



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MARCOS VINÍCIUS BARBOSA COSTA DE SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE ELEMENTOS DE COMPENSADO NAVAL**

JOÃO PESSOA

2019

MARCOS VINÍCIUS BARBOSA COSTA DE SOUZA

**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE ELEMENTOS DE COMPENSADO NAVAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba – Campus I – para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Givanildo Alves de Azeredo.

JOÃO PESSOA

2019

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

S729c Souza, Marcos Vinicius Barbosa Costa de.  
Caracterização mecânica de elementos de compensado  
naval / Marcos Vinicius Barbosa Costa de Souza. - João  
Pessoa, 2019.  
79 f. : il.

Orientação: Givanildo Azeredo.  
Monografia (Graduação) - UFPB/Tecnologia.

1. madeira. 2. estruturas. 3. análise estrutural. I.  
Azeredo, Givanildo. II. Título.

UFPB/BC

## FOLHA DE APROVAÇÃO

MARCOS VINÍCIUS BARBOSA COSTA DE SOUZA

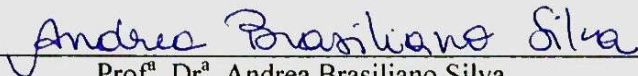
**CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE ELEMENTOS DE COMPENSADO NAVAL.**

Trabalho de Conclusão de Curso em 26/09/2019 perante a seguinte Comissão Julgadora:



Prof. Dr. Givanildo Alves de Azeredo  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO




Prof.ª Dr.ª Andrea Brasiliano Silva  
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

APROVADO.



Prof. Dr. Ulisses Targino Bezerra  
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Construção de Edifícios do IFPB

APROVADO.



Prof.ª Andrea Brasiliano Silva  
Matrícula Siape: 1549557  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

Dedico esse trabalho e tudo que tenho ao Nosso Senhor Jesus Cristo por sua infinita misericórdia.

**“Estar no lado mais fraco é estar na escola do mais forte”.**

**G. K. Chesterton**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo e de todos, a Deus Uno e Trino que reina por todos os séculos dos séculos. Minha gratidão também a Santíssima Virgem Maria que cuidou deste filho rebelde por todos esses anos, como também, a São José de Cupertino que intercedeu por mim em tantos momentos de aflição.

Agradeço aos meus pais, Dilma e Ronaldo, que se sacrificaram por mim em diversos momentos de suas vidas. Sou grato aos meus irmãos, Felipe e João, minha cunhada, Natacha, e ao meu padrasto, Edivaldo.

Agradeço aos professores Andrea Brasileiro e Ulisses Targino Bezerra, que de forma muito gentil, aceitaram examinar este trabalho. Agradeço ao Professor Givanildo de Azeredo que me orientou todos estes meses de maneira extremamente diligente e cortês.

Agradeço ao projeto Casa Nordeste por terem me dado todo o suporte, inclusive, na obtenção do material dos elementos ensaiados. Em especial, presto meus agradecimentos ao professor Carlos Nome pelas importantes contribuições ao trabalho.

Agradeço aos técnicos do LABEME, especialmente, a Sebastião pela concepção do *setup* de ensaio. Sou grato também aos técnicos do Laboratório de Oficina Mecânica e ao professor José Gonçalves pela hospitalidade como coordenador do Laboratório de Ensaios Mecânicos.

Agradeço a PLANEJ na pessoa de Elyson Duarte por toda a compreensão e amizade.

Agradeço aos meus amigos de curso Eleóni, Clinton, Francisco, Natália, Lucas Sousa e aos irmãos, Lucas e Mateus.

## RESUMO

A madeira vem se projetando como uma alternativa de baixo impacto ambiental e de versatilidade em uso nos últimos anos. Muito disso se deve às inovadoras formas de industrialização da madeira, bem como os avanços das técnicas de engenharia florestal e das mudanças nas legislações relacionadas à sua exploração e à comercialização. Em vista disso e da possibilidade de aplicação em fabricação digital, o Projeto Casa Nordeste produziu um modelo de moradia compacta cujo material base da estrutura é o compensado naval. Para o emprego deste tipo de madeira compensada no projeto, fez-se necessário a obtenção das propriedades mecânicas do material, tais como o módulo de elasticidade e a resistência à flexão, bem como a análise desses valores em elementos com escalas real e reduzida. Os resultados para o módulo de elasticidade nas direções longitudinal e transversal e resistência à flexão nas direções longitudinal e transversal foram, respectivamente, 3359,98 MPa, 2061,59 MPa, 29,33 MPa e 25,66 MPa. Além disso, foi avaliada a influência dos efeitos da flambagem lateral com torção no colapso dos elementos experimentados confirmando que tal fenômeno está relacionado com a esbeltez do elemento estudado, do mesmo modo que se analisou como os efeitos de cisalhamento influenciam no campo de deflexões das estruturas.

**Palavras chaves:** madeira. estruturas. análise estrutural.



## ABSTRACT

Wood has been proving itself as a low environmental impact and versatility alternative in use in recent years. In addition, innovative forms of industrialization of wood should be developed, as should advances in forestry engineering techniques and changes in legislation related to their exploitation and marketing. In view of this and the possibility of application in digital manufacturing, the Casa Nordeste Project produces a compact housing model whose base material of the structure is naval compensated. For the use of this type of plywood in the project, it was necessary to obtain mechanical properties of the material, such as the modulus of elasticity and flexural strength, as well as the analysis of these values in elements with real and reduced scales. The results for the modulus of elasticity in the longitudinal and transverse directions and flexural strength in the longitudinal and transverse directions were, respectively, 3359.98 MPa, 2061.59 MPa, 29.33 MPa and 25.66 MPa. In addition, the influence of the lateral torsional buckling effects on the tested elements was verified, confirming that the phenomenon is related to the slenderness of the studied element, as well as analyzing how the shear effects influence the action deflection field.

**Keywords:** wood. structure. analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Renderização do modelo de moradia do Projeto Casa Nordeste .....	17
Figura 2 – Orientação das fibras das lâminas de um compensado .....	19
Figura 3 – Laminação por torneamento (esquerda) e laminação por faqueamento (direita)....	20
Figura 4 – Partes de um painel de madeira compensada .....	21
Figura 5 – Espécime de Paricá .....	24
Figura 6 - Flambagem lateral com torção de uma viga submetida a momentos finais $M$ aplicados sobre o maior eixo .....	26
Figura 7 - Linha elástica a partir de um carregamento $Q$ .....	28
Figura 8 - <i>Servopulser</i> E classe 200 kN .....	31
Figura 9 - <i>Servo Controller</i> 4830 .....	32
Figura 10 – Esquema do <i>setup</i> .....	33
Figura 11 – Base de fixação (esquerda) e bucha de aço (direita) .....	33
Figura 12 – Barra reguladora (esquerda) e fixador dos roletes (direita) .....	34
Figura 13 – Dimensões das amostras em milímetros (FL – Fibra longitudinal e FT – Fibra Transversal) .....	35
Figura 14 – Grupos dos corpos de prova.....	36
Figura 15 – Fluxograma das análises dos grupos de ensaio .....	37
Figura 16 – Esquema da viga em escala real ensaiada .....	38
Figura 17 – Viga após ruptura .....	39
Figura 18 – Curvas tensão-deformação do grupo FL - H1 .....	44
Figura 19 - Curvas tensão-deformação do grupo FT - H1 .....	44
Figura 20 – Erro relativo percentual dos deslocamentos para o Transdutor 1 instalado na viga de tamanho real em função de $F_n/F_{m\acute{a}x}$ .....	47
Figura 21 - Erro relativo percentual dos deslocamentos para o Transdutor 2 instalado na viga de tamanho real em função de $F_n/F_{m\acute{a}x}$ .....	48

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Velocidade de carga para cada grupo de ensaio .....	37
Tabela 2 – Valores médios do módulo de elasticidade .....	42
Tabela 3 – Valores médios e característicos das resistências à flexão .....	43
Tabela 4 - valores de $\lambda_{rel,m}$ , $\sigma_{m,i,cr}$ e $\sigma_{i,rup}$ .....	45
Tabela 5 – Erros relativos percentuais dos deslocamentos.....	47

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
3.1	OBJETIVO GERAL .....	18
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>4</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>18</b>
4.1	MADEIRA COMPENSADA .....	19
4.1.1	<i>Partes de um compensado</i> .....	21
4.1.2	<i>Compensado Naval</i> .....	22
4.2	MADEIRA DE PARICÁ.....	23
4.3	EN 310 .....	25
4.4	FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO .....	26
4.5	CURVA ELÁSTICA .....	27
4.6	ERRO RELATIVO PERCENTUAL.....	29
<b>5</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
5.1	MATERIAL ENSAIADO .....	30
5.2	ENSAIO PARA A OBTENÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE E DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO .....	30
5.2.1	<i>Equipamentos</i> .....	31
5.2.2	<i>Metodologia de ensaio</i> .....	34
5.3	ENSAIO COM VIGA EM ESCALA REAL.....	38
5.3.1	<i>Equipamentos</i> .....	38
5.3.2	<i>Metodologia de ensaio</i> .....	39
<b>6</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>40</b>
6.1	CURVAS CARGA-DEFLEXÃO.....	40
6.2	CURVAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO .....	40
6.3	MÓDULO DE ELASTICIDADE NA FLEXÃO .....	41
6.4	RESISTÊNCIA À FLEXÃO .....	42
6.5	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	43
6.5.1	<i>Efeitos de flambagem lateral com torção</i> .....	45
6.5.2	<i>Efeitos de cisalhamento</i> .....	46
<b>7</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>48</b>

7.1	CONCLUSÕES .....	48
7.2	SUGESTÕES.....	49
<b>8</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>51</b>
<b>9</b>	<b>APÊNDICE A – FICHA DE DADOS DOS ELEMENTOS EXPERIMENTADOS.....</b>	<b>54</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira é, seguramente, um dos primeiros materiais a ser utilizados pela humanidade para o atendimento de suas necessidades. O uso desse recurso, seja para a concepção de ferramentas, seja para a construção de abrigos, foi realizado de maneira singular por cada civilização ao longo da história. Sua importância é tanta que, historicamente, as construções de madeira acabaram por influenciar, estrutural e tecnicamente, muito do conceito das edificações modernas (LOURENÇO; BRANCO, 2013).

