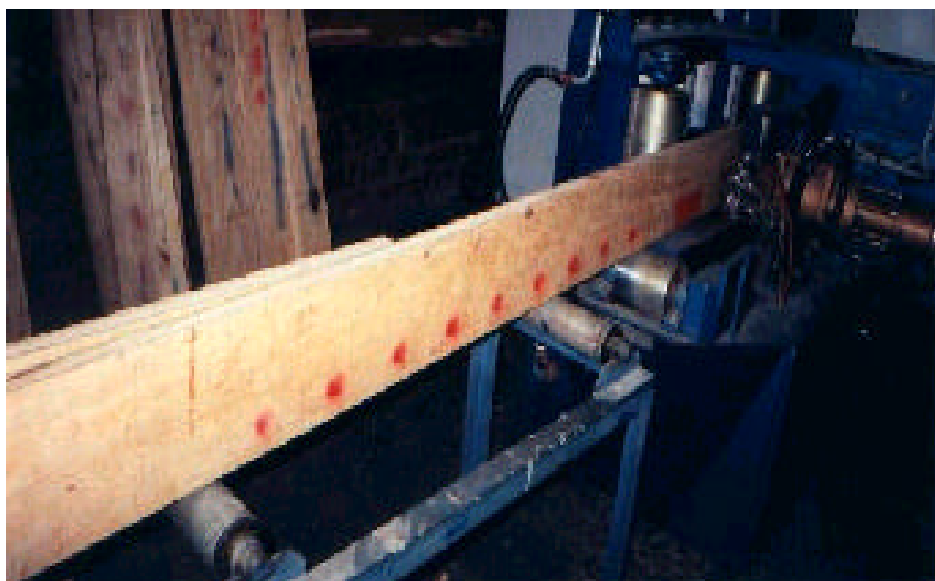


FOTO 43 – Classificação Mecânica – Alma- Composto “Blockboard” – Cor Vermelho

7 - Procedimento de Cálculo

Através das características mecânicas dos materiais que compõem a viga e da amostra de viga recebida da empresa Meva (SP) que a utiliza como escoramento de laje, procurou-se fazer uma avaliação da distribuição dos esforços internos no momento da ruptura.

A análise do comportamento mecânico do elemento estrutural para à ação dos esforços internos, foi realizada considerando todo o elemento estrutural como madeira maciça.

As análises foram realizadas tendo em vista o que segue:

- ◆ Efeito da **tensão normal** à seção transversal da viga – ocasionada pelo **momento fletor**.
- ◆ Efeito da **tensão de cisalhamento** – ocasionada pelo **esforço cortante**, tanto no caso da tensão máxima de cisalhamento ocorrendo sobre a linha neutra, como no caso da região da união entre a mesa e a alma, uma vez que existe neste ponto um enfraquecimento causado pela usinagem dos entalhes múltiplos, pois as pontas dos dentes devem ser consideradas como descontinuidade na largura da seção transversal a ser submetida ao cisalhamento.

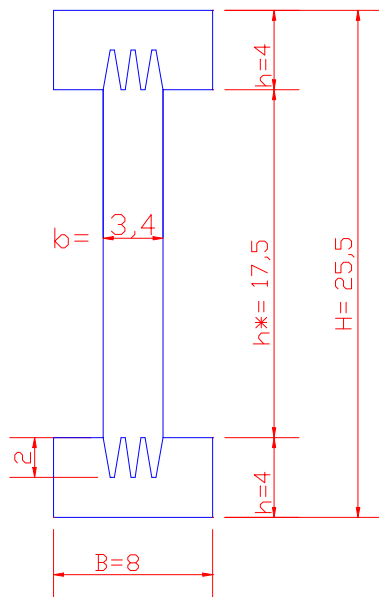


FIGURA 8 – Seção Transversal (cm)

7.1 - Cálculo do momento de inércia

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{8 \times (25,5)^3}{12} - 2 \left[\frac{2,3 \times (17,5)^3}{12} \right]$$

$$I = 8999,82 \text{ cm}^4$$

7.2 - Cálculo do Momento Estático

7.2.1 - Cálculo do momento estático máximo

$$M_{sm\acute{a}x} = h \times B \times (h^*/2 + h/2) + b \times h^*/2 \times h^*/4$$

$$M_{sm\acute{a}x} = 4 \times 8 \times 10,75 + 3,4 \times 8,75 \times 4,375$$

$$M_{sm\acute{a}x} = 474,16 \text{ cm}^3$$

Neste caso: $b_o = 3,4 \text{ cm}$

7.2.2 - Cálculo do Momento Estático na junção mesa / alma

$$M_{sJ} = h \times B \times (h^*/2 + h/2)$$

$$M_{sJ} = 4 \times 8 \times 10,75$$

$$M_{sJ} = 344 \text{ cm}^3$$

Neste caso: $b_o = 3,4 - 2 \times (\text{extremidade do dente} = 4\text{mm})$

7.3 - Critério de dimensionamento

De acordo com a norma NBR 7190/97, os valores das tensões normais à seção transversal da peça e das tensões de cisalhamento serão determinados conforme conceitos da teoria clássica da resistência dos materiais e, serão considerados convencionais no momento da ruptura, analisando-se o tipo de ruptura ocorrida.

7.3.1 - Tensão Normal

$$\hat{\sigma} = \frac{M \cdot y}{I}$$

Onde: M = momento Fletor

y = distância entre o centro de gravidade da seção (eixo x-x) e a fibra considerada

I = momento de inércia da seção transversal resistente em relação ao eixo central de inércia perpendicular ao plano de ação do momento fletor atuante.

$$\hat{\sigma} = \frac{M \cdot y}{I} = \frac{P/2 \cdot a \cdot y}{I} = \frac{P/2 \cdot 70 \cdot 12,75}{8999,82}$$

$$\hat{\sigma} = 4,96 \times 10^{-2} P$$

7.3.2- Efeito da Tensão de Cisalhamento

$$\hat{\tau} = \frac{V \cdot Ms}{b \cdot I}$$

7.3.2.1 - Tensão de Cisalhamento na linha neutra (L.N.)

$$\hat{\tau} = \frac{V \cdot Ms}{b \cdot I} = \frac{P/2 \cdot 474,16}{3,4 \cdot 8999,82} \quad \Rightarrow \quad \hat{\tau} = 7,75 \times 10^{-3} P$$

7.3.2.2 - Tensão de Cisalhamento na junta enfraquecida pelos entalhes múltiplos

- Cálculo de b̄

$$b̄ = b - 2 \cdot \hat{a}$$

$$b̄ = 34 - 2 \cdot 4 = 26\text{mm} = 2,6\text{cm}$$

Obs: \hat{a} = espessura da ponta do entalhe múltiplo

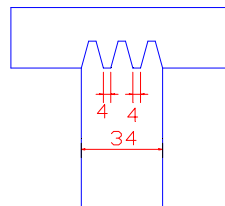


FIGURA 9 – Detalhe da Seção para bo

- Tensão de Cisalhamento na junta enfraquecida

$$\hat{\sigma} = \frac{V \cdot Ms}{b_o \cdot I} = \frac{P/2 \cdot 344}{2,6 \cdot 8999,82} \quad \Rightarrow \quad \hat{\sigma} = 7,35 \times 10^{-3} P$$

Observa-se, no caso do cisalhamento, que está havendo um perfeito equilíbrio entre a tensão que teoricamente ocorre sobre a linha neutra e a que ocorre na região da união entre a mesa e a alma, onde a seção foi enfraquecida pela usinagem dos entalhes múltiplos.

Isto indica uma boa adequação da geometria utilizada para esses dentes, pois tanto na linha neutra como nessa região a tensão de cisalhamento atingiria valores semelhantes.

7.3.3 - Elasticidade

Para este caso específico de ensaio, onde tem-se vigas curtas e altas, deve-se levar em consideração a parcela do esforço cortante.

$$f_{\max} = \frac{P \cdot a}{48 \cdot E \cdot I} [3 \cdot l^2 - 4 \cdot a^2] + \div \frac{P \cdot a}{2 \cdot G \cdot S}$$

Supondo módulo de elasticidade homogêneo temos:

Coefficiente de forma $\varphi \div = 1,63$
Díaz (2002)

$$f_{\max} = \frac{P \cdot a}{48 \cdot E \cdot I} [3 \cdot l^2 - 4 \cdot a^2] + \div \frac{P \cdot a \cdot 20}{2 \cdot S \cdot E}$$

$$G = E / 20 - \text{NBR 7190/97}$$

$$f_{L/2} = \frac{P \cdot a}{E} \left[\frac{3 \cdot l^2 - 4 \cdot a^2}{48 \cdot I} + \div \frac{10}{S} \right]$$

$$E = \frac{P \cdot a}{f_{L/2}} \left[\frac{S (3 \cdot l^2 - 4 \cdot a^2) + \div 480 \cdot I}{48 \cdot I \cdot S} \right]$$

8 - Resultados de ensaio

Com o objetivo de se ter uma ordem de grandeza das solicitações, no momento da ruptura das vigas “I” que foram ensaiadas em flexão a quatro pontos, utilizaram as expressões indicadas anteriormente para se obter os valores médios representativos das vigas ensaiadas com diferentes composições entre mesa e alma.

8.1 – Método de Ensaio

Utilizou-se para o ensaio da viga um pórtico e prensa Losenasen com capacidade de 20000 daN do Laboratório de Experimentação em Estruturas (LEE – UFSC).

O carregamento se deu em estágios de 200daN de forma contínua e progressiva, sendo que o esquema de aplicação de cargas pode ser visto na figura 10 abaixo. Foi realizado monitoramento dos pontos no meio da viga e medidos os deslocamentos verticais com relógio de precisão de centésimo de milímetro.