Essa influência da madeira na concepção das construções contemporâneas atravessou os séculos de forma que hoje este material ainda é empregado largamente como solução estrutural. Isso pode ser verificado a partir de dados do Brasil, Estados Unidos da América e União Europeia: de acordo com o Departamento de Habitação e Desenvolvimento Urbano dos EUA, em mais de 90% das residências unifamiliares construídas em todo território estadunidense no ano de 2018 foi utilizada a madeira como solução estrutural (HUD, 2018); já no continente europeu, segundo dados do Gabinete de Estatísticas da União Europeia, foram movimentados cerca de dois bilhões de euros, entre exportações e importações, apenas no setor de edificações pré-fabricadas de madeira (EUROSTAT, 2019); mesmo para o Brasil, onde o partido estrutural da maior parte das regiões não é a madeira, foram registrados em 2010 quase quatro milhões de domicílios com paredes externas de madeira aparelhada e aproveitada (IBGE, 2010).

Também há perspectivas de uma larga utilização da madeira para o futuro. Fato é que, em 2005, na Conferência Mundial sobre Construções Sustentáveis em Tóquio, Japão, elegeu-se a madeira como o material do futuro sustentável (PLETZ, 2016).

Neste contexto, a fim de lhe conceder melhor desempenho, vem-se desenvolvendo diversas formas de industrialização da madeira, tais como: a madeira laminada colada (MLC ou, do inglês, *Glued Laminated Timber - Glulam*), OSB (do inglês, *Oriented Strand Board*, em português Painel de Tiras de Madeira Orientadas), LVL (*Laminated Veneer Lumber*, ou seja, Laminado de Lâminas Paralelas) e a madeira compensada. A este último grupo, pertence o material cujo processo de determinação de algumas de suas propriedades está apresentado neste trabalho: o compensado naval.

Para a realização desse estudo da resistência do material, as propriedades obtidas foram especificamente o módulo de elasticidade na flexão e a resistência à flexão. Tal investigação faz-se necessária a fim de que este mesmo material seja aplicado para a

construção da estrutura de uma proposta de residência, que tem como um de seus objetivos a expansão do uso de materiais sustentáveis e que será apresentada na justificativa do trabalho.

Evidentemente, a utilização dessas propriedades mecânicas encontradas para o compensado naval precisa ser analisada para as principais formas de solicitação empregadas no projeto.

Além disso, sabendo da necessidade de dimensionamento da estrutura a partir de um código, procuraram-se as melhores referências para o caso de uma moradia em compensado naval. Duas normas foram postas como possíveis candidatas: EN 1995 (CEN, 2004a) - *Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings* e a NBR 7190 (ABNT, 1996) - *Projeto de estruturas de madeira*. Uma vez que o modelo seria avaliado em competição, sua performance principalmente nos aspectos relacionados à aparência, ao conforto e à durabilidade, ou seja, seu comportamento sensorial relacionado aos critérios de segurança do estado limite de serviço deveria ser levado em conta. Apesar da grande semelhança entre as normas, ao comparar as seções (7) – *Serviceability Limit States* – do Eurocode 5 com o item (9) – *Estados Limites de Utilização* – da NBR 7190, percebe-se que o código europeu apresenta de forma mais detalhada os limites relativos a deformações e vibrações.

Outro ponto de discrepância está no dimensionamento de peças esbeltas, como explica Miotto (2003, p. 95): “destaca-se que o Eurocode 5 não limita a esbeltez de peças comprimidas e flexocomprimidas, como faz a NBR 7190”. Considerando-se que a grande maioria das peças se dará pela junção de várias folhas com espessuras iguais àquelas dos painéis adquiridos para fabricação, inevitavelmente, as estruturas serão caracterizadas por ter considerável esbeltez.

Dessa maneira, a fim de não limitar as dimensões das peças no aspecto da flexocompressão e possibilitar um controle mais satisfatório da estrutura no estado limite de utilização, optou-se por referenciar o dimensionamento a partir do Eurocode 5.

Assim, depois de definidos pelas equipes do projeto as geometrias das peças e o esqueleto da estrutura, bem como, a natureza das cargas que estariam solicitando os elementos estruturais, observou-se que boa parte desses elementos estaria sujeita a efeitos de flexão de maneira predominante. Como o processo de dimensionamento se deu à luz das recomendações do Eurocode 5, nada mais natural que os ensaios para obtenção dos valores de resistências à flexão fossem feitos a partir dos códigos recomendados por esta norma.

Com base nisso, foram realizados ensaios experimentais e pesquisas bibliográficas para a obtenção dessas propriedades. Mais especificamente, para o módulo de elasticidade na

flexão e resistência à flexão, utilizaram-se das indicações previstas na norma europeia EN 310 (CEN, 1993) - *Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength*. O procedimento e os resultados colhidos a partir da referida norma serão o centro de estudo deste trabalho, além da verificação da aplicação dos valores encontrados no estudo de elementos estruturais de interesse do projeto Casa Nordeste.

## 2 JUSTIFICATIVA

A madeira e seus produtos, além de apresentarem grande versatilidade, são materiais de grande disponibilidade. Apesar de não ser um material moldável, tal qual o concreto, o advento de novos maquinários com capacidade de cortes minuciosos e que permitem o intercâmbio de plataformas digitais, fez com que essa desvantagem acabasse por ser facilmente contornada.

Quanto a outro aspecto, o impacto ambiental de sua exploração, tem-se uma melhoria significativa, uma vez que os mercados estão cada vez mais rigorosos com a obrigatoriedade do uso de madeira reflorestada, cujo controle de qualidade padrão é melhor quando comparado ao da madeira extraída de florestas nativas. Essa padronização proveniente do avanço das técnicas de silvicultura, aliada a processos de fabricação cada vez mais modernos, se propõe como solução às problemáticas de anisotropia da madeira.

Essas e outras características fazem da madeira e seus derivados uma alternativa cada vez mais viável ao desenvolvimento sustentável diante das soluções construtivas convencionais, e isso não é uma exceção quando se trata da aplicação para construção de habitações. Por estas e outras razões, projetos com propostas relacionadas à sustentabilidade e à acessibilidade em um sentido geral acabam por encontrar na madeira industrializada uma solução a ser empregada. Neste grupo se enquadra o projeto ligado à Universidade Federal da Paraíba, a Casa Nordeste.

A Casa Nordeste consiste em um projeto do Laboratório de Modelos e Prototipagem (LM+P) do Centro de Tecnologia (CT) para concepção de uma moradia compacta (modelo renderizado pode ser visto na Figura 1) que será submetida à competição internacional, organizada pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, *Solar Decathlon*, versão *Latin America & Caribbean*. Nesta competição, estudantes de equipes de diversos países projetarão uma moradia, além de construí-la em 10 dias na cidade de Cali, Colômbia, para que esta seja avaliada em operação por mais outros sete dias.



Dessa maneira, o objetivo da Casa Nordeste no *Solar Decathlon* é “desenvolver uma moradia que faça jus à cultura nordestina e tenha como alicerces ser 100% Nordeste, possuir código aberto e ser uma casa evolutiva” (CASA NORDESTE, 2019).

Figura 1 - Renderização do modelo de moradia do Projeto Casa Nordeste



Fonte: Acervo do Projeto Casa Nordeste – DAU – UFPB.

Nesse contexto, entendeu-se que o modelo que viesse a ser proposto deveria ter, necessariamente, uma estrutura de peças pré-fabricadas com encaixe a seco, pois desta forma seria possível atender o caráter evolutivo da moradia, ou seja, a expansão da casa a partir de módulos visando atender eventuais necessidades do usuário. Entretanto, esse aspecto acarretaria outra problemática: o transporte das peças da estrutura até o local de competição implicaria em custos bastante elevados. A solução foi usar o processo de fabricação digital já que este garante, além da concepção de formas com excelência em acabamento, a acessibilidade do projeto a qualquer pessoa, corroborando no conceito de código aberto desejado pelo projeto.

A produção das peças poderia ser feita digitalmente através de qualquer espaço que dispusesse de uma fresadora CNC (Controle Numérico Computadorizado). Trata-se de um equipamento que mediante um método subtrativo modela a peça por meio de um *spindle* ou tupia em um bloco de material ou chapa (AMUI, 2017). Essa ferramenta é item obrigatório nos FabLab: oficinas de laboratórios para fabricação digital, estando presente em vários países, inclusive na Colômbia.

Como já foi mencionado, a madeira industrializada responde de maneira satisfatória aos ideais de sustentabilidade procurados pela Casa Nordeste, necessitando apenas sondar um produto que fosse empregável no contexto da fabricação digital. Tendo em vista a disponibilidade nos mercados locais do Nordeste brasileiro e da Colômbia, bom desempenho diante da ação de intempéries e características de resistência satisfatórias, optou-se pelo uso do compensado naval. Tal classe de compensado será descrita ao longo do trabalho.

Desta feita, faz-se necessário o estudo do material a ser empregado na estrutura da moradia, seja em seu protótipo, seja na sua versão final na competição. Evidentemente, quando se trata da aplicação do compensado naval para função estrutural de uma casa, compreende-se a necessidade de obter os parâmetros de resistência desse material.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GERAL**

Caracterizar o comportamento mecânico de determinados elementos de compensado naval submetidos a ensaios de flexão.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- (i). Obter o módulo de elasticidade na flexão e a resistência à flexão a partir de corpos de prova extraídos nas direções transversal e longitudinal de um painel de compensado naval empregado no projeto Casa Nordeste, seguindo as recomendações da EN 310 (CEN, 1993) - *Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength*;
- (ii). Analisar os efeitos de flambagem lateral com torção nos ensaios de flexão; e
- (iii). Analisar os efeitos de cisalhamento nas deflexões dos ensaios de flexão.

### **4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Para se compreender de forma satisfatória o conteúdo descrito neste trabalho, faz-se necessário definir o que viria ser a madeira compensada e, conseqüentemente, seu processo de

fabricação, suas partes componentes e, ainda, em que se diferencia o compensado naval dos demais tipos de madeira compensada.