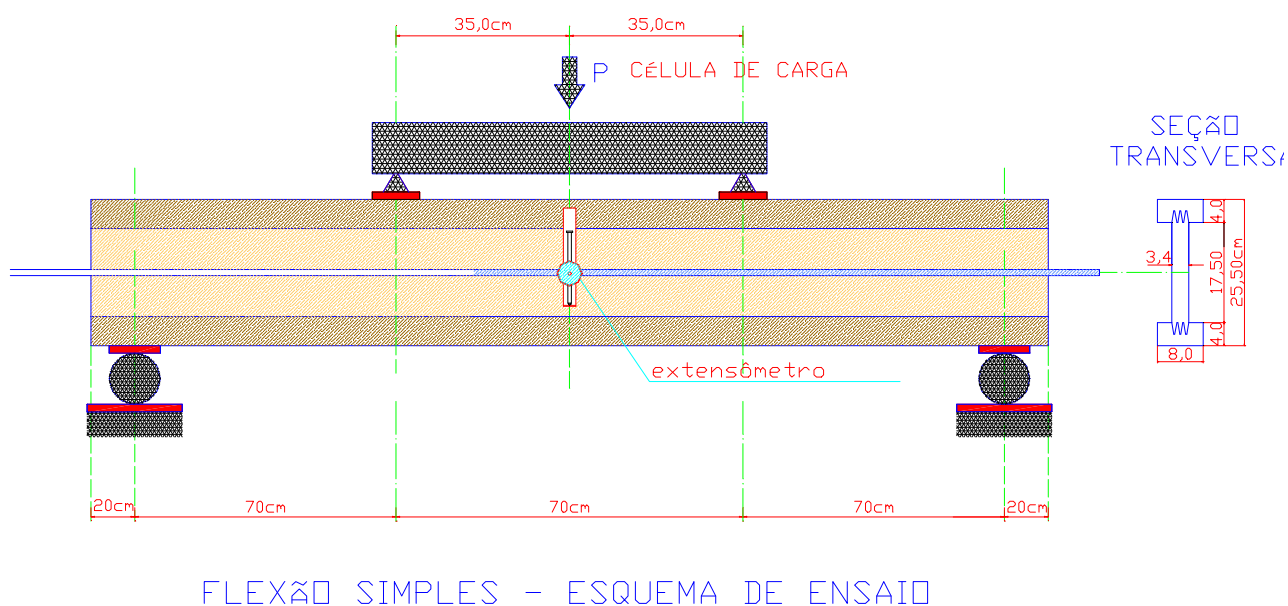


FIGURA 10 – Sistema de Carregamento



FOTO 44 – Sistema de Carregamento e leitura da Flecha

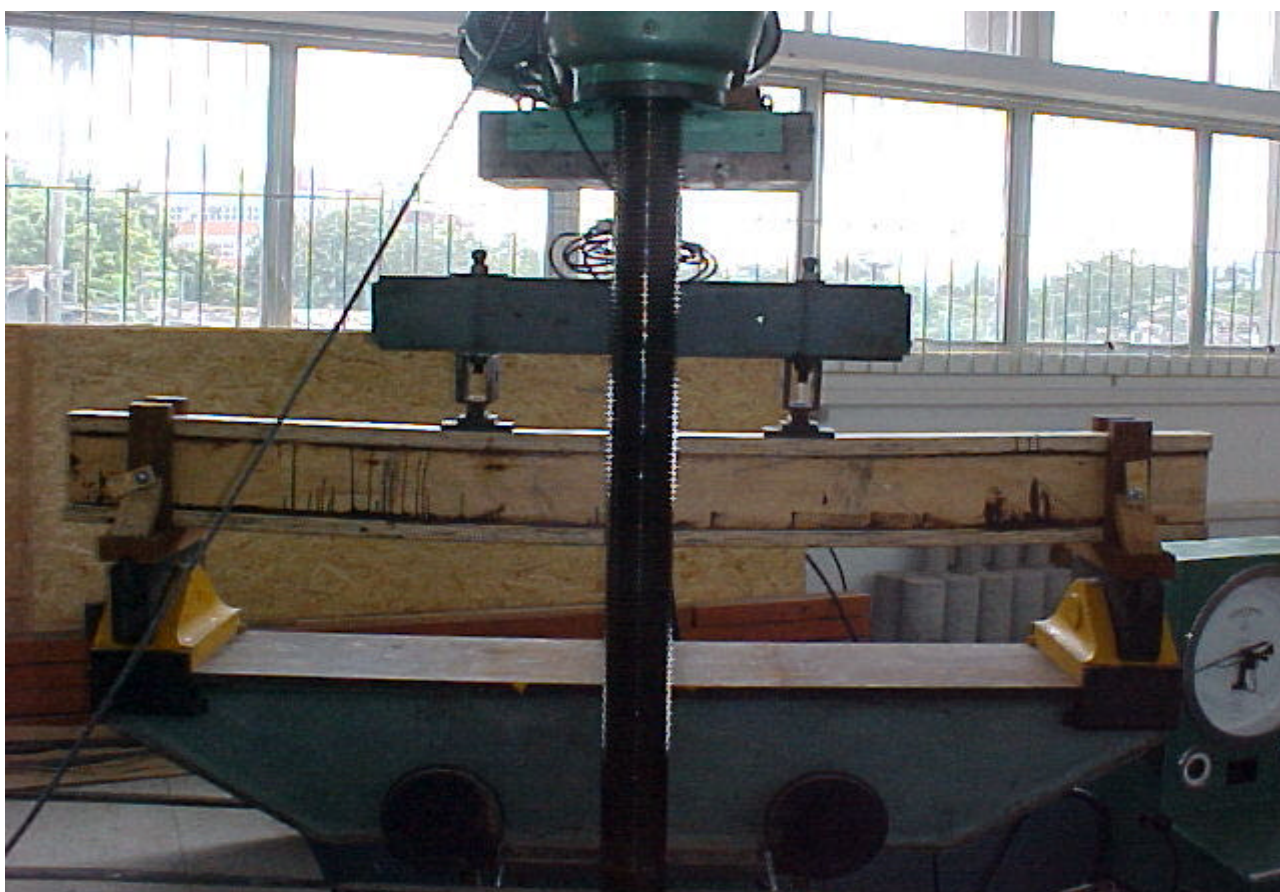


FOTO 45 – Sistema de Carregamento

8.2 - Exemplos de Diagrama Carga X Deslocamento

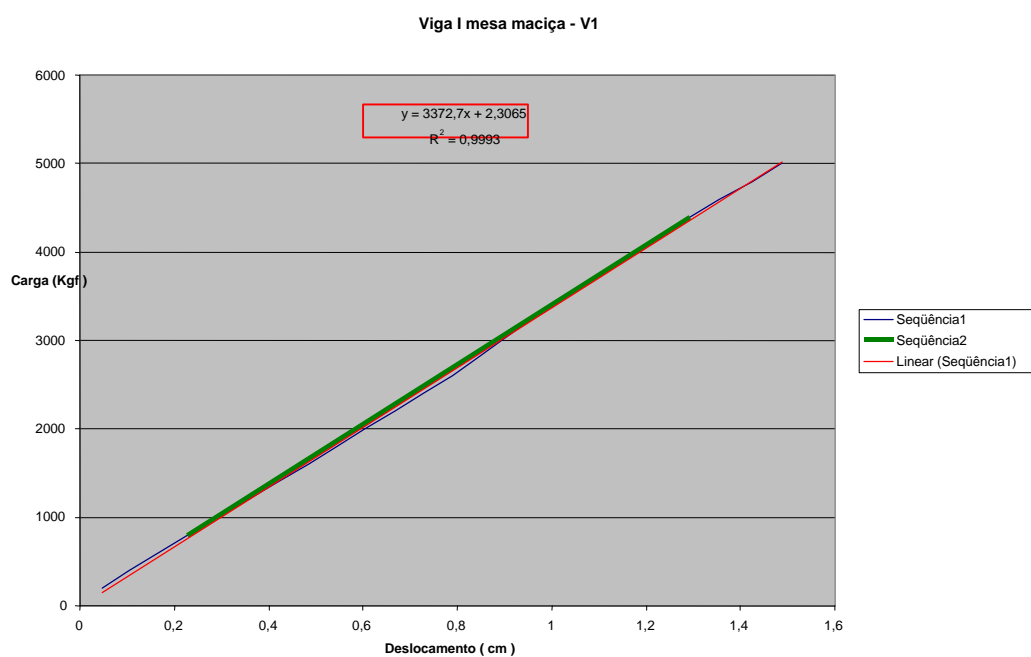


FIGURA 11 – Diagrama de Carga e Deslocamento Viga – V1- Mesa Maciça

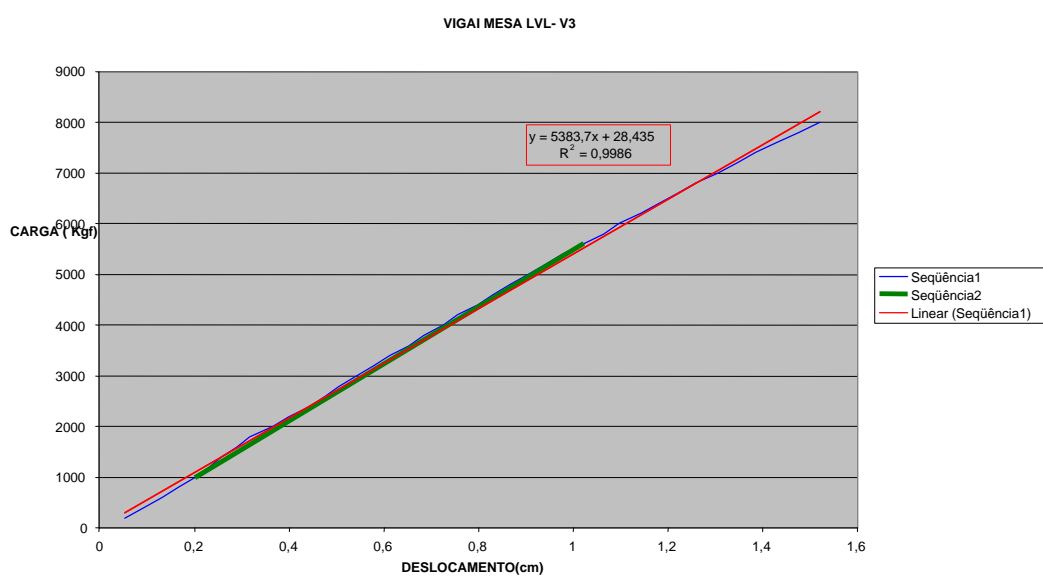


FIGURA 12 – Diagrama de Carga e Deslocamento Viga - V3 – Mesa LVL

8.3 – Resultados das tensões

Segundo 6.6.3.1 Tensão Normal

$$\sigma = 4,96 \times 10^{-2} P$$

a) Viga com mesa madeira maciça (V1) no momento da ruptura

$$\sigma_{rup.} = 4,96 \times 10^{-2} \cdot 8500 \Rightarrow \sigma_{rup} = 421,60 \text{ daN/cm}^2$$

b) Viga com mesa em LVL (V3)

$$\sigma_{rup.} = 4,96 \times 10^{-2} \cdot 11000 \Rightarrow \sigma_{rup} = 545,60 \text{ daN/cm}^2$$

Para o item 6.6.3.2.1, situação mais crítica de tensão de cisalhamento que ocorreu na linha neutra, temos:

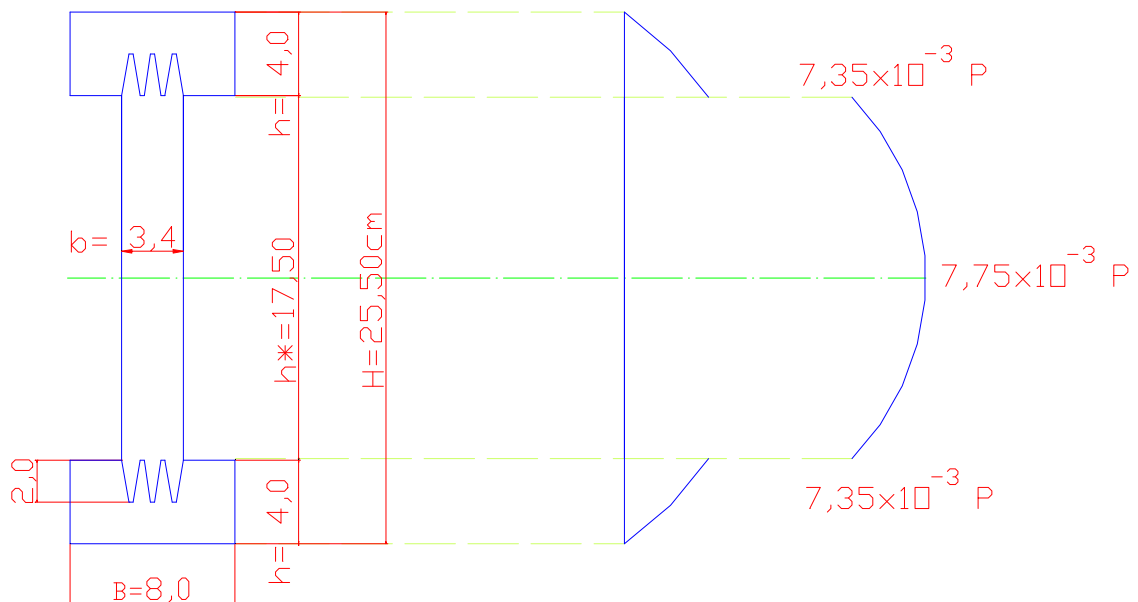


FIGURA 13 – Diagrama de Tensões de Cisalhamento

a) **Viga com mesa em madeira maciça (V1) no momento da ruptura**

$$\hat{\sigma} = 7,75 \times 10^{-3} P$$

$$\hat{\sigma}_{rup.LN} = 7,75 \times 10^{-3} \cdot 8500 \Leftrightarrow \hat{\sigma}_{rup.LN} = 65,88 \text{ daN/cm}^2$$

$$\hat{\sigma}_{rup.A/M} = 7,35 \times 10^{-3} \cdot 8500 \Leftrightarrow \hat{\sigma}_{rup.A/M} = 62,48 \text{ daN/cm}^2$$

b) **Viga com mesa LVL (V3) no momento da ruptura**

$$\hat{\sigma}_{rup.LN} = 7,75 \times 10^{-3} \cdot 11000 \Leftrightarrow \hat{\sigma}_{rup.LN} = 85,25 \text{ daN/cm}^2$$

$$\hat{\sigma}_{rup.A/M} = 7,35 \times 10^{-3} \cdot 11000 \Leftrightarrow \hat{\sigma}_{rup.A/M} = 80,85 \text{ daN/cm}^2$$

Para o item 6.6.3.3 – Elasticidade

$$E = \frac{\ddot{A}P.a}{\ddot{A}fL/2} \left[\frac{S(3l^2 - 4a^2) + \div 480 I}{48 I S} \right]$$

De acordo com a Norma, o módulo de elasticidade é determinado no trecho linear do diagrama carga deslocamento, dado pela inclinação da reta secante à curva carga deslocamento no meio do vão, definida pelos pontos (P10% ; f 10%) e (P50% ; f 50%) correspondentes respectivamente a 10% e 50% da carga máxima de ensaio. Onde:

$$\ddot{A}f = \frac{P50\% - P10\%}{f 50\% - f 10\%}$$

Para a viga V1 – Mesa maciça : $\ddot{A}P = 4250 - 850 = 3400 \text{ daN}$

$$\ddot{A}f = 1,2477 - 0,2440 = 1,00 \text{ cm}$$

$$E1 = \frac{3400.70}{1,00} \left[\frac{123,5 (3. 210^2 - 4. 70^2) + 1,63.480.8999,82}{48 .8999,82 . 123,5} \right]$$

÷ = coeficiente de forma para seção I = 1,63

E1 = 93.502,74 daN/cm² ⇨ Viga maciça - V1

Para a Viga V3 – Mesa LVL : $\ddot{A}P = 5500 - 1100 = 4400$ daN

$$\ddot{A}f = 1,00 - 0,2162 = 0,78 \text{ cm}$$

$$E3 = \frac{4400.70}{0,78} \left[\frac{123,5 (3. 210^2 - 4. 70^2) + 1,63.480.8999,82}{48 .8999,82 . 123,5} \right]$$

E3 = 155.132,75 daN/cm² ⇨ Viga LVL - V3

Tabela 7 - Apresentação dos Resultados dos Ensaios das Vigas

Identificação	Carga de Ruptura (daN)	Módulo de Ruptura (daN/cm ²)			Módulo de Elasticidade (daN/cm ²)	Tipo de Ruptura	Valores Médios
		Normal	Cis. A/M	Cis. LN			
V1 – Mesa madeira maciça	8.500	421,6	62,5	65,9	93.502,74	Flexão com cisalhamento	$P_{rup}=8461,6da\ N$ $\hat{O}_N = 419,7daN/cm^2$ $\hat{O}_{LN} = 65,6\ daN/cm^2$ $\hat{O}_{A/M} = 62,2\ daN/cm^2$ $E=106.579,30daN/cm^2$
V2 – Mesa madeira maciça	7.970	395,3	58,6	61,8	100.002,93	Flexão com tração na mesa inferior junto ao nó.	
V3 – Mesa madeira maciça	8.100	401,8	59,5	62,8	108.160,49	Flexão com tração na mesa inferior	
V4 – Mesa madeira maciça	8.600	426,6	63,2	66,7	97.912,20	Flexão com instabilidade lateral	
V5 – Mesa madeira maciça	8.200	406,7	60,3	63,5	124.813,40	Flexão com tração inferior mesa	
V6 – Mesa madeira maciça	9.400	466,2	69,1	72,9	115.084,06	Flexão com instabilidade lateral	
V1 – Mesa LVL	10.200	505,9	75,0	79,0	138.522,58	Flexão com instabilidade lateral	$P_{rup}= 10000\ daN$ $\hat{O}_N =496,0\ daN/cm^2$ $\hat{O}_{LN}= 77,5\ daN/cm^2$ $\hat{O}_{A/M} = 73,5\ daN/cm^2$ $E=139791,10\ daN/cm^2$
V2 – Mesa LVL	8.800	436,5	64,7	68,2	125.717,97	Flexão com tração na mesa inferior	
V3 – Mesa LVL	11.000	545,6	80,9	85,2	155.132,75	Ocorreu importante deformação por compressão Normal na mesa superior	

Considerando os valores médios dos módulos de elasticidade desta tabela, os quais foram obtidos no ensaio de flexão e considerando ainda o que indica o item 6.3.4 da NBR-7190/97 sobre a caracterização da rigidez da madeira, temos que para efeito de comparação com os valores da tabela 8-classe de resistência das coníferas, a norma admite a relação $E_M = 0,85 E_{CO}$ para espécies Coníferas. Logo:

$$E_{co} = \frac{E_M}{0,85}$$

Observa-se então que os valores estão acima do referido na classe C25 da norma, que estabeleceria para efeito de comparação, um valor $E_{co} = 85000\ daN/cm^2$.