Para que se tenha também um entendimento satisfatório dos conceitos abarcados pela análise dos resultados, fez-se uma breve indagação a respeito da flambagem lateral com torção e da concepção teórica da linha elástica. Ainda, para fins de análise, é introduzido o conceito de erro percentual relativo.

#### 4.1 MADEIRA COMPENSADA

Os compensados são materiais que se caracterizam pela união de finas camadas de madeira coladas entre si com a direção da fibra formando ângulos retos com as camadas adjacentes como pode ser visto no esquema apresentado na Figura 2. A NBR ISO 2074 – *Madeira compensada - vocabulário* – define madeira compensada como “chapa de madeira que consiste em um conjunto de camadas formadas tipicamente de lâminas, coladas sendo que a direção da fibra de camadas adjacentes forma, geralmente, ângulo reto” (ABNT, 2012, p. 1).

Figura 2 – Orientação das fibras das lâminas de um compensado

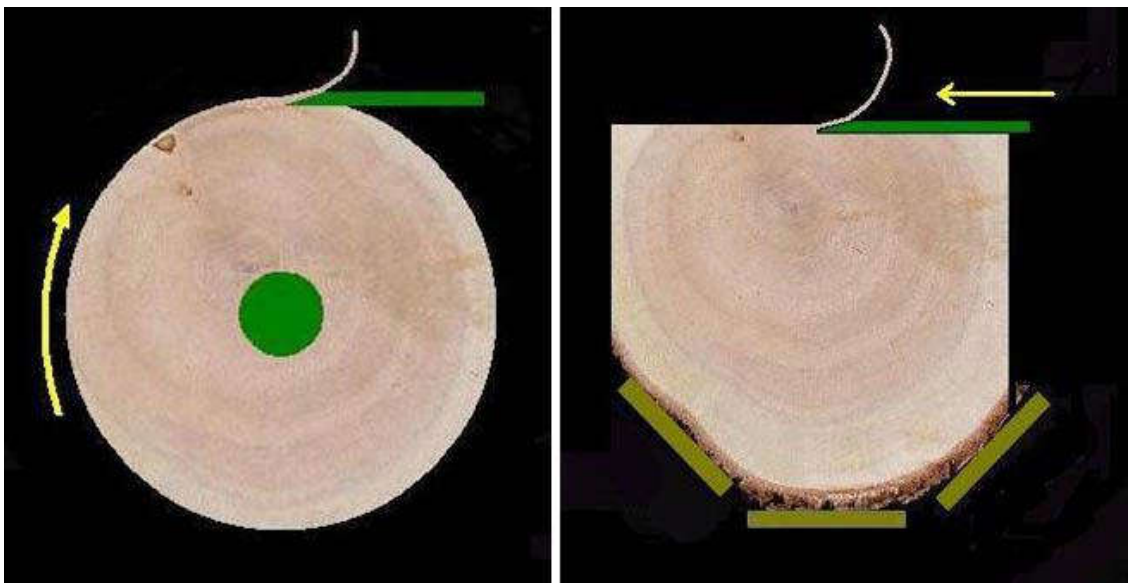


Fonte: APA (2010, p. 5).

Dependendo do tipo de madeira a ser utilizada para fabricação do compensado, o processo industrial para a obtenção das lâminas pode variar, caracterizando a uniformidade das fibras. Gonçalves e Almeida (1998) relatam a existência de dois processos principais:

- (i). Laminação por torneamento: por meio de um torno laminador, toras de consideráveis espessuras e relativamente curtas são “desenroladas” ao girarem tangencialmente contra o gume de uma faca comprida, concebendo lâminas com uma superfície contínua, como está apresentado na Figura 3 (à esquerda); e
- (ii). Laminação por faqueamento: peças de madeira em forma de “pranchões” são submetidas a uma faqueadeira onde são cortadas em planos gerando lâminas com potencial decorativo muito utilizadas em capas e contracapas de painéis. A lógica deste processo pode ser entendida na parte direita da Figura 3.

Figura 3 – Laminação por torneamento (esquerda) e laminação por faqueamento (direita)



Fonte: Colin (2011).

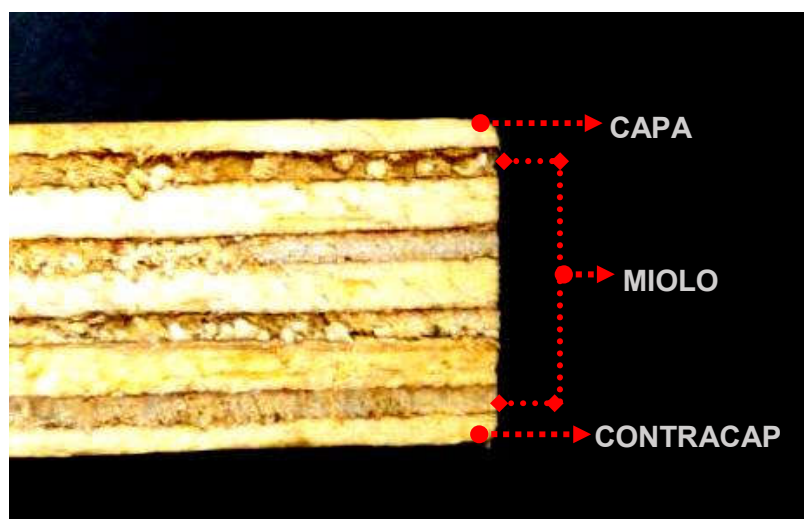
Em seguida, a depender da espessura desejada do painel, determinada quantidade de lâminas é prensada termicamente com a aplicação de cola sobre as suas superfícies. Essas substâncias utilizadas para colagem das camadas do compensado são mais conhecidas por adesivos sintéticos, sendo os mais empregados na indústria o adesivo ureia-formaldeído e fenolformaldeído (Silva *et al.*, 2012). Comparado ao adesivo fenólico, o adesivo ureico possui

um custo mais baixo; entretanto, quando exposto à umidade não garante uma resistência satisfatória. Dessa maneira, recomenda-se a utilização do adesivo fenólico para situações em que se necessite de garantia de durabilidade.

#### 4.1.1 Partes de um compensado

A fim de se ter uma melhor compreensão nos tópicos subsequentes, é de grande importância conhecer as partes de um painel de madeira compensada de acordo com o que descreve a NBR ISO 2074 (ABNT, 2012). De maneira geral, pode-se compreender o compensado como composto por três partes, a capa, a contracapa e o miolo como está indicado na Figura 4.

Figura 4 – Partes de um painel de madeira compensada



A capa do compensado consiste na lâmina de melhor qualidade e é posta como face do painel. A face oposta do painel é denominada por contracapa. Diferenciam-se apenas pelo acabamento superficial.

Entre a contracapa e a capa, na parte central, se encontram as lâminas do miolo cujas espessuras costumam ser maiores que as da capa e contracapa. Além das próprias lâminas, pode haver no miolo outro produto de madeira, como pequenos sarrafos de madeira colocados lado a lado, ou até mesmo, outro material.

#### 4.1.2 Compensado Naval

A distinção do compensado naval em relação aos outros tipos de compensado tende a variar no território em que se é comercializado. De qualquer forma, observa-se que é unanimidade o conceito de que o compensado naval é bastante viável para situações em que há considerável agressividade do ambiente.

No Brasil, a NBR 9531 (ABNT, 1985) - *Chapas de madeira compensada – Classificação* -, traz uma descrição para o compensado de uso externo (EX) que se caracteriza pela cola utilizada no processo de fabricação ser à prova d'água, para a qual o compensado naval é enquadrado. Stamato (1998, p. 18) explica e endossa seus aspectos de durabilidade e resistência:

As laterais do compensado do tipo naval devem ser totalmente fechadas, admitindo-se o uso de resina epóxi ou similar à prova d'água para fechamento do miolo oco não superior a 5 mm. Este tipo de chapa deve apresentar um módulo de elasticidade mínimo de 6000 N/mm<sup>2</sup>, determinado de acordo com a NBR 9533/86 (STAMATO, 1998, p. 18).

Atualmente, a NBR 9531 foi substituída pela NBR ISO 2426-2 (ABNT, 2006) - *Madeira compensada - Classificação pela aparência superficial, parte 2: Folhosas* -, e esta, por sua vez, não faz menção a critérios de categorização do compensado naval.

Ainda no contexto brasileiro, tem-se que os contraplacados comercializados com a alcunha de compensado naval são produzidos a partir da laminação de espécies como o cedro, pinus e Paricá.

Quanto aos códigos europeus, há a norma britânica BS 1088 (BSI, 2003) – *Marine Plywood, Part 1: Requirements* -, que além de trazer os requerimentos básicos para um compensado ser classificado como naval, ainda especifica determinadas características a serem observadas nas manufaturas de sua fabricação. Esta norma traz duas categorias de compensado naval: o Compensado Naval Padrão (*Standard Marine Plywood*), definido como contraplacado de madeira com ótima durabilidade diante à deterioração por ataque de fungos e com excelente qualidade da colagem, e o Compensado Naval Leve (*Lightweight Marine Plywood*), que difere do padrão pela espécie de madeira de baixa densidade utilizada na concepção de suas lâminas (BSI, 2003).

Vale salientar que a BS 1088 indica que para a fabricação do compensado naval deve-se fazer uso de adesivos com base em dois tipos de resinas: a resina fenólica ou resina do tipo

amino (melamina-formaldeído), desde que haja devidas adições de fenóis para ganho de desempenho.

Há ainda algumas normas que trazem uma riqueza maior de detalhes para classificação do compensado naval. Uma dessas é a norma indiana IS 710 (BIS, 2010) – *Marine Plywood – Specification* -, que indica, por exemplo, as espécies de plantas que podem ser utilizadas para obtenção das lâminas das capas e do miolo do compensado. Para os adesivos, esta norma indica que as resinas base dessas substâncias obedeçam às especificidades impostas por outra norma de referência, a IS 848 (BIS, 2006) - *Specification for synthetic resin adhesives for plywood (phenolic and aminoplastic)*.