8.4 – Exemplos dos Tipos de Ruptura

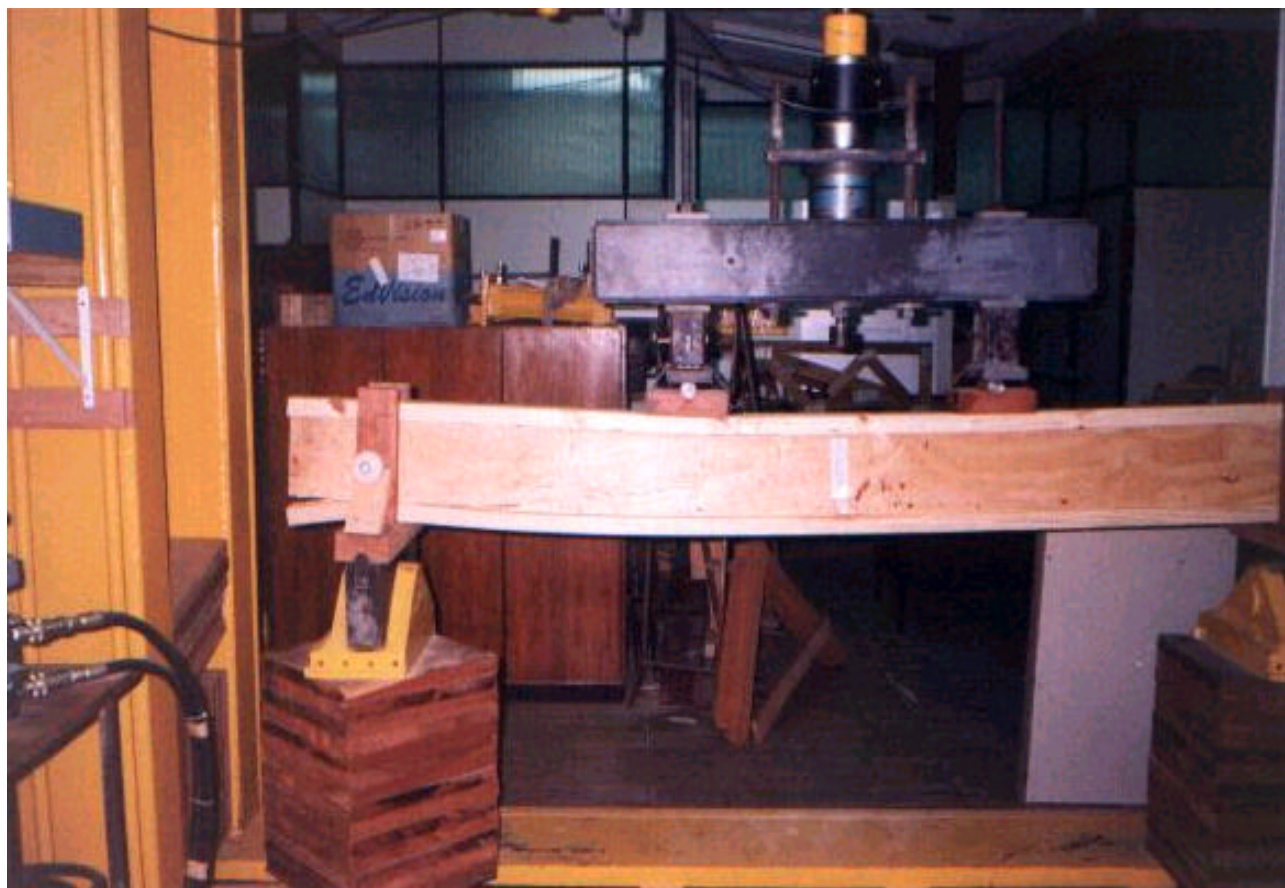


FOTO 46 – Ruptura da Viga Mesa Maciça – V1 – Flexão e Cisalhamento na região da união da Mesa com a Alma

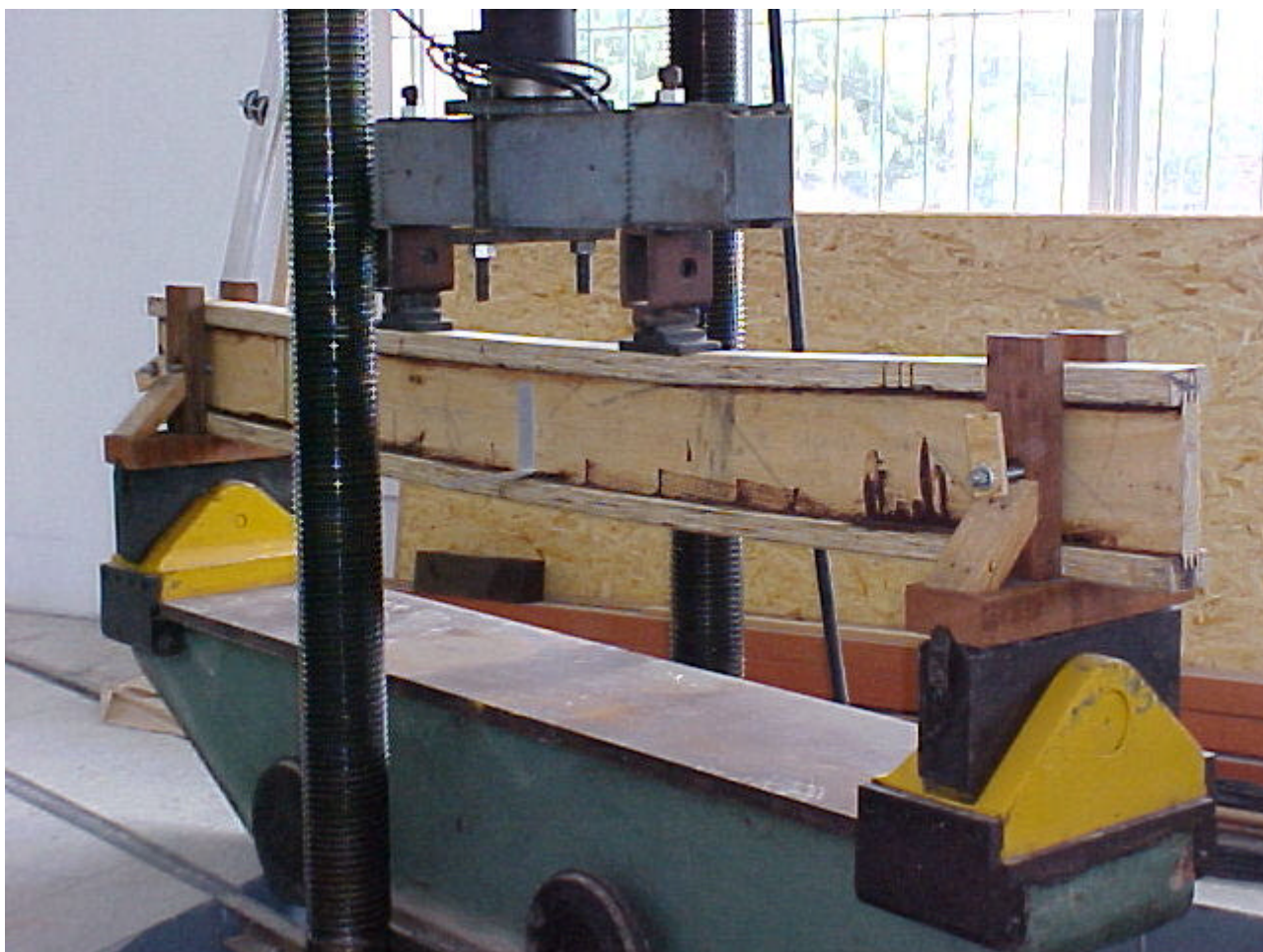


FOTO 47 – Ruptura da Viga Mesa Maciça – V2 – Flexão e Tração da Mesa inferior junto a um nó.



FOTO 48 – Ruptura da Viga Mesa Maciça – V2 – Flexão e Tração da Mesa inferior junto a um nó.

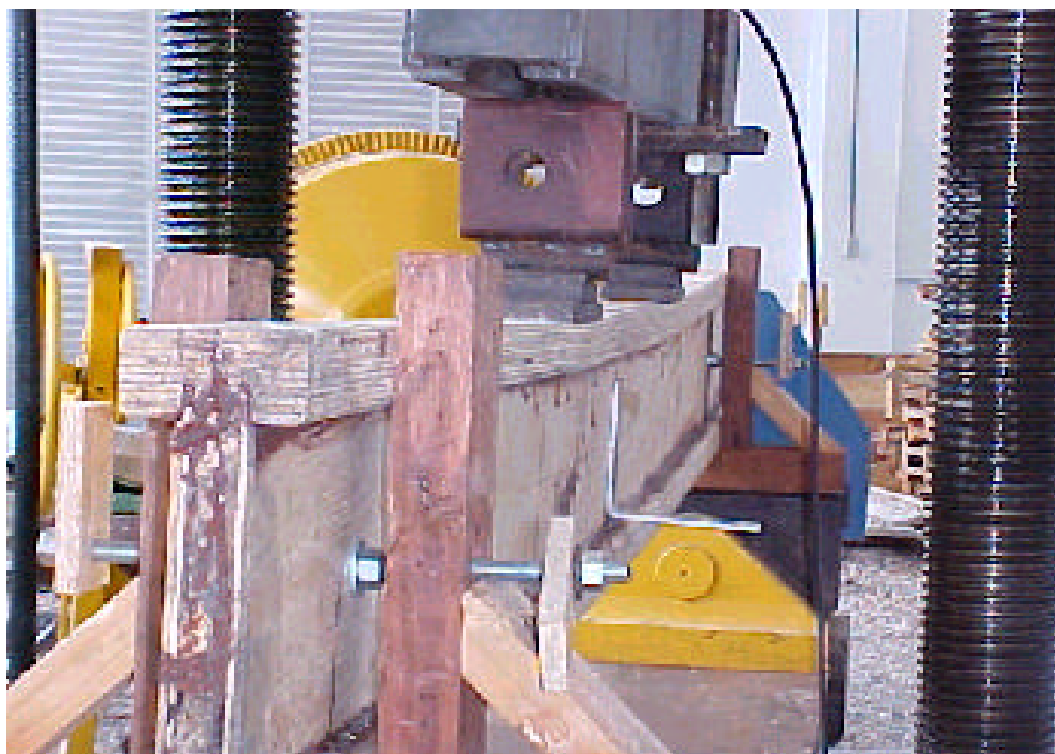


FOTO 49 – Ruptura da Viga Mesa LVL – V1 – Flexão com início de instabilidade lateral

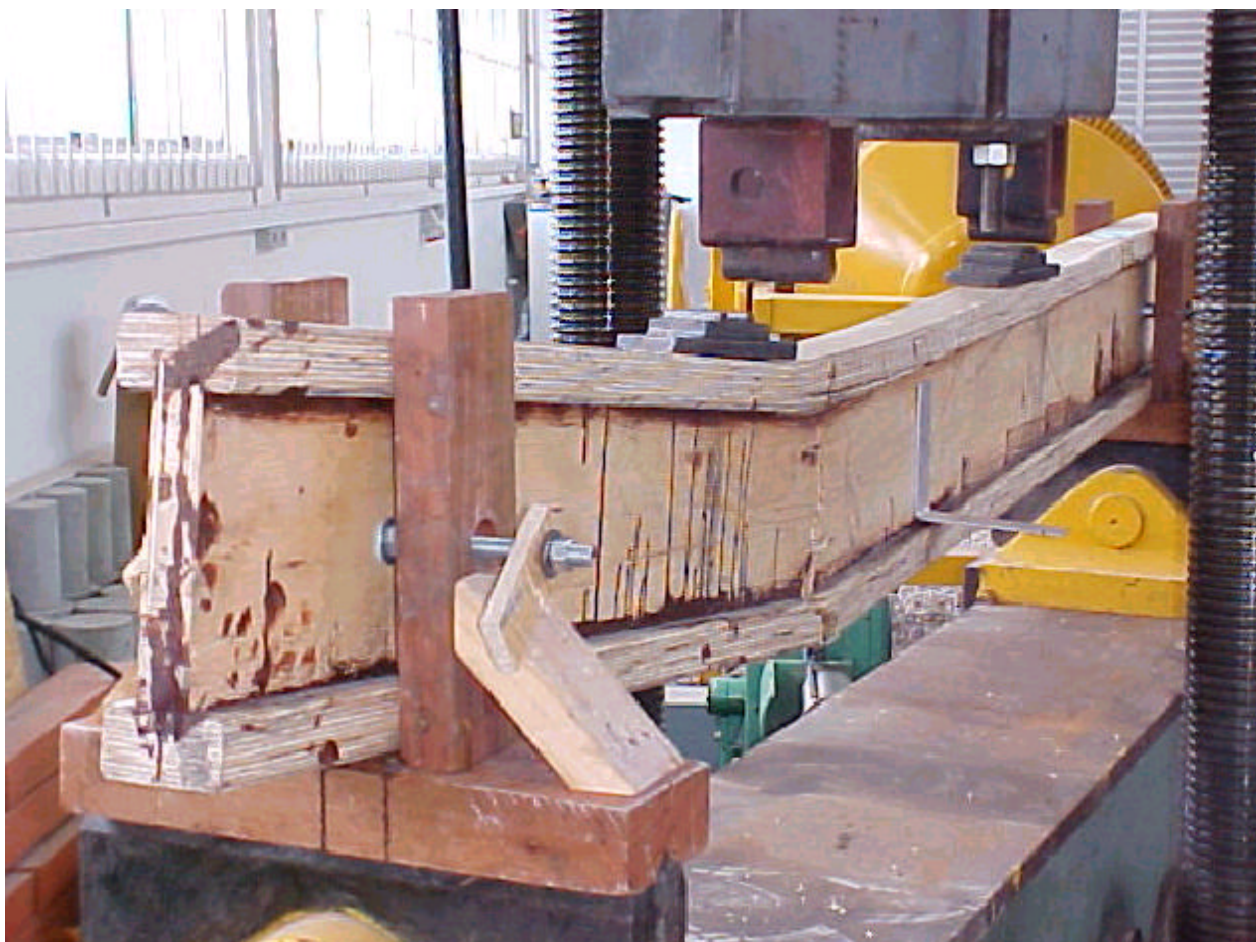


FOTO 50 – Ruptura da Viga Mesa LVL – V2 – Flexão e Tração da Mesa inferior



FOTO 51 – Ruptura da Viga Mesa LVL – V3 – Compressão da Mesa Superior

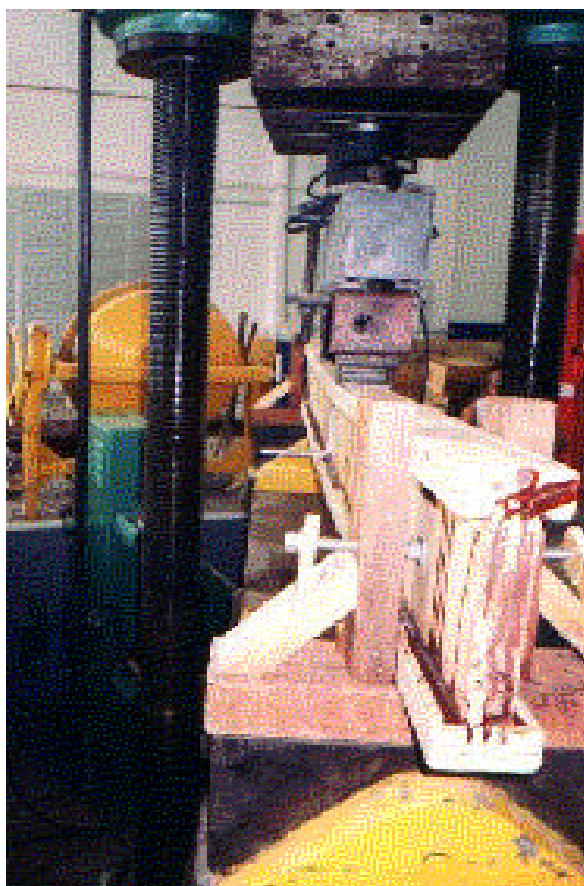


FOTO 52 – Ruptura da Viga Mesa LVL – V3 – Compressão da Mesa Superior

8.5 - Análise dos Resultados dos Ensaios das Vigas

Com base nos resultados dos ensaios, no comportamento e na ruptura das Vigas “T”, observa-se que em nenhum dos casos houve ruptura prematura ou fora dos valores esperados para vigas compostas com seção “T”, onde a madeira empregada foi o *Pinus taeda*, comumente usado na empresa Battistella.

Observa-se ainda um perfeito equilíbrio entre o limite de resistência ao cisalhamento, ocorrendo na região da linha neutra e na região da união entre a alma e a mesa. Isto pode ser constatado pelos diversos tipos de ruptura, ou seja, cisalhamento ocorrendo tanto na região de união da alma com a mesa como ao longo da linha neutra, como também um perfeito equilíbrio com a ruptura por tensão normal à seção, ocorrendo na zona tracionada.

O resultado obtido nos ensaios experimentais das vigas indicam níveis médios de resistência e rigidez perfeitamente compatíveis e até mesmo superiores aos resultados considerados pela empresa na caracterização média do material empregado, onde se tem para o *Pinus taeda* uma tensão média de ruptura na flexão igual a 373 daN/cm², tensão média de ruptura ao cisalhamento igual a 57 daN/cm² e módulo de elasticidade médio na flexão igual a 68000 daN/cm². Dados relativos ao teor de umidade de 15% do ensaio realizado no IPT pelo Método Brasileiro MB-26/93.

Considerando os valores médios dos módulo de elasticidade desta tabela, os quais foram obtidos no ensaio de flexão e considerando ainda o que indica o item 6.3.4 da NBR-7190/97 sobre a caracterização da rigidez da madeira, temos que para efeito de comparação com os valores da tabela 8-classe de resistência das coníferas, a norma admite a relação $E_M = 0,85 E_{CO}$ para espécie Coníferas. Logo:

$$E_{CO} = \frac{E_M}{0,85}$$

Observa-se então que os valores estão acima do referido na classe C25 da norma, que estabeleceria para efeito de comparação, um valor $E_{CO} = 85000$ daN/cm².

Verifica-se que tanto as vigas com mesa em madeira maciça como em LVL, ofereceram resultados superiores a esses valores, o que permite considerar com segurança e confiabilidade um dimensionamento a partir dos valores indicados pela norma atual. Este procedimento está apresentado no próximo capítulo.

9 – Cálculo das Vigas I de acordo com a NBR-7190/97 para Madeira conífera

Neste capítulo será elaborado o dimensionamento da viga “T”, segundo o que preconiza a Norma NBR 7190/97 para madeira conífera de classe C25. A análise será realizada considerando todo o elemento estrutural como madeira maciça, em função de não ter sido elaborado a caracterização dos componentes de forma isolada.

Serão avaliadas as capacidades de carga das vigas com relação aos vãos e espaçamento entre elas.

Segundo a NBR 7190/97, as ações aplicadas a estruturas deste caso específico são combinadas e ponderadas conforme as seguintes considerações:

- *Classe de Carregamento:* A ação variável principal aplicada a estruturas define, neste caso, a classe de carregamento como de longa duração;
- *Carregamento:* O carregamento imposto a uma estrutura neste caso é normal, incluindo apenas as ações decorrentes do uso previsto para a construção;
- *Situação de Projeto:* Neste caso, a situação de projeto de uma estrutura é considerada como duradoura sendo, portanto, verificados os estados limite últimos e os estados limite de utilização. Para estado limite último, considera-se as combinações normais de carregamento, enquanto para os estados limite de utilização devem ser verificadas as combinações de longa duração;
- *Combinações últimas normais de ações:* Para verificação dos estados limite últimos.

$$F_d = \sum_{i=1}^m \gamma_{gi} F_{gi,k} + \gamma_Q \left(F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{Qj,k} \right)$$

Fonte: NBR 7190/97

γ_g = coeficiente para as ações permanentes

γ_Q = coeficiente de majoração para as ações variáveis

De acordo com as situações de projeto, estes coeficientes assumem os seguintes valores para combinações últimas normais em estruturas:

$$\gamma_g = 1,4 - \text{para efeitos de peso próprio}$$

a) Coeficiente de ponderação para as ações permanentes (γ_g)

Ações permanentes de grande variabilidade: Quando o peso próprio da estrutura não supera 75% da totalidade dos pesos permanentes, a norma brasileira considera as ações permanentes como de grande variabilidade e especifica os valores de γ_g para combinações últimas normais.

b) Coeficiente de ponderação para as ações variáveis (γ_q)

A norma brasileira especifica em análise de combinações últimas normais:

$$\gamma_q = 1,4 - \text{para ações variáveis em geral}$$

9.1- Determinação do peso próprio

$g_{pp} = g$ piso cerâmico + g placa compensado 15mm + g placa comp. 12mm + g gesso acartonado

$$g_{pp} = 20 \text{ daN/m}^2 + 15,5 \text{ daN/m}^2 + 6,5 \text{ daN/m}^2 + 12 \text{ daN/m}^2$$

$$g_{pp} = 54 \text{ daN/m}^2$$

Tabela 8 – Cargas devido ao peso próprio por faixa de influência

CARGAS POR FAIXA DE INFLUÊNCIA	
e = 0,407 m	q = 21,98 daN / m
e = 0,610 m	q = 32,94 daN / m
e = 0,813 m	q = 43,90 daN / m
e = 1,220 m	q = 65,88 daN / m

e = espaçamento entre vigas – Adotado valores compatíveis com a largura (1,22m) e comprimento (2,44 m) das placas de compensado

Carga da Viga por metro linear (Q_v) $\Rightarrow Q_v = 6,55 \text{ daN/m}$

Tabela 9 – Cargas devido ao peso próprio por metro linear na viga

CARGA TOTAL / ML – DEVIDO PESO PRÓPRIO + 10 %	
e = 0,407 m	q = 31,38 daN / m
e = 0,610 m	q = 43,44 daN / m
e = 0,813 m	q = 55,50 daN / m
e = 1,220 m	q = 79,67 daN / m

Ao peso próprio foi acrescido um valor de 10% em função do uso de acessórios de fixação como pregos, parafusos e suportes metálicos.

A NBR 6120/80 (Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações) define a sobrecarga de 150 daN/m^2 para dormitórios, salas, copas, cozinhas e banheiros e de 200 daN/m^2 para despensas, áreas de serviço e lavanderias. Para o presente caso, considera-se $Q_{sc} = 150 \text{ daN/m}^2$

Tabela 10 – Cargas devido à sobrecarga por metro linear na viga

CARGA DEVIDO À SOBRECARGA	
e = 0,407 m	q = 61,00 daN / m
e = 0,610 m	q = 91,50 daN / m
e = 0,813 m	q = 121,95 daN / m
e = 1,220 m	q = 183,67 daN / m

Sendo o esforço solicitante de cálculo: $Q_d = 1,4 \times \text{Peso Próprio} + 1,4 \times \text{Sobre Carga}$

Tabela 11 – Esforço solicitante de cálculo por faixa de abrangência

ESFORÇO SOLICITANTE DE CÁLCULO	
e = 0,407 m	q d = 129,33 daN / m
e = 0,610 m	q d = 188,92 daN / m
e = 0,813 m	q d = 248,43 daN / m
e = 1,220 m	q d = 367,74 daN / m

Cálculo do coeficiente de Modificação (kmod)

$$K_{\text{mod}} = K_{\text{mod},1} \cdot K_{\text{mod},2} \cdot K_{\text{mod},3}$$

O coeficiente de modificação $K_{\text{mod},1}$ leva em conta a classe de carregamento e o tipo de material empregado e, segundo as considerações adotadas nos itens anteriores para estruturas (carregamento de longa duração e madeira serrada), neste caso assume o valor:

$$K_{\text{mod}1} = 0,70$$

O coeficiente de modificação $K_{\text{mod},2}$ leva em conta a classe de umidade e o tipo de material empregado e, para uso de madeira serrada, assume os seguintes valores:

$$K_{\text{mod}2} = 1,0 \text{ (classe de umidade (1) e (2))}$$

O coeficiente de modificação $K_{\text{mod},3}$ leva em conta a categoria da madeira utilizada. Para madeira de primeira categoria, ou seja, aquela que passou por classificação visual para garantir a isenção de defeitos e, por classificação mecânica para garantir a homogeneidade da rigidez, o valor de $K_{\text{mod},3}$ é 1,0. Caso contrário a madeira é classificada como de segunda categoria e o valor de $K_{\text{mod},3}$ é 0,8.

Nas verificações de segurança que dependem da rigidez da madeira, o módulo de elasticidade na direção paralela às fibras deve ser tomado como:

$$E_{co,ef} = K_{mod,1} \cdot K_{mod,2} \cdot K_{mod,3} \cdot E_{c0,m}$$

Para estados limite últimos, a NBR 7190/97 especifica os valores dos coeficientes de ponderação da resistência da madeira (γ_w) de acordo com a solicitação:

- Compressão paralela às fibras: $\gamma_{wc} = 1,4$
- Tração paralela às fibras: $\gamma_{wt} = 1,8$
- Cisalhamento paralelo às fibras: $\gamma_{wv} = 1,8$

Para estados limite de utilização, adota-se o valor básico de $\gamma_w = 1,0$.

No caso da Madeira Stella (Classe C25 – coníferas – 12% de umidade), teremos:

$$f_{c0,d} = 0,7 * 1,0 * 0,8 \frac{250}{1,4} = 100 daN / cm^2 ;$$

$$f_{v0,d} = 0,7 * 1,0 * 0,8 \frac{50}{1,8} = 15,55 daN / cm^2 ;$$

$$E_{c0,ef} = 0,7 * 1,0 * 0,8 * 85000 = 47600 daN / cm^2 .$$

9.2 – Estados Limite Últimos

Esforços solicitantes:

Momento Fletor

$$M_d = \frac{q_d L^2}{8}$$

Esforço Cortante:

$$V_d = \frac{q_d L}{2}$$

▪ VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA PARA TENSÕES NORMAIS

Nos elementos estruturais submetidos a momento fletor, cujo plano de ação contém um eixo central de inércia da seção transversal resistente, devem ser verificadas as seguintes relações:

$$s_{c1,d} \leq f_{c0,d}$$

$$s_{c1,d} = \frac{M_d}{W_c}$$

$$W_c = \frac{I}{Y_{c1}} = \frac{8999,82}{12,75} = 705,87 \text{ cm}^3$$

▪ VERIFICAÇÃO DA SEGURANÇA PARA TENSÕES TANGENCIAIS

A verificação das tensões tangenciais provenientes do esforço cortante é feita pela condição:

$$3 V_d$$

$$\hat{\sigma}_d = \frac{3 V_d}{2 \cdot b \cdot h} \leq f_{v0,d}$$

Fonte: Calil, Lahr & Dias (2003)

$$2 \cdot b \cdot h$$

9.2.1 – Valores dos Esforços para Estados Limite Últimos

Tabela 12 – Valores dos esforços para Estados Limite Últimos

ESTADOS LIMITE ÚLTIMOS – VALORES DOS ESFORÇOS				
Espaçamento (e = 40,7cm)				
VÃOS: L (cm)	Md (daN.cm)	σ_d (daN/cm ²)	Vd (daN)	$\hat{\sigma}_d$ (daN/cm ²)
200	6466	9,16	129,33	0,95
300	14550	20,61	194,00	1,43
400	25866	36,64	258,66	1,90
500	40416	57,26	323,33	2,38
600	58199	82,45	387,99	2,85
700	79215	112,22	452,65	

ESTADOS LIMITE ÚLTIMOS – VALORES DOS ESFORÇOS				
Espaçamento (e = 61,0cm)				
VÃOS: L (cm)	Md (daN.cm)	σ_d (daN/cm ²)	Vd (daN)	$\hat{\sigma}_d$ (daN/cm ²)
200	9446	13,38	188,92	1,39
300	21253	30,11	283,38	2,08
400	37784	53,53	377,84	2,78
500	59037	83,64	472,30	3,47
600	85014	120,44	566,76	

ESTADOS LIMITE ÚLTIMOS – VALORES DOS ESFORÇOS				
Espaçamento (e = 81,3cm)				
VÃOS: L (cm)	Md (daN.cm)	σ_d (daN/cm ²)	Vd (daN)	$\hat{\sigma}_d$ (daN/cm ²)
200	12421	17,60	248,43	1,83
300	27948	39,59	372,64	2,74
400	49686	70,39	496,86	3,65
500	77634	109,98	621,08	

ESTADOS LIMITE ÚLTIMOS – VALORES DOS ESFORÇOS				
Espaçamento (e = 122cm)				
VÃOS: L (cm)	Md (daN.cm)	σ_d (daN/cm ²)	Vd (daN)	$\hat{\sigma}_d$ (daN/cm ²)
200	18387	26,00	367,74	2,70
300	41370	58,61	551,61	4,06
400	73648	104,19	735,48	

OBS: Valores em vermelho não atendem a verificação da segurança.

9.3 - Estados limite de utilização.

$$F_{d,uti} = \sum_{i=1}^m F_{gi,k} + \sum_{j=1}^n \psi_{2,j} F_{Qj,k}$$

- *Combinações de longa duração:* Para verificação dos estados limite de utilização.

ψ_2 = fator de utilização para valores quase permanentes

De acordo com as situações de projeto, estes coeficientes assumem os seguintes valores para combinações de longa duração para estado limite de utilização em estruturas. Neste caso:

$\psi_2 = 0,2$ - para cargas acidentais em edifícios em locais em que não há predominância de peso de equipamentos fixos.

$F_{d,uti} = q$ peso próprio + 0,2 x q sobrecarga

Tabela 13 – Esforço solicitante de cálculo devido ao peso próprio e sobrecarga

ESFORÇO SOLICITANTE DE CÁLCULO	
e = 40,7 cm	q d,uti= 0,4358 daN / cm
e = 61,0 cm	q d,uti= 0,6174 daN / cm
e = 81,3 cm	q d,uti= 0,7989 daN / cm
e = 122 cm	q d,uti= 1,1627 daN / cm

A NBR 7190/97 determina a verificação do estado limite de utilização em estruturas de madeira basicamente pela consideração de limites de deslocamento que possam ocasionar desconforto aos usuários, danos a materiais não estruturais da construção, ou que provoquem vibração excessiva.

A condição para verificação da segurança é dada pela seguinte situação:

$$S_{d,uti} \leq S_{lim}$$

Onde:

S_{lim} é o valor limite fixado para o efeito estrutural que determina o aparecimento do estado limite considerado (neste caso, deslocamentos);

$S_{d,uti}$ são os valores desses mesmos efeitos, decorrentes da aplicação das ações estabelecidas para a verificação, calculados com a hipótese de comportamento elástico linear da estrutura.

De acordo com as hipóteses adotadas para estruturas correntes, são consideradas apenas as combinações de ações de longa duração, levando-se em conta o valor efetivo do módulo de elasticidade especificado.

Os limites de deslocamentos (flechas) permitidos pela NBR 7190/97 são:

L/200 dos vãos

L/100 do comprimento dos balanços

No item 9.2.2 da Norma - **Deformações limites para as construções com materiais frágeis não estruturais**, as flechas totais, incluindo o efeito da fluência, devido às combinações de ações consideradas, não devem superar $L/350$ dos vãos, nem $L/175$ do comprimento dos balanços correspondentes. Adota-se a situação de $L/350$ para uso das vigas “I” no sistema Stella, com a finalidade de evitar fissuração em materiais frágeis ligados à estruturas como forros de gessos, pisos e divisórias. Para o uso em construções correntes adota-se $L/200$.