Além disso, a IS 710 determina as dimensões dos painéis de compensado naval a serem comercializados. Outro ponto bem interessante da norma são os valores limites de resistência do compensado como módulo de elasticidade na flexão, resistência à flexão, resistência à tração, resistência ao cisalhamento do adesivo, entre outros.

Silva (2016) realizou o estudo de algumas propriedades mecânicas de um compensado naval fabricado em uma composição de cedro, pinus e eucalipto, e é descrito neste estudo que alguns painéis alcançaram valores de módulo de elasticidade na direção longitudinal entre 3000 MPa e 5000 MPa, enquanto que de resistência à flexão os valores oscilaram entre 25 MPa e 50 MPa.

#### 4.2 MADEIRA DE PARICÁ

Como as amostras ensaiadas são de compensado naval com lâminas de madeira da espécie Paricá, é importante ter conhecimento de forma detalhada das características botânicas, aplicações industriais e registros na literatura de estudos de suas propriedades mecânicas.



Figura 5 – Espécime de Paricá



Fonte: Carvalho (2007).

O Paricá, (*Schizolobium amazonicum*) conhecido em algumas regiões como pinho-cuiabano, faveira e canafista, pertence à ordem *Fabales* e é recorrente nos estados do Acre, Amazonas, Mato Grosso, Pará e Rondônia. Trata-se de uma árvore decídua, ou seja, perdem suas folhas em determinada época do ano, cujos maiores espécimes, como o apresentado na Figura 5, chegam, na idade adulta, a atingir 40 m de altura e 100 cm de diâmetro à altura do peito (1,30 m do solo) (CARVALHO, 2007).

Cavalheiro (2014), ao realizar um levantamento dos valores de densidade na literatura, constatou que a madeira desta espécie é classificada como leve a moderadamente densa, com peso específico variando de 0,24 g/cm<sup>3</sup> a 0,40 g/cm<sup>3</sup>. Carvalho (2007) lembra que em relação à durabilidade natural, a madeira do Paricá é suscetível a ataques de ordem biológica. Dessa forma, entende-se a necessidade do uso de imunizante em produtos de madeira industrializada fabricados a partir do Paricá.

Além da aplicação na indústria madeireira, o Paricá pode ser empregado nos setores agrários (para consorciação de culturas), de celulose e papel e de reflorestamento.

Quanto às propriedades mecânicas dos produtos de madeira industrializada dessa espécie, Almeida *et al.* (2013) descrevem em estudo realizado com peças de madeira maciça de Paricá (serrada), um procedimento para obtenção de determinados valores como a



resistência à compressão e à tração, módulo de elasticidade na flexão e resistência à flexão. Quanto a esses dois últimos valores, foram encontrados, respectivamente, 8900 MPa e 50 MPa. A partir disso e dos valores de referência da NBR 7190 (ABNT, 1996), classificou-se a madeira de Paricá como pertencente à classe C20.

Esse mesmo autor apresentou outro estudo quanto ao emprego do Paricá em vigas de madeira laminada colada. Ao realizar ensaios de flexão com carga em três pontos obteve-se como módulo de elasticidade e resistência a flexão os valores de 8809 MPa e 41 MPa, respectivamente. Concluiu-se que para MLC, “a madeira proveniente do Paricá possui grande potencial, pois, por ser uma madeira de baixa densidade, proporciona vigas de baixa relação resistência - peso específico” (ALMEIDA *et al.*, 2011, p. 81).

#### 4.3 EN 310

A EN 310 (CEN, 1993) - *Wood-based panels — Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength* - foi produzida sob supervisão da Diretoria Técnica de Construção e Engenharia Civil do Comitê Europeu de Normalização (CEN) e possui o *status* de norma nacional através de organizações em 18 países do continente europeu.

Esta norma detalha o método para a determinação do módulo de elasticidade aparente na flexão e resistência à flexão de painéis de madeira de espessura nominal maior ou igual a 3 mm.

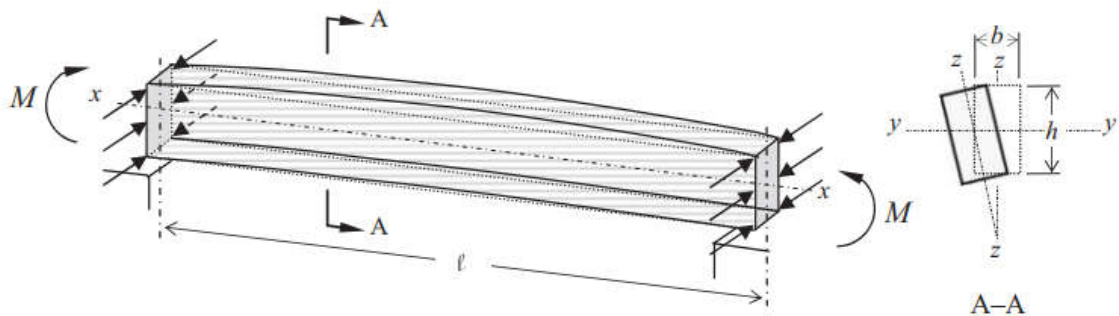
O método proposto pela norma extrai o módulo de elasticidade na flexão e resistência à flexão por meio da aplicação de uma determinada carga no centro de uma amostra retangular, retirada de um painel de compensado de madeira, apoiada em dois pontos. A partir da inclinação da região linear da curva tensão-deformação, se obtém o módulo de elasticidade. Já a resistência à flexão de cada amostra é determinada a partir da relação do momento (para a carga máxima de ruptura do corpo de prova) com o módulo de resistência. Essas relações trazidas pela norma serão elucidadas nas equações do item 5.

Há ainda uma série de normas que também propõem ensaios para a determinação do módulo de elasticidade na flexão e da resistência à flexão como a ISO 16978 (ISO, 2003), a ASTM D3043 – 00 (ASTM, 2000), e o item B14 da NBR 7190. Além destas, outra norma europeia define métodos para a obtenção desses valores de resistência, a EN 789 (CEN, 2004b) - *Timber structures – Test methods – Determination of mechanical properties of wood-based panels*.

#### 4.4 FLAMBAGEM LATERAL COM TORÇÃO

A flambagem lateral com torção é um modo de falha que ocorre em barras perfeitamente retas ou não, como indica a Figura 6, submetidas à flexão no eixo y-y, e que ao chegar a uma determinada carga crítica a estrutura subitamente se instabiliza, deslocando para os lados e, conseqüentemente, ocorre a torção em torno do eixo x-x (PORTEOUS; KERMAMI, 2007). Esse fenômeno está diretamente relacionado com a esbeltez da peça e deve ser verificado inclusive para elementos de madeira industrializada. A depender da esbeltez, o colapso da estrutura pode ocorrer antes que se ultrapasse a resistência à flexão.

Figura 6 - Flambagem lateral com torção de uma viga submetida a momentos finais  $M$  aplicados sobre o maior eixo



Fonte: PORTEOUS; KERMAMI, p. 107.

Objetivando a verificação deste modo de ruptura, o Eurocode 5 (CEN, 2004) indica a utilização da Equação 1 para a obtenção da tensão crítica para flambagem lateral com torção,  $\sigma_{m,i,cr}$ . Esse fator é denominado esbeltez relativa para flexão,  $\lambda_{rel,m}$ , e o Eurocode 5 estabelece a Equação 2 para o seu cálculo.

$$\sigma_{m,i,cr} = \frac{\pi \cdot w^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot \sqrt{E_{i,0.05} \cdot G_{i,0.05} \cdot \left(1 - 0,63 \frac{w}{h}\right)} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,i,k}}{\sigma_{m,i,cr}}} \quad (\text{Equação 2})$$

em que,

$E_{i,0.05}$  é valor quinto percentil do módulo de elasticidade;

$G_{i,0.05}$  é valor quinto percentil do módulo de elasticidade transversal;

$l_{ef}$  é o comprimento efetivo, o qual para barras simplesmente apoiadas com carga concentrada no meio do vão é igual  $.0,8 \cdot l$ ;

$f_{m,i,k}$  é definido em 6.4;

$h$  é a dimensão da altura; e

$w$  é a dimensão do elemento paralela ao eixo  $y$ .

Todavia, atenta-se a necessidade de obtenção do valor médio do módulo transversal de elasticidade transversal,  $G_{i,mean}$ . Também são necessários os valores quinto percentil do módulo de elasticidade ( $E_{i,0.05}$ ) e do módulo de elasticidade transversal ( $G_{i,0.05}$ ). Para tal pode-se recorrer a algumas relações apresentadas pela EN 338 (CEN, 2009) que possuem como parâmetro valor médio do módulo transversal de elasticidade,  $E_{m,i,mean}$ , conforme demonstram as equações (3), (4) e (5).

$$G_{i,mean} = E_{m,i,mean} / 16 \quad (\text{Equação 3})$$

$$E_{i,0.05} = 0,67 \cdot E_{m,i,mean}, \quad \text{para madeiras de lenho mole} \quad (\text{Equação 4})$$

$$G_{i,0.05} = 0,67 \cdot G_{m,i,mean}, \quad \text{para madeiras de lenho mole} \quad (\text{Equação 5})$$

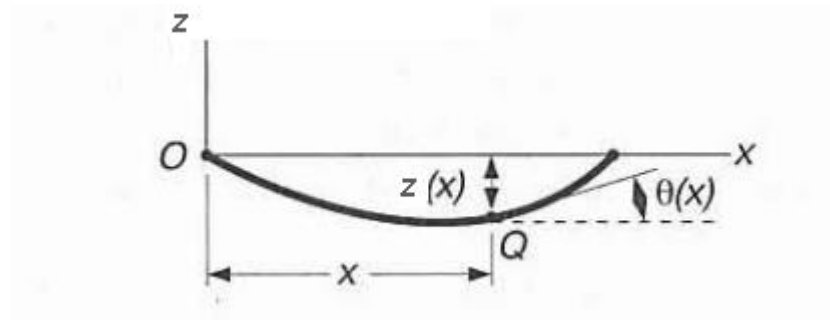
#### 4.5 CURVA ELÁSTICA

Beer e Johnston (1996) apresentam a Equação 6 para obtenção da declividade e a deflexão em um determinado ponto, a qual relaciona o raio de curvatura de um elemento sujeito à flexão com as variáveis  $x$  e  $z$  indicadas na Figura 7. Nesta equação o produto das variáveis  $E$ , módulo de elasticidade, e  $I$ , momento de inércia, representa a rigidez à flexão.

$$\frac{d^2z}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI} \quad (\text{Equação 6})$$

Como o momento fletor,  $M(x)$ , pode ser representado como uma função da variável  $x$ , tanto a declividade  $\theta = dz/dx$ , como a deflexão  $z$  também podem ser obtidas em qualquer ponto da barra, por meio do emprego das condições de contorno necessárias e de integrações sucessivas.