A flecha devida a esforços de flexão é determinada pela expressão seguinte e verificada em relação ao estado limite de utilização, em relação aos dois eixos principais da peça.

$$v_d = \frac{p_d \cdot 5 \cdot L^4}{384 \cdot E_{c0,ef} \cdot I}$$

onde :

v_d = flecha na peça de madeira devida à carga distribuída;

p_d = força distribuída de cálculo aplicada na peça de madeira;

L = vão livre da peça de madeira;

$E_{c0,ef}$ = módulo de elasticidade efetivo, na direção paralela às fibras de madeira;

I = momento de inércia da seção transversal da peça de madeira.

$$E_{c0,ef} = K_{mod} \cdot E_{c0,m}$$

$$E_{c0,ef} = 0,56 \times 85.000$$

$$E_{c0,ef} = 47.600 \text{ daN/cm}^2$$

9.3.1 – Valores dos Esforços para Estados Limite de Utilização

Tabela 14 – Valores dos Esforços para Estados Limite de Utilização

ESTADOS LIMITE DE UTILIZAÇÃO – VALORES DOS ESFORÇOS				
Espaçamento (e = 40,7cm)				
VÃOS: L (cm)	v_d (cm)	L/350 (cm)	L/200 (cm)	Pd (daN/cm)
200	0,021	0,57	1,00	0,4358
300	0,107	0,86	1,50	0,4358
400	0,34	1,14	2,00	0,4358
500	0,83	1,43	2,50	0,4358
600	1,72	1,71	3,00	0,4358
700	3,18	2,00	3,50	0,4358

ESTADOS LIMITE DE UTILIZAÇÃO – VALORES DOS ESFORÇOS				
Espaçamento (e = 61,0cm)				
VÃOS: L (cm)	v_d (cm)	L/350 (cm)	L/200 (cm)	Pd (daN/cm)
200	0,030	0,57	1,00	0,6174
300	0,152	0,86	1,50	0,6174
400	0,480	1,14	2,00	0,6174
500	1,17	1,43	2,50	0,6174
600	2,43	1,71	3,00	0,6174

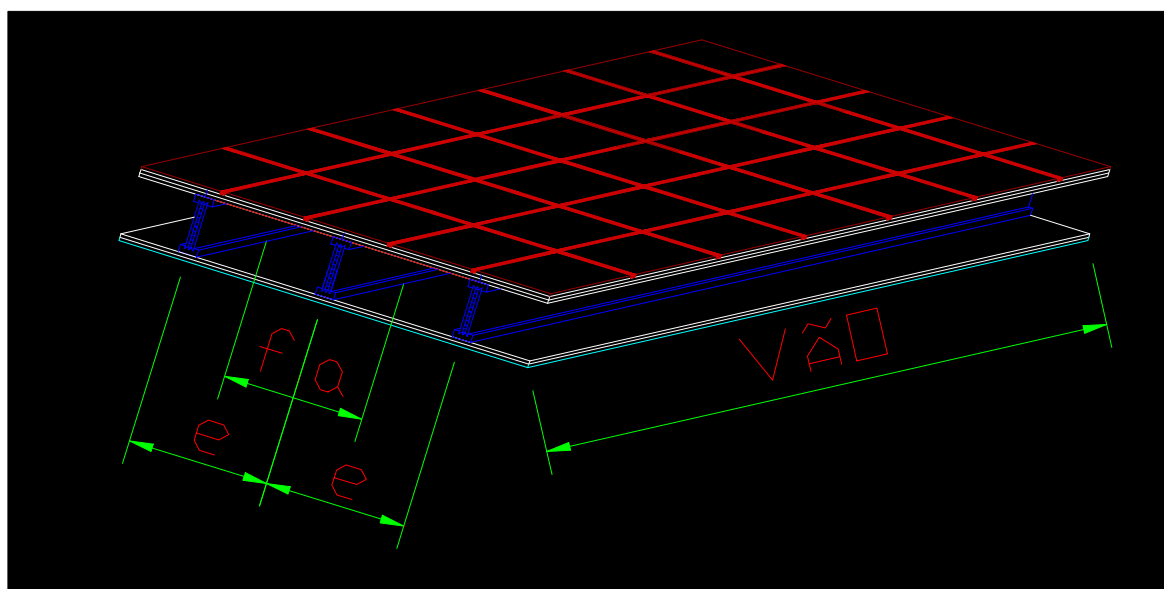
ESTADOS LIMITE DE UTILIZAÇÃO – VALORES DOS ESFORÇOS				
Espaçamento (e = 81,3cm)				
VÃOS: L (cm)	v_d (cm)	L/350 (cm)	L/200	Pd (daN/cm)
200	0,039	0,57	1,00	0,7989
300	0,197	0,86	1,50	0,7989
400	0,62	1,14	2,00	0,7989
500	1,52	1,43	2,50	0,7989
600	3,15	1,71	3,00	0,7989

ESTADOS LIMITE DE UTILIZAÇÃO – VALORES DOS ESFORÇOS				
Espaçamento (e = 122cm)				
VÃOS: L (cm)	v_d (cm)	L/350 (cm)	L/200 (cm)	Pd (daN/cm)
200	0,066	0,57	1,00	1,1627
300	0,286	0,86	1,50	1,1627
400	0,905	1,14	2,00	1,1627
500	2,210	1,43	2,50	1,1627

9.4 – Capacidade de Cargas por metro linear na Viga “T”

Tabela 15 – Cargas por metro linear, Vãos e Espaçamento entre Vigas

Vãos e Cargas					
Espaçamento entre Vigas (e)	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m
0,407 m	129,33 daN/m				
0,610 m	188,92 daN/m				
0,813 m	248,43 daN/m				
1,22 m	367,74 daN/m				



e = espaçamento entre vigas
f.i = faixa de influência

FIGURA 14 – Indicativo de Faixa de Influência e espaçamento entre Vigas

10– Estudo Comparativo da Viga “T” com Viga em Madeira Laminada Colada (M.L.C.) do Sistema Construtivo STELLA

No sistema construtivo Stella, utiliza-se na estrutura de entepiso vigas em M.L.C. de seção retangular. O módulo de elasticidade médio e a tensão de ruptura média para esta viga de dimensões 100x300x2600mm segue resultados do relatório BAT – 02 (SZÜCS) 1994.

Desta forma, propõe-se comparar economicamente e estruturalmente a Viga “T” com a Viga M.L.C. de acordo com a tabela 16 abaixo:

Tabela 16 – Estudo Viga “T” x Viga M.L.C.

VIGA M.L.C.		VIGA I – MESA MACIÇA		VIGA I – MESA LVL	
Estudo Econômico					
Volume de Madeira Líquida (0,078m ³)	Valor (R\$)	V= (0,0303m ³)	Valor (R\$)	V= (0,0303m ³)	Valor (R\$)
	26,50		10,70		11,10
Adesivo resorcina (936gr)	40,60	Adesivo resorcina (250gr)	10,84	Adesivo resorcina e fenólica (250gr + 400gr)	13,44
Processo Industrial (Autoclave, hs máquina, hs homem)	21,40	Processo Industrial	7,20	Processo Industrial	8,60
Valor Total	88,50		28,74		33,14
Análise Estrutural					
RUPTURA MÉDIA NA FLEXÃO $\sigma_F = 281,6 \text{ daN/cm}^2$		RUPTURA MÉDIA NA FLEXÃO $\sigma_F = 419,7 \text{ daN/cm}^2$		RUPTURA MÉDIA NA FLEXÃO $\sigma_F = 496,0 \text{ daN/cm}^2$	
Modulo de Elasticidade Médio $E_F = 87250 \text{ daN/cm}^2$		Modulo de Elasticidade Médio $E_F = 106579 \text{ daN/cm}^2$		Modulo de Elasticidade Médio $E_F = 139791 \text{ daN/cm}^2$	

Verifica-se que economicamente a viga “I” apresenta um custo médio de R\$ 12,38/ml contra um custo de R\$ 34,04/ml da Viga M.L.C..

Estruturalmente, no aspecto de rigidez (módulo de elasticidade), a Viga M.L.C. apresenta um módulo de elasticidade médio 18,13% menor em relação à Viga “I” com mesa maciça e 37,58% menor em relação à Viga “I” com mesa em LVL. Com relação à resistência à flexão, os valores são 32,90% e 43,22% respectivamente. Cabe também ressaltar o baixo peso próprio da Viga “I” (6,55 daN/m) em relação à Viga MLC (16,50daN/m).

Conclui-se que, para a estrutura de entrepiso, é recomendável o uso da Viga “I”, por ser estruturalmente compatível e economicamente viável do ponto de vista de uso isolado.

Lembrando, porém, que a viga “I” está limitada ao carregamento de 129,33 daN/m para um vão de 6,0m e espaçamento de 0,407m entre elas.

Portanto, quando se faz uso de maiores vãos com grandes carregamentos, a viga em M.L.C. passa a ser recomendável. Outra questão a ser abordada é a estética, onde as vigas M.L.C. apresentam uma qualidade superior, devendo ser aplicadas em situações aparentes.

11- CONCLUSÃO

Observou-se, durante os ensaios, que em nenhum caso ocorreu ruptura prematura das vigas e que as mesmas apresentaram um perfeito equilíbrio de ruptura por tensão normal à seção, se comparados com os limites de resistência ao cisalhamento, que ocorrem na região da linha neutra e na região da junção da mesa com a alma, sendo que neste último há um enfraquecimento ocasionado pela usinagem dos emendas dentadas (finger-joint).

Neste modelo de viga com seção “I”, o efeito do esforço cortante tem influência significativa nos deslocamentos. Desta forma, procurou-se analisar em detalhe a sua influência no comportamento mecânico e elástico ocorrido nos ensaios experimentais.

Mediante resultados dos ensaios apresentados na tabela 7, verifica-se para as vigas com mesa maciça valores médios de tensão de cisalhamento na Linha Neutra na ordem de 65,6 daN/cm² e para junção Mesa/Alma valores médios de 62,2 daN/cm². No caso das vigas com mesa em LVL esses valores são de 75,5 daN/cm² e 73,5 daN/cm², respectivamente. Isto evidencia um perfeito equilíbrio da geometria dos entalhes em relação ao cisalhamento máximo na linha neutra e na junção da mesa com a alma da viga, bem como, um perfeito funcionamento do adesivo utilizado na colagem da viga.

Cabe ressaltar que estes valores são compatíveis e até superiores ao valor esperado que é da ordem de 57 daN/cm² obtido do ensaio MB -26/93 -IPT

Quanto à rigidez, os módulos de elasticidade médios obtidos nos ensaios de flexão, realizados em laboratório, resultaram em valores muito próximos aos valores estimados para o conjunto, se calculados a partir da pré-classificação realizada na classificadora mecânica, em cada uma das peças que compõem a viga. Isto vem demonstrar a confiabilidade dos resultados e a importância de se empregar uma máquina classificadora mecânica de madeira, aliada a uma classificação visual. Esses valores fornecem estimativas perfeitamente confiáveis e isto ficou evidente com os resultados encontrados experimentalmente.

Para efeito comparativo, pode-se estabelecer uma relação de grandeza dos valores médios dos módulos de elasticidade obtidos nos ensaios de flexão em laboratório, como sendo $E_m = 106579 \text{ daN/cm}^2$ para vigas com mesa maciça e $E_m = 139791 \text{ daN/cm}^2$ para vigas com mesa em LVL. Com isto, observa-se que o valor estabelecido pela norma para classe C25 para madeira conífera, no ensaio de compressão paralela às fibras, $E_{co} = 85000 \text{ daN/cm}^2$, é menor que os anteriormente descritos. Por outro lado, observa-se também que o módulo de elasticidade médio à flexão da viga laminada colada $E_m = 87250 \text{ daN/cm}^2$ também tem menor valor que os módulos de elasticidade obtidos para as vigas de seção “I”.

Cabe ressaltar que as vigas de madeira composta com seção “I”, apresentam alta resistência com baixo peso próprio. Ruptura de 8461,6 daN contra um peso próprio de 17 daN para seção com mesa maciça, ou seja, o peso apresenta 0,20% da carga de ruptura da viga e ruptura média de 10000 daN contra um peso de 18,5 daN para seção com mesa em LVL, ou seja, o peso apresenta 0,185% da carga de ruptura da viga. O tipo de ruptura mais freqüente se deu por flexão pura com início de instabilidade lateral e tração na mesa inferior, nos dois modelos.

Mediante análise do comportamento mecânico e tipo de ruptura ocorrido nas vigas, verifica-se que as mesmas apresentaram valores compatíveis de resistência e uma ótima rigidez à flexão.

Tanto do ponto de vista econômico como estruturalmente, as vigas de seção “I” mostraram-se viáveis na utilização como elemento estrutural definitivo para o sistema construtivo da empresa Battistella e como elemento estrutural provisório e reutilizável no escoramento de fôrmas para lajes de concreto armado, na construção convencional.

Pode-se dizer ainda que a Viga “I” satisfaz as condições exigidas pela norma NBR-7190/97 quanto ao dimensionamento da estrutura, considerando-a toda como madeira maciça e espécie conífera da classe C25. Com isto é de fundamental importância para a empresa a possibilidade de se apresentar uma tabela com capacidade de carga por metro linear de viga em função do vão e faixa de abrangência definida pelo espaçamento entre elas.

Diante deste contexto, a empresa Battistella disponibilizará comercialmente mais um componente concebido, produzido e testado a partir de elementos em madeira de sua própria cadeia produtiva.

12– BIBLIOGRAFIA

- 1) **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR – 7190/97: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997, 247p.
- 2) **BLACH, K.** Prerequisites of Industrialized housing. In: Proceedings. I.A.H.S. Cairo workshop on “Evaluation of Industrialized Housing Systems”. Cairo, Egypt, Nov. 1976. Edited by Adel Farud / Mostafa Eb Hifnawi / Oktal Ural. Second Revised Edition. June, 1977.
- 3) **BODIG, JOSEF. JAYNE, BENJAMIN A .** Mechanics of Wood and Wood Composites. Van Nostrand Reinhold Company, New York Cincinnati Toronto London Melbourne, 1982, 712 p.
- 4) **CALIL JUNIOR, CARLITO. LAHR, FRANCISCO ANTONIO ROCCO. DIAS, ANTONIO ALVES.** Dimensionamento de Elementos Estruturais de Madeira. Barueri, São Paulo, Editora Manole Ltda, 2003, 152 p.
- 5) **CARREIRA, M.R.** Classificação Visual e Mecânica de Peças Estruturais de Pinus ssp. São Carlos, 2003, 197 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- 6) **CHUGG, W.A.** The Theory and Practice of the manufacture of glued laminated timber structures. London, GB: Ernest Benn Limited, 1964.
- 7) **DEUTSHE NORMEN.** Structural Use of Timber. DIN 1052 – part 1 (versão em Inglês), April 1988, p. 3-21
- 8) **DEUTSHE NORMEN.** Wood Finger – Jointing. DIN68140, October 1971, p. 1-4
- 9) **DÍAZ, FÉLIX ALBERTO DÍAZ.** Enfoque Geral para a Determinação do Coeficiente de Forma de Seções Transversais EB148.02. VIII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Uberlândia, Minas Gerais, Julho, 2002.
- 10) **FUNATURA, IBAMA, ITTO.** Diagnóstico e Avaliação do Setor Florestal Brasileiro. Relatório da Região Sul. Curitiba, Julho, 1995.
- 11) **KUBLER, HANS.** Wood as Building and Hooby Material. New York, NY, USA: A Wiley-Interscience Publication, 1980.
- 12) **MANUAL DE CLASIFICACION VISUAL PARA MADERA ESTRUCTURAL** - Junta del Acuerdo de Cartagena^{1ª} Edição / 1984.
- 13) **MELO, J.E.** Classificação Mecânica de Peças Estruturais de Madeira. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, Dissertação de Mestrado. 1981.