Figura 7 - Linha elástica a partir de um carregamento  $Q$



Fonte: Adaptado de Beer e Johnston (1996)

Isto posto, para o caso de barras biapoiadas com carga concentrada,  $F_n$ , no meio do vão, como é o caso das formas de carregamento previstas nos códigos apresentados no item (4.3), tem-se que a equação final que representa o campo de deflexões é dada pela Equação 7:

$$z(x) = \frac{-F_n}{48 \cdot E \cdot I} \cdot (4x^2 - 3l_1^2 \cdot x) \quad (\text{Equação 7})$$

Desenvolvendo o momento de inércia da Equação 7, obteve-se a forma final da equação da deflexão.

$$u_n(x) = \frac{-F_n}{4 \cdot E_{m,i,mean} \cdot w \cdot h^3} \cdot (4x^2 - 3l_1^2 \cdot x) \quad (\text{Equação 8})$$

em que,

$x$  é a distância em relação ao apoio;

$u_n(x)$  é a deflexão teórica correspondente à distância  $x$  para um determinado  $F_n$ .

É preciso fazer menção ao fato de que outros esforços podem vir a influenciar no campo de deflexões de uma barra. No que se referem às deflexões em peças de madeira industrializada, Porteous e Kermami (2007) apresentam um fator de correção ( $\alpha_{shear}$ ) a ser aplicado no equacionamento da linha elástica a fim de prever os efeitos de cisalhamento.

$$\alpha_{shear} = 1 + 1,20 \cdot \left( \frac{E_{m,i,mean}}{G_{i,mean}} \right) \cdot \left( \frac{h}{l_1} \right)^2 \quad (\text{Equação 9})$$

$$u_n'(x) = \alpha_{shear} \cdot u_n(x) \quad (\text{Equação 10})$$

em que,

$u_n'(x)$  é a deflexão teórica corrigida correspondente à distância  $x$  para um determinado  $F_n$ .

#### 4.6 ERRO RELATIVO PERCENTUAL

Primeiramente, apresenta-se o conceito de erro absoluto. Ruggiero e Lopes (1996) explicam que erro absoluto é a diferença entre o valor exato de uma grandeza  $y$  e o seu valor aproximado. Para o contexto desse trabalho, esse valor aproximado tem origem nas equações recomendadas pela literatura, ou seja, trata-se do valor teórico, que será denominado aqui por  $y_{teórico}$ .

O erro relativo percentual, por sua vez, consiste na razão do erro absoluto pelo valor exato, como demonstra a Equação 11. Dessa forma, é possível mensurar numericamente a aproximação de um dado obtido experimentalmente com um outro valor teórico para a mesma grandeza.

$$e = \frac{|y - y_{teórico}|}{y} \cdot 100 \quad (\text{Equação 11})$$

Dessa maneira, é possível obter os erros relativos percentuais dos valores de deflexão sem a aplicação de  $\alpha_{shear}$ , ou ainda com o emprego deste mesmo fator para cada carga aplicada ao elemento ensaiado, fazendo uso das equações 12 e 13, respectivamente,

$$e_n = \frac{|u_n - d_n|}{d_n} \cdot 100, \quad \bar{e} = e_n/n \quad (\text{Equação 12})$$

$$e'_n = \frac{|u'_n - d_n|}{d_n} \cdot 100, \quad \bar{e}' = e'_n/n \quad (\text{Equação 13})$$

em que,

$n$  é o número de pontos representados pelas cargas e deflexões correspondentes;

$d_n$  é o deslocamento real obtido em ensaio.

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

Nos tópicos seguintes serão descritos os materiais e a forma como se deram os ensaios. Como já explicado, os testes realizados objetivaram a caracterização de algumas propriedades mecânicas do material, como também a análise da influência das variantes de ensaio para a obtenção de resultados, e ainda, compreender se essas mesmas variantes devem ser ou não consideradas para o dimensionamento de elementos aplicados em um projeto.

### 5.1 MATERIAL ENSAIADO

Os corpos de prova submetidos aos ensaios foram retirados de um painel de compensado naval com dimensões nominais de 2200 x 1600 x 20 mm (23 mm para a espessura real). Desse mesmo painel de compensado foram retiradas as folhas que formavam uma viga em escala real para prototipagem da casa nordeste. Esta viga também foi submetida a um ensaio de carga em três pontos. Tal experimento será descrito no item 5.3 deste trabalho.

Segundo dados do fornecedor, as lâminas do compensado foram retiradas de árvores da espécie Paricá, passaram por processo de torneamento, foram sobrepostas em sentido alternado com nove camadas, sendo prensadas termicamente com aplicação de adesivo ureia-formol sobrepostas em sentido alternado, com adição de imunizante<sup>1</sup> ou preservativo.

### 5.2 ENSAIO PARA A OBTENÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE E DA RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Com o intuito de determinar o módulo de elasticidade na flexão e a resistência à flexão, o material estudado foi submetido a testes de flexão em três pontos como se segue na EN 310, sendo realizado no Laboratório de Ensaios Mecânicos do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba. Os equipamentos utilizados e a metodologia de ensaio estão descritos nos itens seguintes.

---

<sup>1</sup>Imunizantes são substâncias utilizadas para evitar e prevenir insetos e outras pragas nocivas.

### 5.2.1 Equipamentos

Os testes referenciados pela EN 310 foram realizados através da máquina de ensaio *Servopulser – Tipo E*, da marca *Shimadzu* com capacidade de carga de 300 kN, e os dados foram colhidos a partir do controlador *ServoController 4830*, também da marca *Shimadzu*. Adaptações no aparato de ensaio foram feitas a fim de atender as recomendações da EN 310.

#### 5.2.1.1 Máquina de ensaio *Servopulser E*

Trata-se de uma máquina de ensaio dinâmico, classe 200 kN, e pode ser visualizada na Figura 8. O método de carregamento do maquinário é através de um sistema servo-hidráulico com *closed-loop*. Dessa forma, tal aparelho trabalha em conjunto com um conjunto motor-bomba e um transformador elétrico para alimentação.

As variáveis de controle do dispositivo são a carga, o deslocamento e a deformação. Para a carga, a acurácia é de  $\pm 0,5\%$  do fundo de escala. Já para o deslocamento, o valor da acurácia é de  $\pm 1,0\%$  do fundo de escala.

A célula de carga é do tipo plana com capacidade de  $\pm 200$  kN, mesma capacidade do atuador. Este último permite um deslocamento de  $\pm 25$  mm, cujo detector de deslocamento é do tipo diferencial.

Figura 8 - *Servopulser E* classe 200 kN

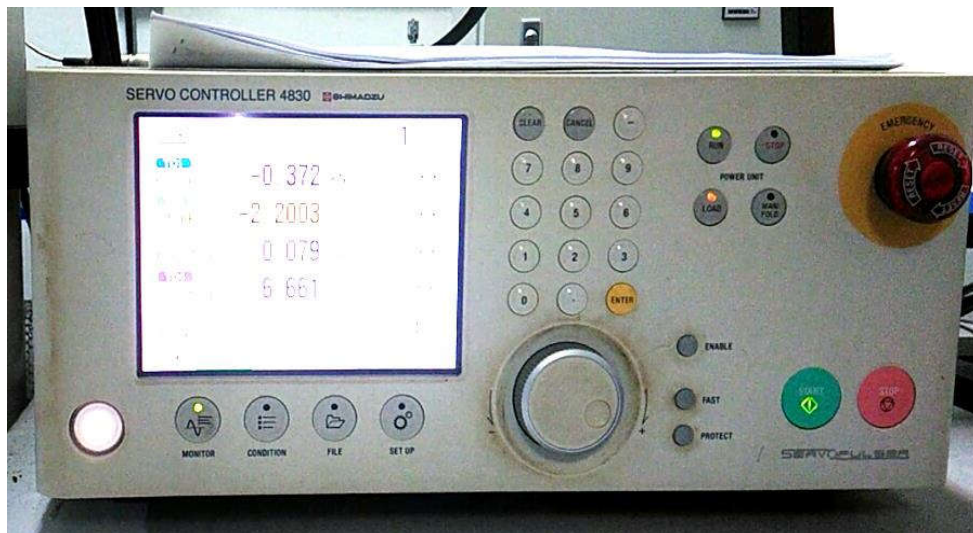


### 5.2.1.2 Servo Controller 4830

O *Servo Controller 4830* é integrado ao *Servopulser E* para o controle operacional do sistema servo-hidráulico. Foi a partir deste equipamento apresentado na Figura 9 que puderam ser transferidos os dados para o computador responsável pelo monitoramento do ensaio.

Também se fez uso do *software* do controlador 4830, uma vez que este permite o ajuste para as condições de ensaio do PC e o *display* e armazena os dados adquiridos pelo controlador.

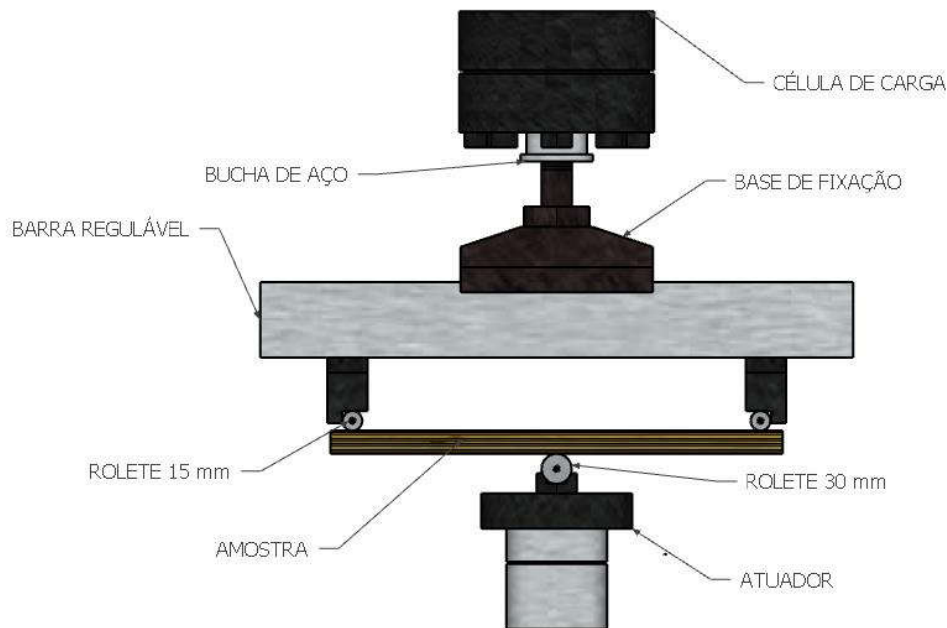
Figura 9 - *Servo Controller 4830*



### 5.2.1.3 Aparato para a fixação das amostras (*Setup*)

O aparato de fixação das amostras foi projetado a fim de receber as amostras extraídas nas dimensões propostas pela EN 310. Dessa maneira, foi concebido o *setup* constituído por três partes: o conjunto de roletes, o conjunto da base de fixação do *setup* a célula de carga e o conjunto da barra retangular regulável, como estão indicados na Figura 10.



Figura 10 – Esquema do *setup*

Utilizou-se o conjunto da base de fixação do *setup* à célula de carga de uma máquina de ensaio *Servopulser E – 50 kN* como pode se observar na Figura 11. Para solucionar o problema da incompatibilidade dos diâmetros, confeccionou-se uma bucha de aço 1045 com diâmetro da rosca interna de 1 ½” e rosca externa de 2 ¼”. Assim foi garantida a instalação do conjunto de fixação com a célula de carga, mesmo que esses elementos fossem de máquinas diferentes.

Figura 11 – Base de fixação (esquerda) e bucha de aço (direita)



Já o conjunto da barra reguladora foi concebido a fim de atender amostras de diferentes tamanhos. Consiste em uma barra retangular de aço 1045 com as dimensões 59,0 mm x 6,5 mm x 7,5 mm, na qual foram realizados 22 pares de furos distribuídos simetricamente (espaçamento de 20 mm) para a fixação dos apoios dos roletes das

extremidades do ensaio de flexão em três pontos e pode ser visualizada na Figura 12. Outros seis furos passantes foram feitos no trecho central da barra para a fixação do conjunto da base. Os outros dois furos centrais têm a função de indicar a mediatriz da barra. Salienta-se que a utilização de uma categoria de aço tão resistente, como é a classe 1045, se deu a fim de evitar deformações que comprometessem a precisão dos dados colhidos nos ensaios.

Figura 12 – Barra reguladora (esquerda) e fixador dos roletes (direita)



Quanto ao último conjunto, a norma exige dois pares de roletes cilíndricos de 15 mm fixados nas extremidades da barra regulável através de peças especiais. Evidentemente, a distância que esses roletes estarão posicionados em relação ao par de furos da mediatriz dependerá dos comprimentos dos corpos de prova. Outro rolete de diâmetro 30 mm é empregado junto ao atuador. É exatamente em pontos tangentes a esses roletes que o sistema de carregamento atua sobre as superfícies das amostras.

### 5.2.2 Metodologia de ensaio

A metodologia de ensaio divide-se em duas grandes etapas: a extração dos corpos de prova do painel estudado a partir das orientações da EN 310 e os procedimentos para aplicação de carga nas amostras por meio dos equipamentos já mencionados.

#### 5.2.2.1 Amostragem

A norma EN 310 recomenda que os cortes das amostras sejam realizados com o que descreve a EN 326-1 (CEN, 1994) - *Wood-based panels — Sampling, cutting and inspection — Part 1: Sampling and cutting of test pieces and expression of test results*. Em vista disso,

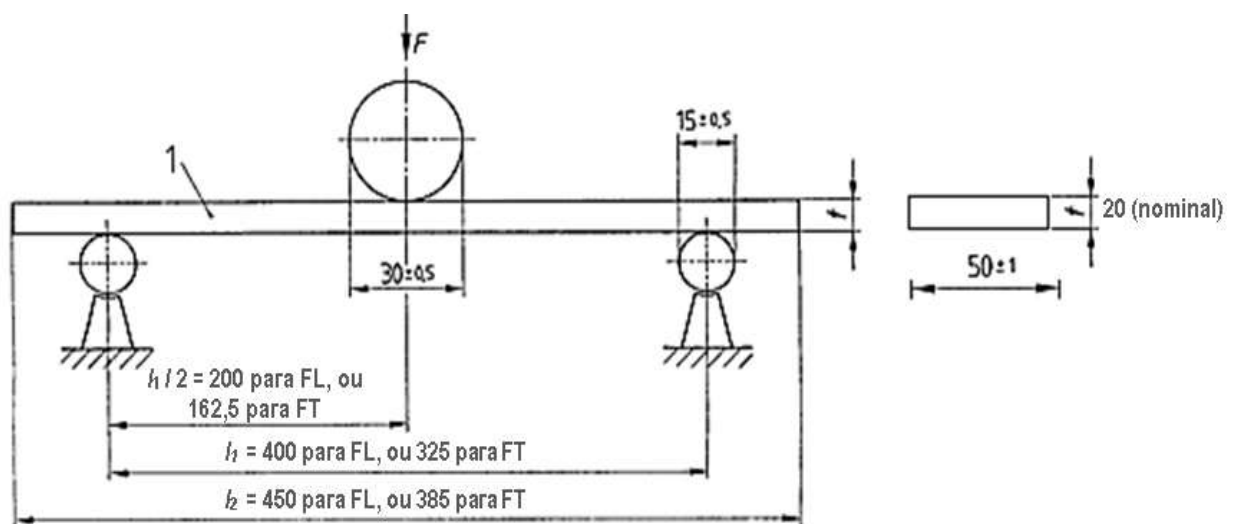
procurou-se extrair amostras evitando as principais imperfeições dispostas na superfície do painel, tais como nós e fendas.

Foram extraídos dois grupos: o primeiro grupo com 12 amostras cujas fibras das capas estavam orientadas na direção longitudinal à maior dimensão do painel e o segundo grupo com outras 12 amostras com as fibras da capa orientadas na direção transversal à maior dimensão do painel.

Quanto às dimensões das amostras, a EN 310 indica que os corpos de prova possuam forma retangular, com dimensão de largura  $b$  de 50 mm, comprimento  $l_2$  tenha 20 vezes a espessura nominal (não a real) com mais 50 mm de margens nas extremidades. Dessa maneira, prioritariamente, foram extraídas amostras com comprimento  $l_1$  igual a 450 mm. Essas dimensões estão apresentadas na Figura 13.

Ainda quanto ao comprimento dos corpos de prova, a norma esclarece que caso ocorram grandes deflexões e mesmo assim não aconteça a ruptura, permite-se que haja redução dessa medida. Conseqüentemente, pelo fato da deflexão no meio do vão entre os roletes ser inversamente proporcional ao módulo de elasticidade, e que este último tende a reduzir quando existe ortogonalidade da direção das fibras em relação ao eixo longitudinal das amostras, considerou-se prudente a diminuição da dimensão  $l_1$  para 325 mm para o segundo grupo de amostras. O reflexo dessas modificações nos resultados será discutido nos itens 6 e 7.1.

Figura 13 – Dimensões das amostras em milímetros (FL – Fibra longitudinal e FT – Fibra Transversal)

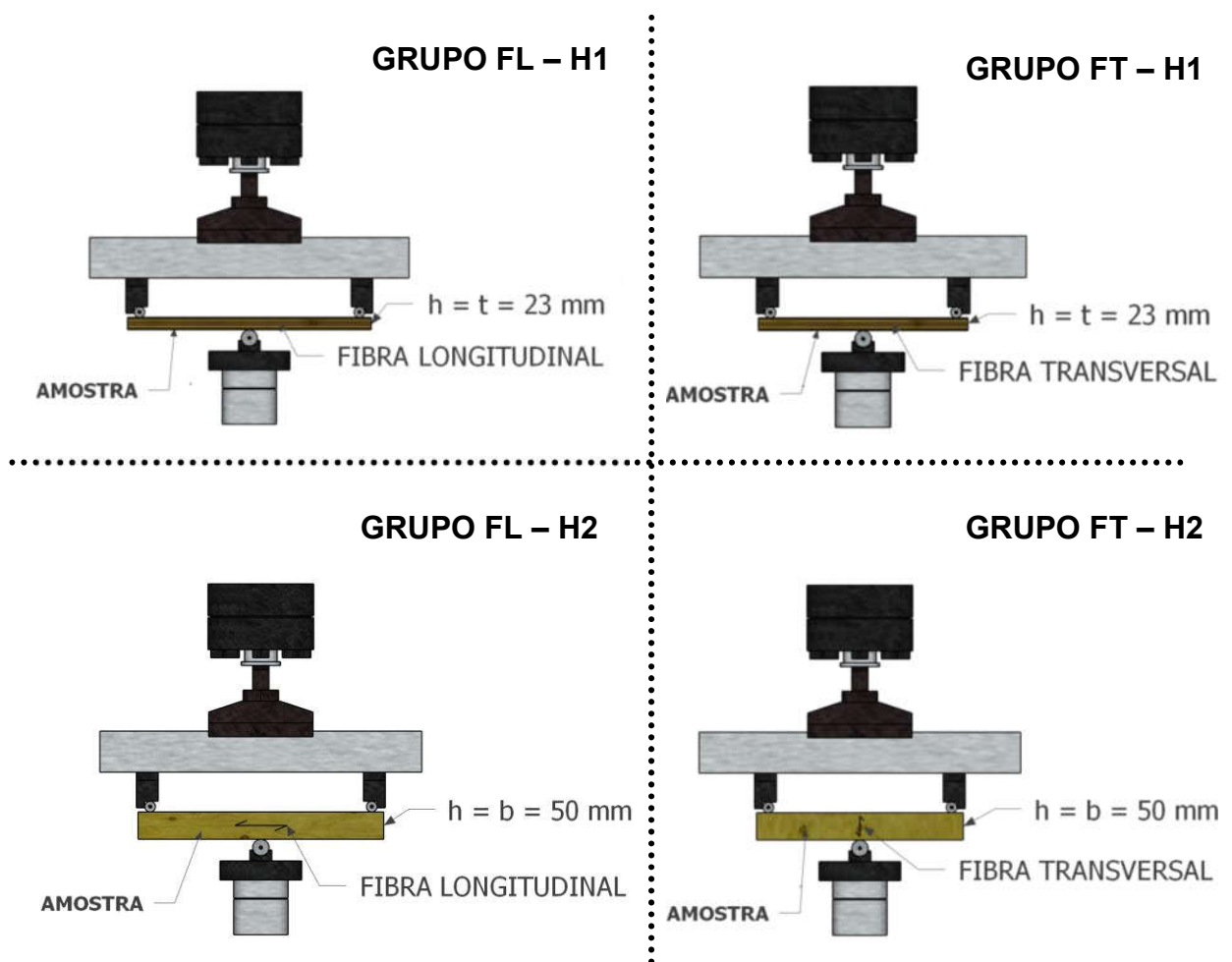


Fonte: Adaptado de CEN, 1993.