- 14) **NORMA PARA CLASSIFICAÇÃO DE MADEIRA SERRADA DE FOLHOSAS**
Ministério da Agricultura IBDF, 1983.
- 15) **PETRUCCI, ELADIO G.R.** Materiais de Construção. Editora Globo, 7^a ed. Porto Alegre, RS, 1982
- 16) **PFEIL, WALTER.** Estruturas de madeira. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1985, 252p.
- 17) **PLESSEY TELECOMUNICATION**, Computermatic MKP IVa, Timber Stress Grading Machine, Austrália, New South Wales, Handbook. 1973.
- 18) **RIGAU**, Concepcion. La Madera. Editorial Blume, Espanha, 1978.
- 19) **STAMATO, GUILHERME C.** Dimensionamento de Estruturas de Madeira Compostas por Chapas de Madeira Compensada. VII Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, São Carlos, São Paulo, Julho, 2000
- 20) **SZÜCS, CARLOS A.** A Madeira no mundo dos compósitos. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, Março, 1993.
- 21) **SZÜCS, CARLOS A.** Relatório Técnico BAT –02 : Ensaio mecânicos de elementos de Madeira Laminada-Colada. Laboratório de Experimentação em Estruturas –UFSC Florianópolis –SC-Maio 1994.
- 22) **SZÜCS, CARLOS A.** Utilização de Ligações Químicas na Composição das estruturas de Madeira. UFSC, Florianópolis –SC- 1993.
- 23) **TRAMONTANO, M.** A Construção de um Conceito. EDUSP, Agosto, 1993, 71 p.

ANEXOS

ANEXO A -PLANILHAS E GRÁFICOS DE CARGAS / DESLOCAMENTOS
vigal mesa LVL - V1

		Carga	Viga1 L1	Viga1 L2	
14,75	0,026	200	0,042	0,01	5,1
15,1	0,0535	400	0,077	0,03	5,3
15,51	0,0915	600	0,118	0,065	5,65
15,86	0,129	800	0,153	0,105	6,05
16,25	0,1655	1000	0,192	0,139	6,39
16,59	0,1955	1200	0,226	0,165	6,65
17,1	0,2375	1400	0,277	0,198	6,98
17,4	0,27	1600	0,307	0,233	7,33
17,84	0,313	1800	0,351	0,275	7,75
18,25	0,3485	2000	0,392	0,305	8,05
18,68	0,3885	2200	0,435	0,342	8,42
19	0,4285	2400	0,467	0,39	8,9
19,56	0,4775	2600	0,523	0,432	9,32
19,92	0,5145	2800	0,559	0,47	9,7
20,32	0,5485	3000	0,599	0,498	9,98
20,76	0,594	3200	0,643	0,545	10,45
21,16	0,6315	3400	0,683	0,58	10,8
21,62	0,6735	3600	0,729	0,618	11,18
22,01	0,7115	3800	0,768	0,655	11,55
22,47	0,752	4000	0,814	0,69	11,9
22,87	0,793	4200	0,854	0,732	12,32
23,3	0,8335	4400	0,897	0,77	12,7
23,76	0,8755	4600	0,943	0,808	13,08
24,2	0,9185	4800	0,987	0,85	13,5
24,65	0,961	5000	1,032	0,89	13,9
25,04	0,998	5200	1,071	0,925	14,25
25,54	1,043	5400	1,121	0,965	14,65
26,01	1,089	5600	1,168	1,01	15,1
26,45	1,131	5800	1,212	1,05	15,5
26,84	1,1665	6000	1,251	1,082	15,82
27,34	1,2155	6200	1,301	1,13	16,3
27,79	1,2555	6400	1,346	1,165	16,65
28,26	1,299	6600	1,393	1,205	17,05
28,76	1,3565	6800	1,443	1,27	17,7
29,22	1,3895	7000	1,489	1,29	17,9
29,76	1,444	7200	1,543	1,345	18,45
30,25	1,4885	7400	1,592	1,385	18,85
30,85	1,5455	7600	1,652	1,439	19,39
31,35	1,591	7800	1,702	1,48	19,8
31,84	1,6405	8000	1,751	1,53	20,3

10200 kgf Carga de Ruptura

vigal mesa LVL - V2

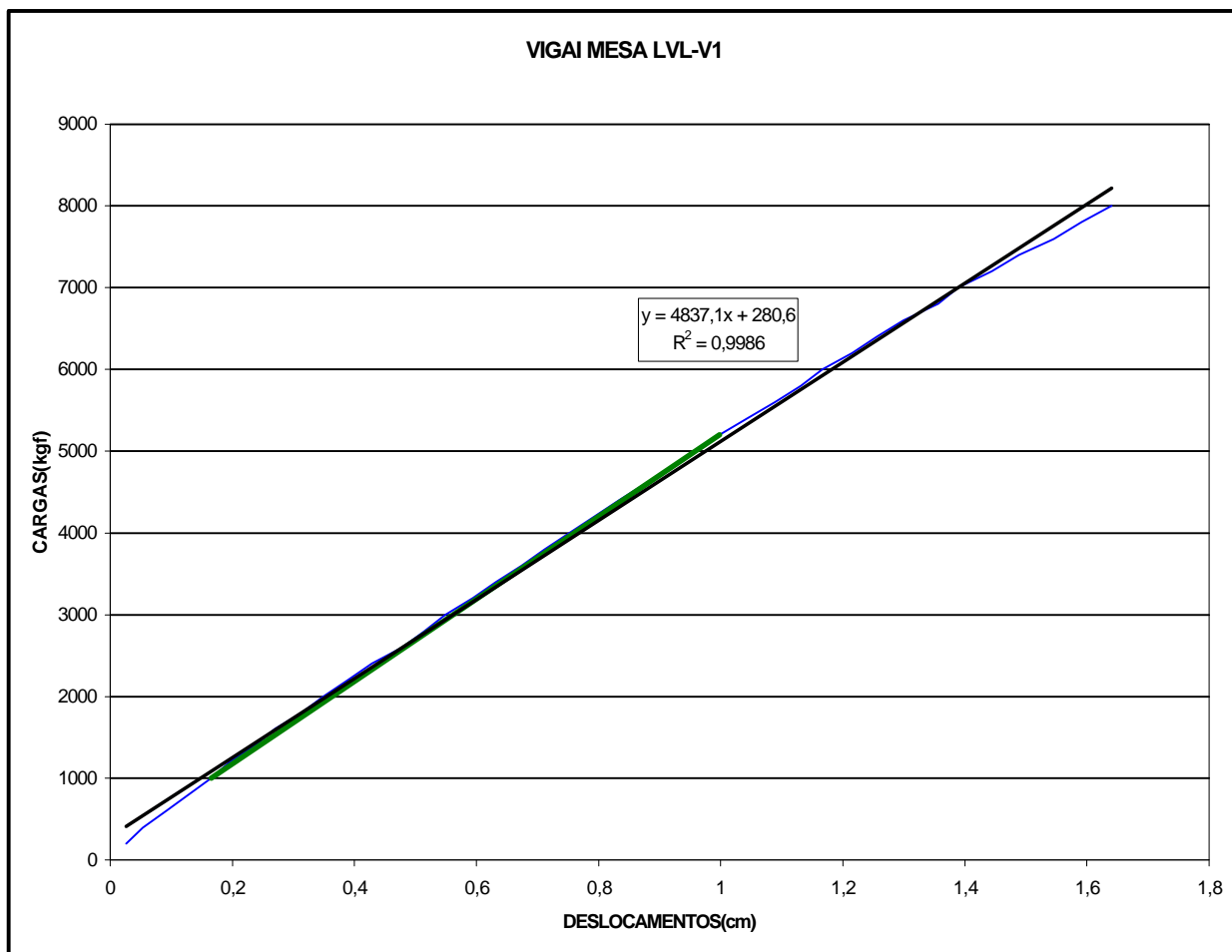
	Carga	Viga2 L1	Viga2 L2		
0,032	200	0,044	0,02	15,44	3,2
0,09	400	0,095	0,085	15,95	3,85
0,1575	600	0,17	0,145	16,7	4,45
0,207	800	0,219	0,195	17,19	4,95
0,2575	1000	0,27	0,245	17,7	5,45
0,296	1200	0,31	0,282	18,1	5,82
0,3445	1400	0,373	0,316	18,73	6,16
0,3935	1600	0,434	0,353	19,34	6,53
0,434	1800	0,478	0,39	19,78	6,9
0,485	2000	0,537	0,433	20,37	7,33
0,525	2200	0,57	0,48	20,7	7,8
0,5655	2400	0,619	0,512	21,19	8,12
0,6065	2600	0,661	0,552	21,61	8,52
0,6495	2800	0,704	0,595	22,04	8,95
0,694	3000	0,752	0,636	22,52	9,36
0,734	3200	0,79	0,678	22,9	9,78
0,7735	3400	0,835	0,712	23,35	10,12
0,8155	3600	0,876	0,755	23,76	10,55
0,8675	3800	0,935	0,8	24,35	11
0,9105	4000	0,991	0,83	24,91	11,3
0,96	4200	1,05	0,87	25,5	11,7
0,999	4400	1,086	0,912	25,86	12,12
1,0495	4600	1,144	0,955	26,44	12,55
1,098	4800	1,194	1,002	26,94	13,02
1,143	5000	1,244	1,042	27,44	13,42
1,186	5200	1,288	1,084	27,88	13,84
1,2405	5400	1,343	1,138	28,43	14,38
1,283	5600	1,386	1,18	28,86	14,8
1,33	5800	1,432	1,228	29,32	15,28
1,3735	6000	1,477	1,27	29,77	15,7
1,4245	6200	1,529	1,32	30,29	16,2
1,474	6400	1,578	1,37	30,78	16,7
1,523	6600	1,626	1,42	31,26	17,2
1,5805	6800	1,686	1,475	31,86	17,75
1,634	7000	1,74	1,528	32,4	18,28
1,6875	7200	1,795	1,58	32,95	18,8
1,7465	7400	1,855	1,638	33,55	19,38
1,8165	7600	1,927	1,706	34,27	20,06
1,896	7800	2,007	1,785	35,07	20,85
1,971	8000	2,082	1,86	35,82	21,6

8800 kgf Carga de Ruptura

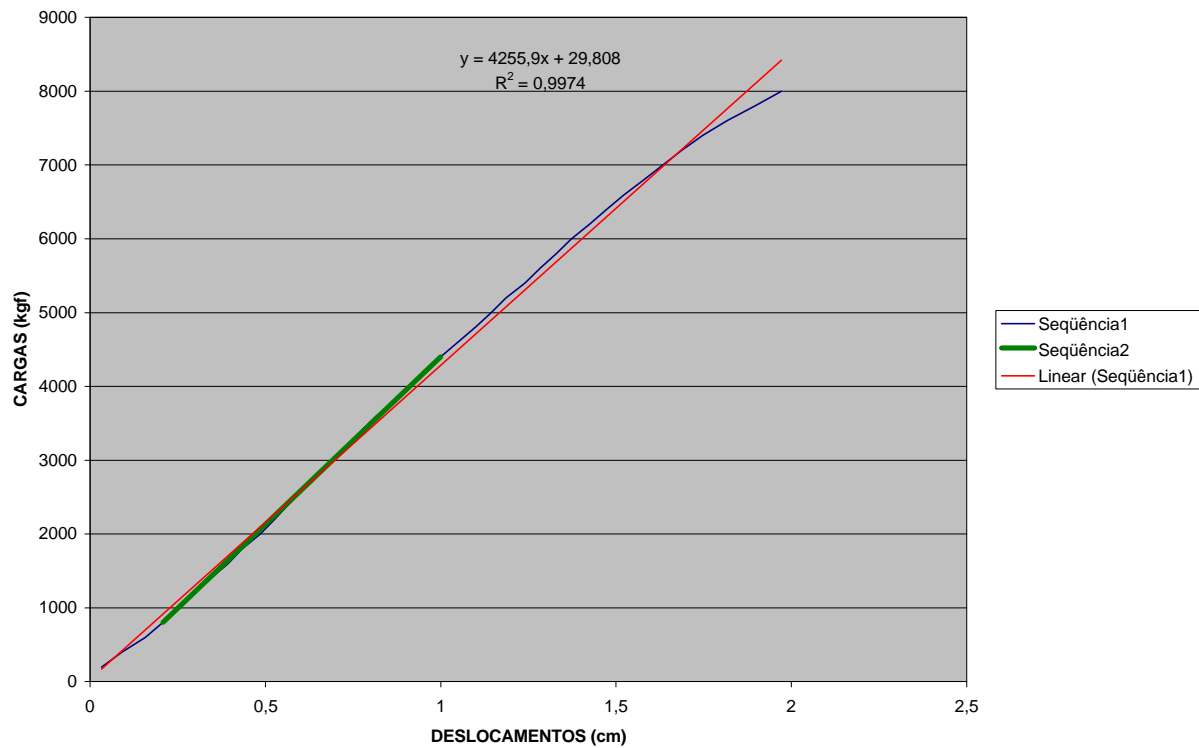
vigal mesa LVL - V3

	Carga	Viga3 L1	Viga3 L2		
0,0525	200	0,09	0,015	3,9	14,15
0,0925	400	0,15	0,035	4,5	14,35
0,133	600	0,206	0,06	5,06	14,6
0,167	800	0,249	0,085	5,49	14,85
0,2025	1000	0,29	0,115	5,9	15,15
0,23	1200	0,33	0,13	6,3	15,3
0,258	1400	0,373	0,143	6,73	15,43
0,291	1600	0,412	0,17	7,12	15,7
0,316	1800	0,439	0,193	7,39	15,93
0,3675	2000	0,515	0,22	8,15	16,2
0,3975	2200	0,55	0,245	8,5	16,45
0,442	2400	0,606	0,278	9,06	16,78
0,4775	2600	0,647	0,308	9,47	17,08
0,5035	2800	0,672	0,335	9,72	17,35
0,5415	3000	0,723	0,36	10,23	17,6
0,58	3200	0,775	0,385	10,75	17,85
0,6135	3400	0,8	0,427	11	18,27
0,6525	3600	0,851	0,454	11,51	18,54
0,6845	3800	0,882	0,487	11,82	18,87
0,727	4000	0,932	0,522	12,32	19,22
0,757	4200	0,962	0,552	12,62	19,52
0,799	4400	1,011	0,587	13,11	19,87
0,831	4600	1,042	0,62	13,42	20,2
0,868	4800	1,084	0,652	13,84	20,52
0,9045	5000	1,124	0,685	14,24	20,85
0,942	5200	1,164	0,72	14,64	21,2
0,979	5400	1,206	0,752	15,06	21,52
1,0225	5600	1,251	0,794	15,51	21,94
1,0635	5800	1,299	0,828	15,99	22,28
1,0965	6000	1,335	0,858	16,35	22,58
1,143	6200	1,384	0,902	16,84	23,02
1,179	6400	1,423	0,935	17,23	23,35
1,2195	6600	1,464	0,975	17,64	23,75
1,259	6800	1,507	1,011	18,07	24,11
1,3035	7000	1,555	1,052	18,55	24,52
1,3465	7200	1,598	1,095	18,98	24,95
1,3845	7400	1,634	1,135	19,34	25,35
1,427	7600	1,684	1,17	19,84	25,7
1,476	7800	1,732	1,22	20,32	26,2
1,5205	8000	1,781	1,26	20,81	26,6

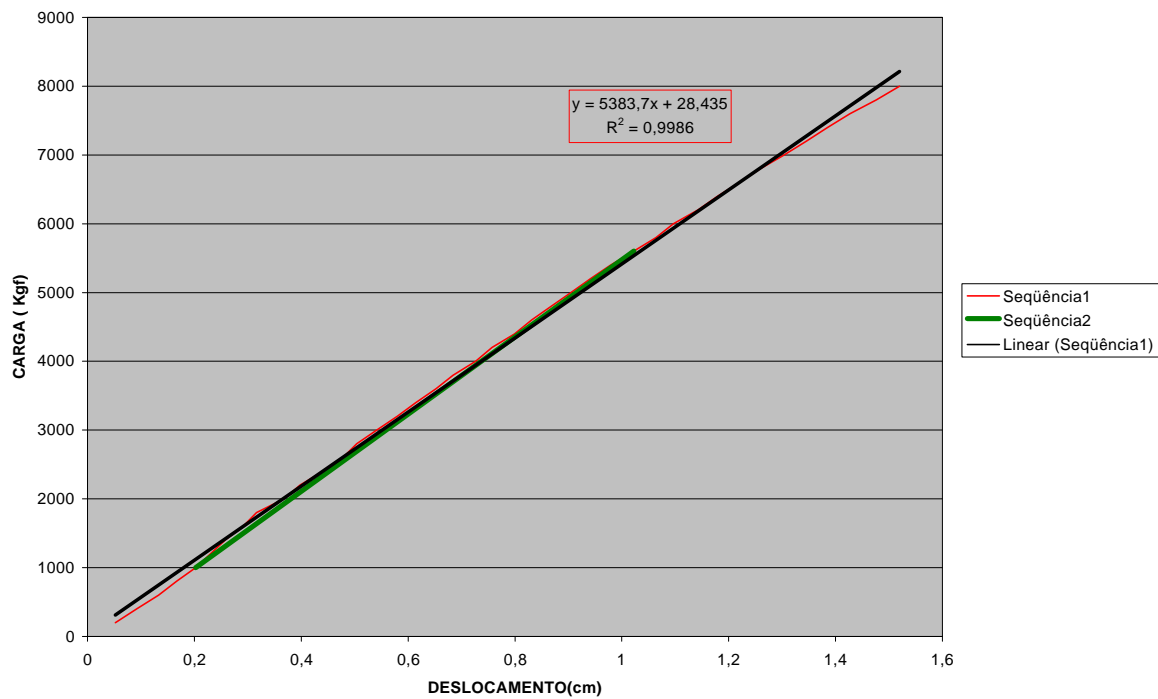
11000 kgf Carga de Ruptura



VIGAI MESA LVL-V2



VIGAI MESA LVL- V3



vigal mesa MACIÇA - V1

	Carga	Viga1 L1	Viga1 L2		
0,046	200	0,059	0,033	42,74	41,35
0,1035	400	0,128	0,079	42,05	40,89
0,165	600	0,192	0,138	41,41	40,3
0,2285	800	0,261	0,196	40,72	39,72
0,2905	1000	0,328	0,253	40,05	39,15
0,355	1200	0,394	0,316	39,39	38,52
0,4215	1400	0,465	0,378	38,68	37,9
0,4845	1600	0,531	0,438	38,02	37,3
0,544	1800	0,593	0,495	37,4	36,73
0,605	2000	0,658	0,552	36,75	36,16
0,669	2200	0,728	0,61	36,05	35,58
0,729	2400	0,793	0,665	35,4	35,03
0,79	2600	0,858	0,722	34,75	34,46
0,8425	2800	0,916	0,769	34,17	33,99
0,8945	3000	0,971	0,818	33,62	33,5
0,9455	3200	1,028	0,863	33,05	33,05
1,002	3400	1,086	0,918	32,47	32,5
1,058	3600	1,148	0,968	31,85	32
1,114	3800	1,207	1,021	31,26	31,47
1,1715	4000	1,269	1,074	30,64	30,94
1,2325	4200	1,333	1,132	30	30,36
1,2935	4400	1,399	1,188	29,34	29,8
1,3565	4600	1,468	1,245	28,65	29,23
1,425	4800	1,538	1,312	27,95	28,56
1,4885	5000	1,608	1,369	27,25	27,99

8500 kgf Carga de Ruptura

vigal mesa MACIÇA - V2

	Carga	Viga2 L1	Viga2 L2		
0,0505	200	0,06	0,041	44,4	39,25
0,1125	400	0,136	0,089	43,64	38,77
0,171	600	0,206	0,136	42,94	38,3
0,2305	800	0,27	0,191	42,3	37,75
0,288	1000	0,328	0,248	41,72	37,18
0,3465	1200	0,386	0,307	41,14	36,59
0,4055	1400	0,442	0,369	40,58	35,97
0,462	1600	0,497	0,427	40,03	35,39
0,519	1800	0,557	0,481	39,43	34,85
0,572	2000	0,609	0,535	38,91	34,31
0,629	2200	0,667	0,591	38,33	33,75
0,682	2400	0,718	0,646	37,82	33,2
0,737	2600	0,774	0,7	37,26	32,66
0,784	2800	0,821	0,747	36,79	32,19
0,839	3000	0,878	0,8	36,22	31,66
0,8895	3200	0,928	0,851	35,72	31,15
0,9435	3400	0,979	0,908	35,21	30,58
0,9945	3600	1,031	0,958	34,69	30,08
1,051	3800	1,087	1,015	34,13	29,51
1,1105	4000	1,146	1,075	33,54	28,91
1,175	4200	1,209	1,141	32,91	28,25
1,232	4400	1,264	1,2	32,36	27,66
1,2825	4600	1,314	1,251	31,86	27,15
1,3395	4800	1,369	1,31	31,31	26,56
1,419	5000	1,444	1,394	30,56	25,72

7970 kgf Carga de Ruptura

vigal mesa MACIÇA - V3

	Carga	Viga3 L1	Viga3 L2		
0,042	200	0,033	0,051	41,67	39,11
0,104	400	0,096	0,112	41,04	38,5
0,163	600	0,148	0,178	40,52	37,84
0,2195	800	0,202	0,237	39,98	37,25
0,2745	1000	0,252	0,297	39,48	36,65
0,328	1200	0,304	0,352	38,96	36,1
0,383	1400	0,354	0,412	38,46	35,5
0,439	1600	0,41	0,468	37,9	34,94
0,4915	1800	0,46	0,523	37,4	34,39
0,547	2000	0,512	0,582	36,88	33,8
0,6	2200	0,564	0,636	36,36	33,26
0,652	2400	0,615	0,689	35,85	32,73
0,6965	2600	0,66	0,733	35,4	32,29
0,746	2800	0,709	0,783	34,91	31,79
0,797	3000	0,76	0,834	34,4	31,28
0,845	3200	0,806	0,884	33,94	30,78
0,8905	3400	0,853	0,928	33,47	30,34
0,939	3600	0,898	0,98	33,02	29,82
0,984	3800	0,944	1,024	32,56	29,38
1,0335	4000	0,993	1,074	32,07	28,88
1,0835	4200	1,043	1,124	31,57	28,38
1,1355	4400	1,094	1,177	31,06	27,85
1,1875	4600	1,147	1,228	30,53	27,34
1,2465	4800	1,203	1,29	29,97	26,72
1,311	5000	1,265	1,357	29,35	26,05

8100 kgf Carga de Ruptura

Viga I Mesa Maciça - V4

	Carga	Viga4 L1	Viga4 L2		
0,047	200	0,042	0,052	8,42	7,52
0,093	400	0,105	0,081	9,05	7,81
0,1435	600	0,166	0,121	9,66	8,21
0,202	800	0,242	0,162	10,42	8,62
0,252	1000	0,306	0,198	11,06	8,98
0,3225	1200	0,404	0,241	12,04	9,41
0,374	1400	0,473	0,275	12,73	9,75
0,427	1600	0,539	0,315	13,39	10,15
0,474	1800	0,598	0,35	13,98	10,5
0,528	2000	0,661	0,395	14,61	10,95
0,5805	2200	0,721	0,44	15,21	11,4
0,6365	2400	0,788	0,485	15,88	11,85
0,6945	2600	0,847	0,542	16,47	12,42
0,745	2800	0,902	0,588	17,02	12,88
0,796	3000	0,944	0,648	17,44	13,48
0,8575	3200	1,021	0,694	18,21	13,94
0,906	3400	1,072	0,74	18,72	14,4
0,961	3600	1,137	0,785	19,37	14,85
1,024	3800	1,198	0,85	19,98	15,5
1,08	4000	1,262	0,898	20,62	15,98
1,152	4200	1,34	0,964	21,4	16,64
1,2145	4400	1,405	1,024	22,05	17,24
1,307	4600	1,532	1,082	23,32	17,82
1,398	4800	1,641	1,155	24,41	18,55
1,468	5000	1,714	1,222	25,14	19,22
1,538	5200	1,789	1,287	25,89	19,87
1,6025	5400	1,855	1,35	26,55	20,5
1,683	5600	1,938	1,428	27,38	21,28
1,7405	5800	1,999	1,482	27,99	21,82
1,824	6000	2,088	1,56	28,88	22,6

8600 Carga de Ruptura

Viga I Mesa Maciça - V5

	Carga	Viga5 L1	Viga5 L2		
0,0365	200	0,051	0,022	9,24	3,22
0,091	400	0,117	0,065	9,9	3,65
0,1375	600	0,185	0,09	10,58	3,9
0,179	800	0,227	0,131	11	4,31
0,22	1000	0,277	0,163	11,5	4,63
0,258	1200	0,318	0,198	11,91	4,98
0,304	1400	0,376	0,232	12,49	5,32
0,3455	1600	0,413	0,278	12,86	5,78
0,393	1800	0,454	0,332	13,27	6,32
0,419	2000	0,473	0,365	13,46	6,65
0,47	2200	0,525	0,415	13,98	7,15
0,518	2400	0,572	0,464	14,45	7,64
0,562	2600	0,626	0,498	14,99	7,98
0,6175	2800	0,683	0,552	15,56	8,52
0,654	3000	0,718	0,59	15,91	8,9
0,6995	3200	0,759	0,64	16,32	9,4
0,7405	3400	0,801	0,68	16,74	9,8
0,7915	3600	0,851	0,732	17,24	10,32
0,83	3800	0,895	0,765	17,68	10,65
0,8865	4000	0,943	0,83	18,16	11,3
0,925	4200	0,986	0,864	18,59	11,64
0,9775	4400	1,035	0,92	19,08	12,2
1,0215	4600	1,079	0,964	19,52	12,64
1,0795	4800	1,135	1,024	20,08	13,24
1,1265	5000	1,183	1,07	20,56	13,7
1,1815	5200	1,233	1,13	21,06	14,3
1,235	5400	1,285	1,185	21,58	14,85
1,292	5600	1,337	1,247	22,1	15,47
1,3455	5800	1,386	1,305	22,59	16,05
1,4035	6000	1,443	1,364	23,16	16,64