### 5.2.2.2 Procedimentos

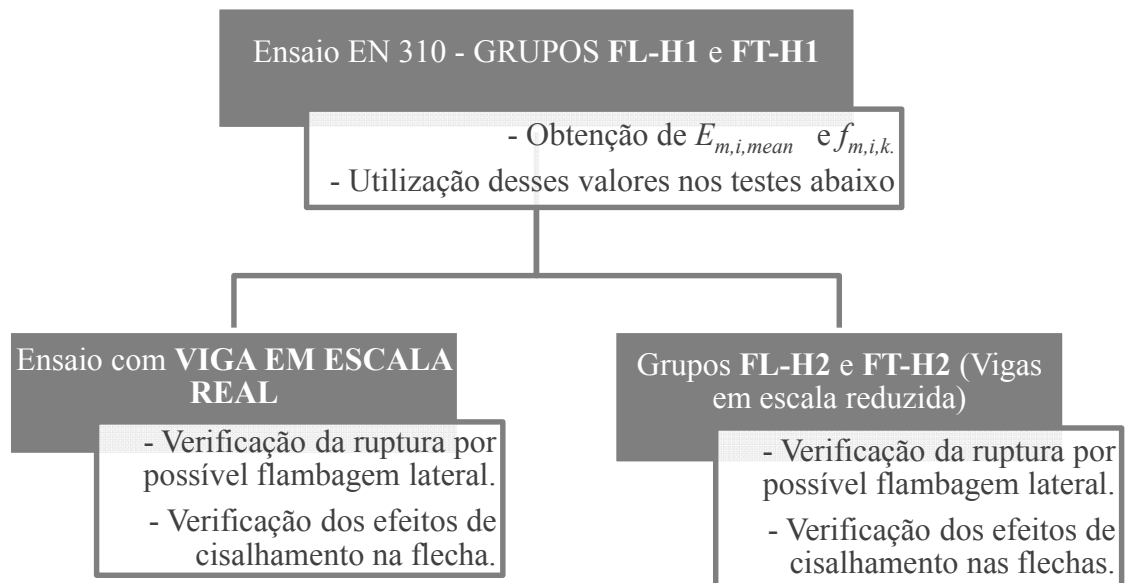
Primeiramente, se estabeleceu que cada grupo fosse subdividido em dois subgrupos: um subgrupo cuja altura foi a dimensão que representava a espessura do painel, e outro cujos elementos tinham a altura de 50 mm. O esquema apresentado na Figura 14 esclarece como ficou esse agrupamento.

Figura 14 – Grupos dos corpos de prova



Nos itens 6.5.1 e 6.5.2, serão discutidos os efeitos de flambagem lateral com torção e os efeitos dos esforços de cisalhamento para os grupos FL - H2 e FT - H2, como está indicado no fluxograma da Figura 15.

Figura 15 – Fluxograma das análises dos grupos de ensaio



As amostras de cada subgrupo foram ensaiadas individualmente, com intervalo menor que 24 horas, além de se ter o ambiente de ensaio com temperatura e umidade controladas. Os corpos de prova foram postos perpendicularmente aos eixos do par de roletes, além de terem sido posicionados de maneira centrada em relação ao par de furos da mediatriz.

Para cada grupo foi aplicada uma taxa de deslocamento constante através do conjunto *Servopulser-Controlador* respeitando a indicação da norma de que cada amostra alcançasse a ruptura em  $60 \pm 30$  s. Obviamente, foi necessário realizar a ruptura de alguns corpos de prova como testes a fim de aperfeiçoar o valor da taxa de aplicação para cada subgrupo. A Tabela 1 traz os valores das taxas de aplicação empregadas para cada grupo.

Tabela 1 – Velocidade de carga para cada grupo de ensaio

GRUPO	Velocidade de carga (mm/min)
FL – H1	20,0
FL – H2	5,3
FT – H1	18,0
FT – H2	6,0

Os dados referentes à deflexão e às cargas foram memorizados e processados pelo *Servocontroller 4830*.

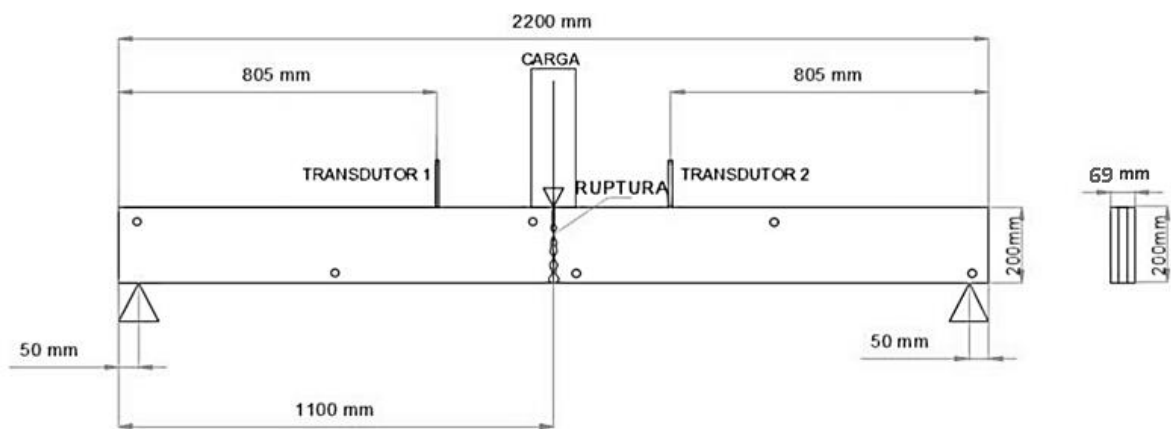
### 5.3 ENSAIO COM VIGA EM ESCALA REAL

A viga ensaiada, representada no esquema da Figura 16, tinha as seguintes dimensões: 6 cm de largura, 20 cm de altura e 220 cm de comprimento. Era composta por três folhas de compensado naval unidas entre si através de barras roscadas. A folha interna foi seccionada simetricamente em duas partes, buscando simular a maneira como estava prevista a ser empregada em projeto. Sabendo disso, a fim de manter a integridade entre as peças, buscou-se uma disposição otimizada das barras roscadas ao longo da viga.

Tal experimento permitiu a verificação dos resultados obtidos nos ensaios para caracterização das propriedades mecânicas do compensado naval, validação das hipóteses de cálculo e, ainda, adiantou os principais aspectos a serem considerados no dimensionamento das peças estruturais.

Nos próximos tópicos serão descritos os principais equipamentos e procedimentos implementados neste ensaio.

Figura 16 – Esquema da viga em escala real ensaiada



Fonte: Acervo do Projeto Casa Nordeste – DAU – UFPB.

#### 5.3.1 Equipamentos

Para o experimento com a viga em escala real, fez-se uso do aparato para ensaios destrutivos instalado no Laboratório de Ensaios de Materiais e Estruturas (LABEME) do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba. Além de um atuador hidráulico empregado em conjunto com uma célula de carga, a viga foi instrumentalizada com dois transdutores de deslocamento instalados simetricamente na face inferior da estrutura (a 755

mm do apoio). Compreende-se que, pela complexidade do conjunto atuador-célula de carga, apenas este demanda uma descrição mais detalhada para a compreensão das nuances do ensaio.

### 5.3.1.1 Conjunto atuador-célula de carga

A célula de carga utilizada no ensaio possui capacidade máxima de 100 tf e está instalada junto a um atuador hidráulico com capacidade de carga de 70 tf fixado a um pórtico de perfil metálico. Dessa maneira, o sistema fica limitado a cargas não maiores que 70 tf.

### 5.3.2 Metodologia de ensaio

A viga foi submetida a uma carga pontual no meio de seu vão. A aplicação da carga foi controlada por meio do painel analógico de comandos do atuador junto a um computador que recebia os dados da célula de carga e dos transdutores, como pode ser visto na Figura 17.

Tanto nos apoios como na superfície de contato do atuador foi posta uma camada de gesso em pó visando a distribuição das tensões nesses trechos.

Os dados foram colhidos a partir de um *software* que sincronizava os valores de saída da célula de carga com os valores dos transdutores.

Figura 17 – Viga após ruptura



Fonte: Acervo pessoal do autor

## 6 RESULTADOS

Destaca-se que para a determinação dos valores finais do módulo de elasticidade e da resistência à flexão nas direções longitudinal e transversal foram considerados apenas os grupos FL – H1 e FT – H1, uma vez que estes seguem as condições de carregamento indicadas pela EN 310. Os elementos desses grupos serão denominados de corpos de prova neste desse trabalho a fim de se ter uma padronização de terminologia.

Os resultados dos outros grupos FL – H2 e FT – H2 terão por finalidade as mesmas verificações realizadas para a viga em escala real apresentadas no item 5.3. Os elementos desse grupo serão denominados de vigas em escala reduzida.