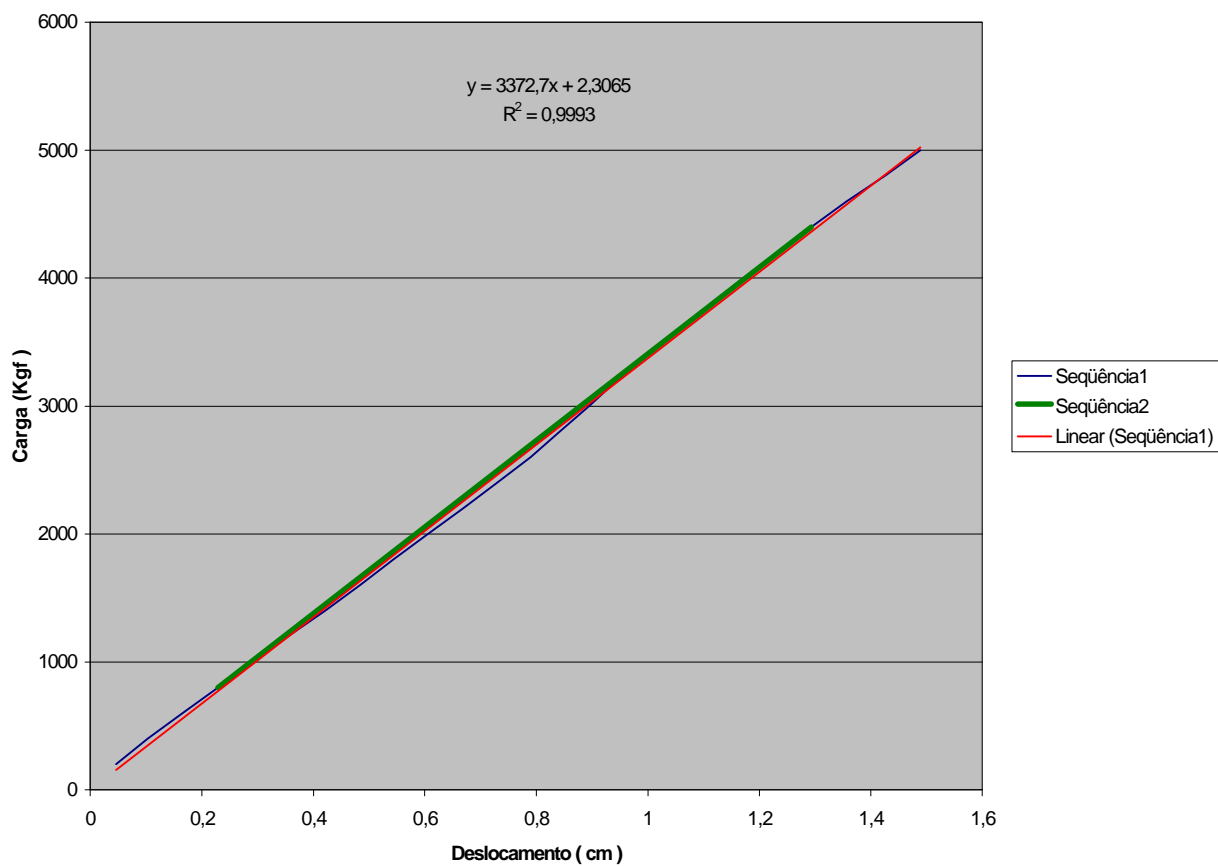
8200 Carga de Ruptura

Viga I Mesa Maciça - V6

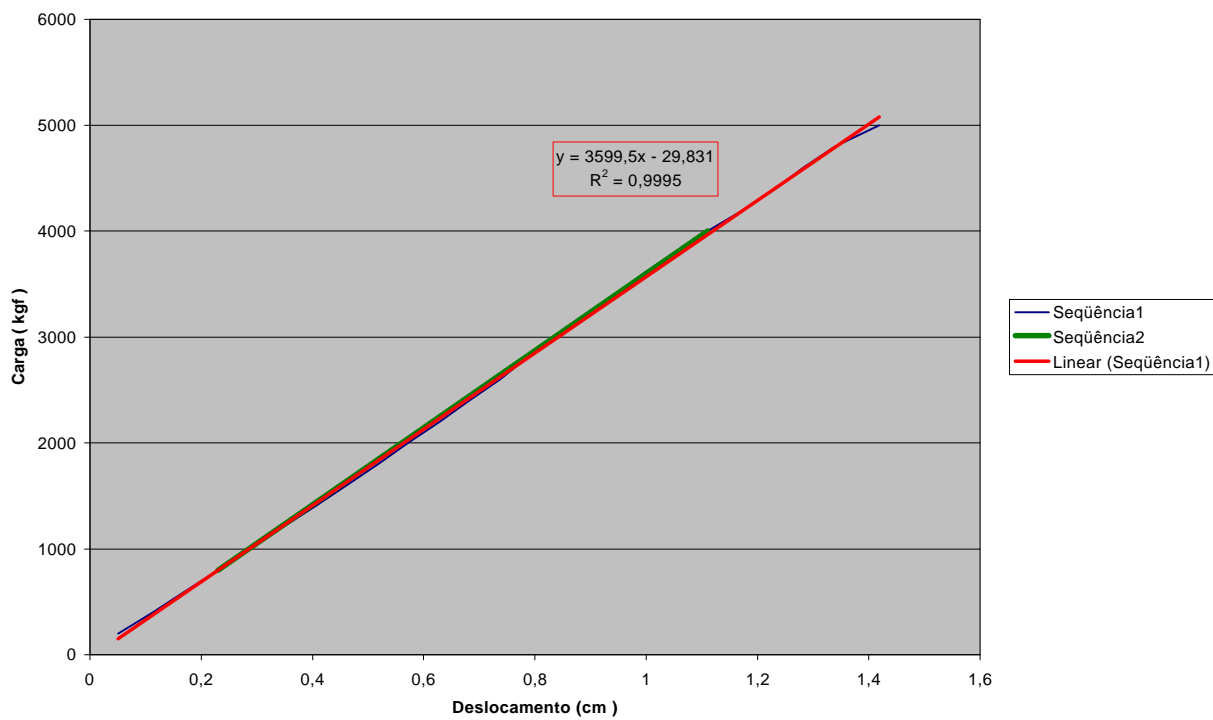
	Carga	Viga6 L1	Viga6 L2		
0,033	200	0,027	0,039	49,82	16,39
0,078	400	0,077	0,079	50,32	16,79
0,1325	600	0,135	0,13	50,9	17,3
0,173	800	0,183	0,163	51,38	17,63
0,2235	1000	0,227	0,22	51,82	18,2
0,265	1200	0,282	0,248	52,37	18,48
0,3195	1400	0,341	0,298	52,96	18,98
0,3655	1600	0,381	0,35	53,36	19,5
0,4035	1800	0,427	0,38	53,82	19,8
0,453	2000	0,471	0,435	54,26	20,35
0,4995	2200	0,52	0,479	54,75	20,79
0,5495	2400	0,569	0,53	55,24	21,3
0,589	2600	0,613	0,565	55,68	21,65
0,6385	2800	0,656	0,621	56,11	22,21
0,6785	3000	0,702	0,655	56,57	22,55
0,73	3200	0,746	0,714	57,01	23,14
0,7715	3400	0,788	0,755	57,43	23,55
0,8225	3600	0,834	0,811	57,89	24,11
0,866	3800	0,877	0,855	58,32	24,55
0,913	4000	0,921	0,905	58,76	25,05
0,9585	4200	0,963	0,954	59,18	25,54
1,0045	4400	1,011	0,998	59,66	25,98
1,059	4600	1,063	1,055	60,18	26,55
1,1545	4800	1,111	1,198	60,66	27,98
1,2095	5000	1,169	1,25	61,24	28,5
1,258	5200	1,222	1,294	61,77	28,94
1,313	5400	1,278	1,348	62,33	29,48
1,368	5600	1,336	1,4	62,91	30
1,425	5800	1,395	1,455	63,5	30,55
1,4845	6000	1,455	1,514	64,1	31,14

9400 Carga de Ruptura

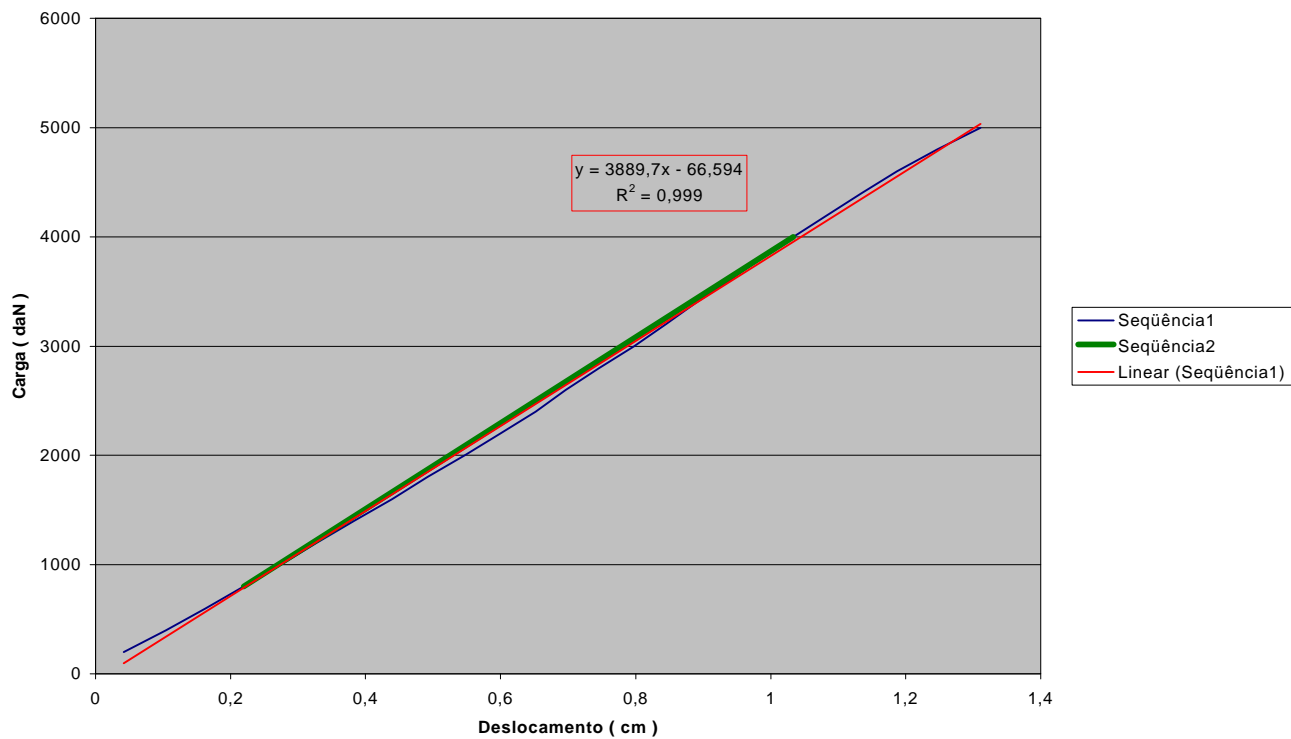
Viga I mesa maciça - V1



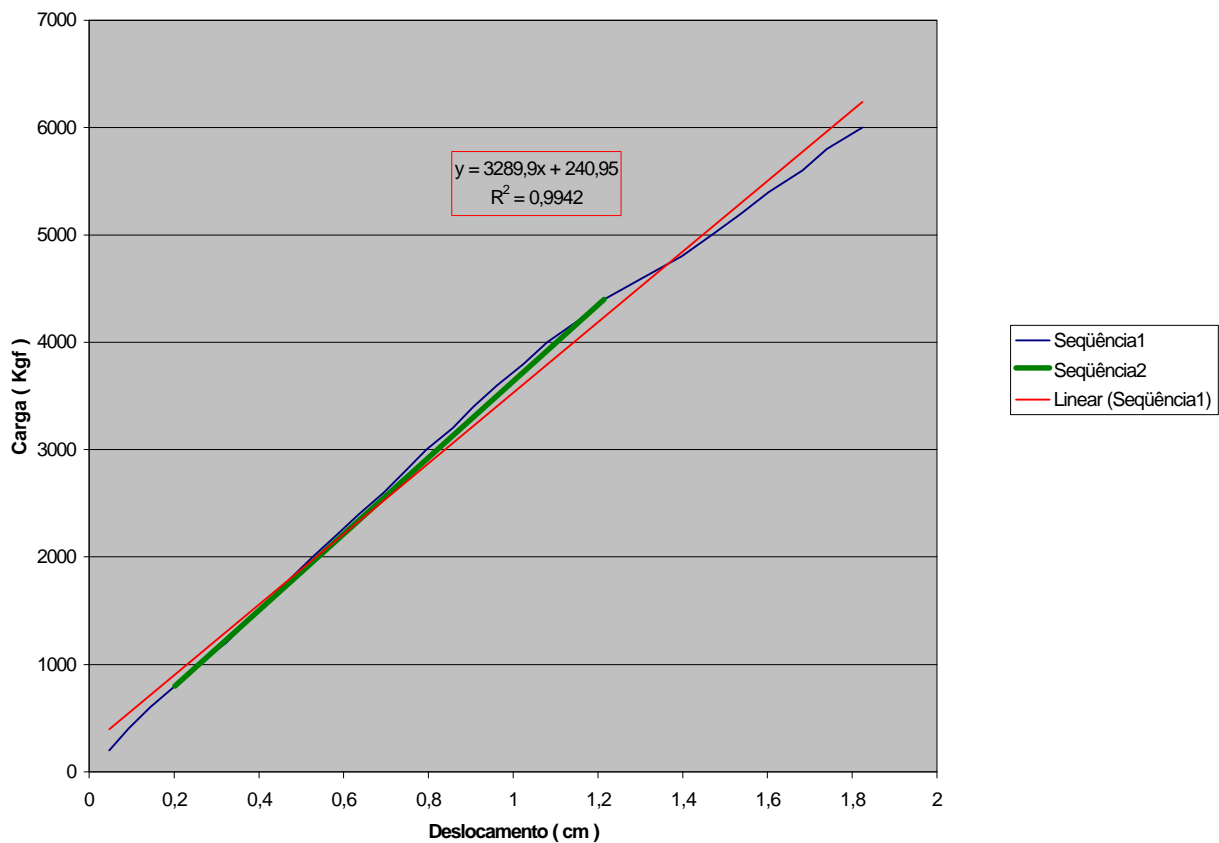
Viga I Mesa Maciça - V2



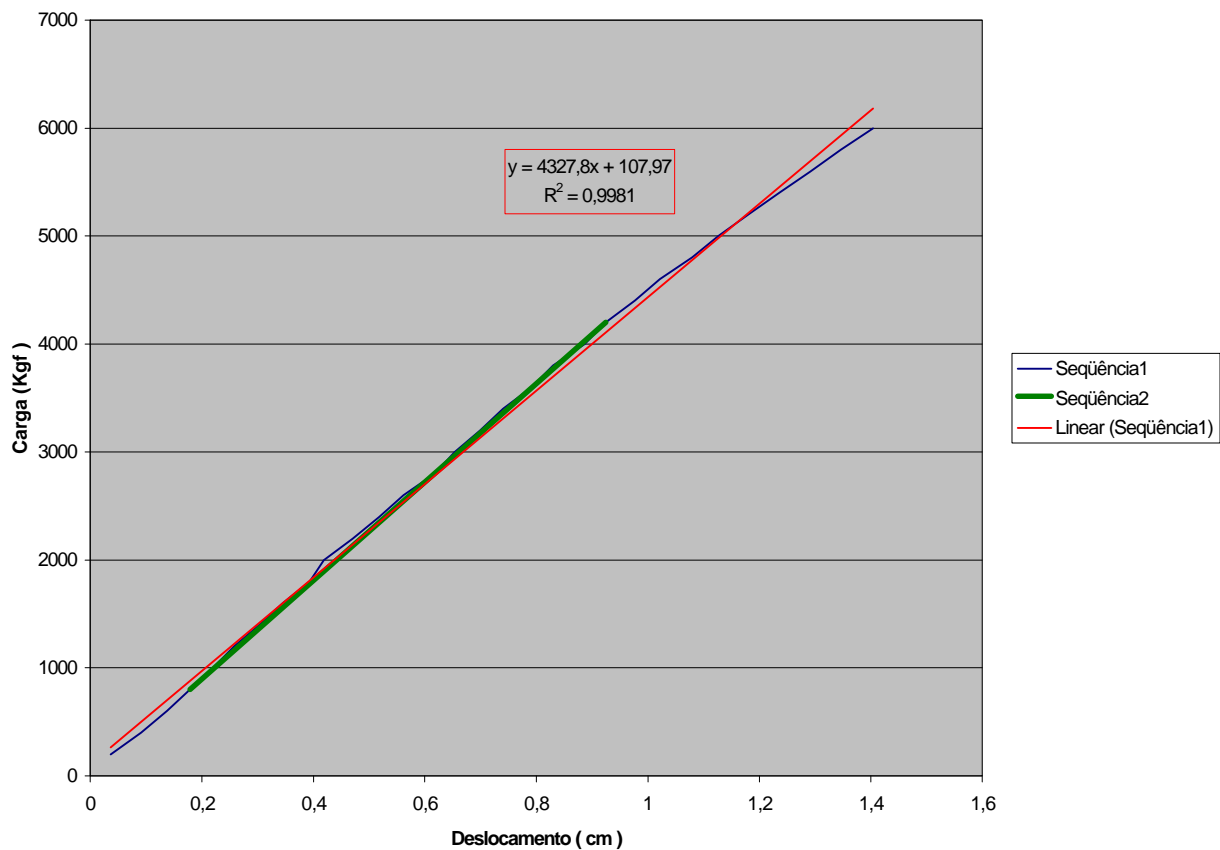
Viga I Mesa Maciça - V3



Viga I Mesa Maciça - V4



Viga I Mesa Maciça - V5



Viga I Mesa Maciça - V6