Como resultado dos ensaios para determinação do módulo de elasticidade e da resistência à flexão tem-se, além desses valores, as curvas tensão-deformação e carga-deflexão tanto das amostras como dos corpos de prova. A concepção desta última também foi possível para o experimento com a viga em escala real. Evidentemente, também se obtiveram as cargas máximas de rupturas dos corpos de prova e da viga.

### 6.1 CURVAS CARGA-DEFLEXÃO

Para a concepção das curvas carga-deflexão, foi computado um número tal de pontos de leitura que fosse maior ou igual a seis. Observou-se que em todos os elementos foram perceptíveis trechos lineares, endossando a presença do regime elástico.

As curvas carga-deflexão de cada corpo de prova encontram-se nas fichas de dados do apêndice (item 9).

### 6.2 CURVAS TENSÃO-DEFORMAÇÃO

Com os valores das flechas e das cargas é possível a determinação das tensões a partir da Equação 14. Em contrapartida, os valores das deformações de cada ponto podem ser determinados em função da Equação 15.

$$\sigma_n = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_n \cdot l_1}{w \cdot h^2} \quad (\text{Equação 14})$$



$$\epsilon_n = 6 \cdot \frac{h \cdot d_n}{l_1^2} \quad (\text{Equação 15})$$

em que,

$l_1$  é a distância entre os eixos longitudinais dos roletes das extremidades. Será indicado apenas por  $l$  para o experimento com a viga [mm];

$\sigma_n$  é a tensão na metade de  $l_1$  para um determinado ponto da curva tensão-deformação [MPa];

$F_n$  é o valor da carga correspondente a um determinado ponto da curva tensão-deformação [N];

$\epsilon_n$  é o valor da deformação correspondente a  $\sigma_n$ ;

$d_n$  é o valor da deflexão na metade de  $l_1$  correspondente a  $F_n$  [mm];

$w$  é adimensão da amostra paralela ao eixo longitudinal dos roletes das extremidades [mm];

$h$  é a dimensão da altura da amostra [mm].

Observa-se que as curvas tensão-deformação e carga-deslocamento de todos os elementos (vigas e corpos de prova) possuem o mesmo comportamento. Isto se deve ao fato de a relação numérica entre  $\sigma_n$  e  $\epsilon_n$ , e a relação entre  $F_n$  e  $d_n$  serem a mesma para quaisquer pontos, diferindo apenas na multiplicação de constantes relativas aos grupos de ensaio.

As curvas tensão-deformação de todos elementos encontram-se nas fichas de dados do apêndice (item 9).

### 6.3 MÓDULO DE ELASTICIDADE NA FLEXÃO

O módulo de elasticidade na flexão,  $E_{m,i}$  (em N/mm<sup>2</sup> ou MPa), de cada corpo de prova é determinado pela Equação 16 apresentada pela EN 310. A letra  $i$  indica a direção das fibras: quando as fibras forem predominantemente orientadas de maneira ortogonal ao eixo longitudinal é indicado o número 90; já para quando houver paralelismo das fibras com o eixo longitudinal, o número 0 é indicado.

$$E_{m,i} = \frac{1}{4} \cdot \frac{l_1^3 \cdot (F_{40\%} - F_{10\%})}{w \cdot h^3 \cdot (d_{40\%} - d_{10\%})} \quad (\text{Equação 16})$$

em que,

$F_{40\%} - F_{10\%}$  é o intervalo de carga no trecho linear elástico da curva carga-deflexão.  $F_{10\%}$  deve ser aproximadamente 10% e  $F_{40\%}$  deve ser aproximadamente 40% da carga máxima de ruptura [N];

$d_{40\%} - d_{10\%}$  é o intervalo da deflexão no meio de  $l_1$ , correspondente a  $F_{40\%} - F_{10\%}$  [mm];

$h$ ,  $w$  e  $l_1$  são definidos em 6.2.

A fim de se trabalhar apenas com valores do regime elástico, os pares de pontos aplicados para a determinação do módulo de elasticidade na flexão são correspondentes a aproximadamente 10% e 40% da carga máxima de ruptura. Para obtenção desses valores foi realizado a interpolação a partir dos pontos vizinhos.

Finalmente, o módulo de elasticidade na flexão de cada grupo de teste foi obtido pela média dos valores para os corpos de prova que resultaram em valores menos discrepantes, ou seja, dentro da amostra<sup>2</sup> de valores, escolheram-se aqueles que apresentaram desvios padrão satisfatórios. Os valores médios do módulo de elasticidade ( $E_{m,i,mean}$ ) encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores médios do módulo de elasticidade

GRUPO	$E_{m,i,mean}$ (N/mm <sup>2</sup> )	DESV. P (N/mm <sup>2</sup> )
FL - H1 ( $i = 0$ )	3359,983	326,907
FT - H1 ( $i = 90$ )	2061,594	263,285

#### 6.4 RESISTÊNCIA À FLEXÃO

A resistência à flexão,  $f_{m,i}$  (em N/mm<sup>2</sup> ou MPa), de cada corpo de prova foi calculado conforme a Equação 17.

$$f_{m,i} = \frac{3}{2} \cdot \frac{F_{máx} \cdot l_1}{w \cdot h^2} \quad (17)$$

em que,

$F_{máx}$  é a carga máxima de ruptura do corpo de prova [N];

$h$ ,  $w$  e  $l_1$  são definidos em 6.2.

<sup>2</sup>Aqui a palavra amostra tem sentido relacionado à estatística: conjunto de dados de uma população estatística

Para a obtenção do valor médio da resistência à flexão para cada grupo, semelhante ao que foi feito para o módulo de elasticidade na flexão, ignorou-se os valores daquelas amostras que possivelmente causariam acentuados desvios padrão. Os valores médios de cada grupo ( $f_{m,i,mean}$ ) encontram-se na Tabela 3. O valor característico da resistência à flexão ( $f_{m,i,k}$ ) foi obtido a partir da distribuição estatística de forma a ser menor que 95% dos valores representativos da amostra.

Tabela 3 – Valores médios e característicos das resistências à flexão

GRUPO	$f_{m,i,mean}$ (N/mm <sup>2</sup> )	DESV. P (N/mm <sup>2</sup> )	$f_{m,i,k}$ (N/mm <sup>2</sup> )
FL - H1 ( $i = 0$ )	29,332	2,907	25,815
FT - H1 ( $i = 90$ )	25,661	2,570	22,255

## 6.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A disposição das amostras no *setup* indicada pela EN 310 para a obtenção do módulo de elasticidade na flexão e a resistência à flexão é aquela posta nos grupos FL – H1 e FT – H1. Os corpos de prova dos outros subgrupos e a viga foram experimentados com o objetivo de compreender a influência de determinadas variáveis em elementos sob flexão. Algumas dessas condicionantes podem ser elencadas: anisotropia do material, esbeltez e efeitos de cisalhamento.

Ainda, quanto aos valores de  $E_{m,i,mean}$  e  $f_{m,i,mean}$ , observa-se que os resultados estão em conformidade com valores obtidos no estudo de Silva (2016). Deixa-se claro que a melhor maneira de validar os dados com experiências correlatas na literatura seria o comparativo com trabalhos realizados com compensado naval da espécie Paricá, entretanto não foram encontrados estudos de caracterização mecânica para este tipo de compensado naval.

Em outro aspecto, observa-se que a não consideração do comportamento elástico dos corpos de prova menos representativos das amostras, demonstrou ser um procedimento de grande eficiência. Isto se reflete nas retas médias dos gráficos das figuras 18 e 19 cujas inclinações caracterizam os módulos de elasticidade, as quais tiveram considerável correspondência com os trechos de comportamento linear das curvas tensão-deformação de cada corpo de prova.

Figura 18 – Curvas tensão-deformação do grupo FL - H1

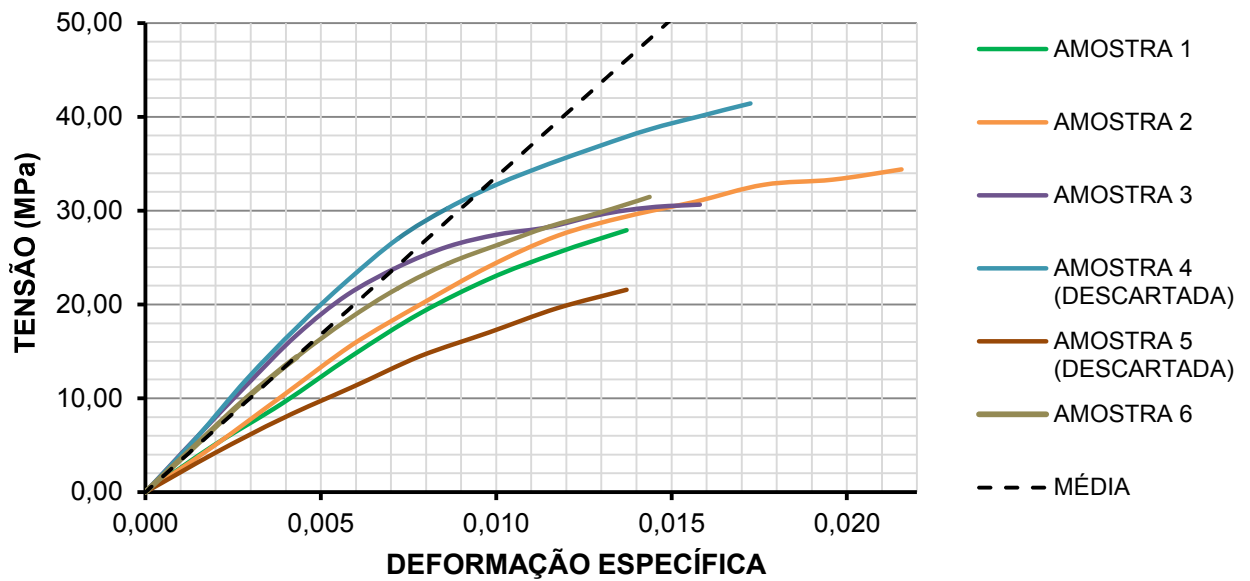
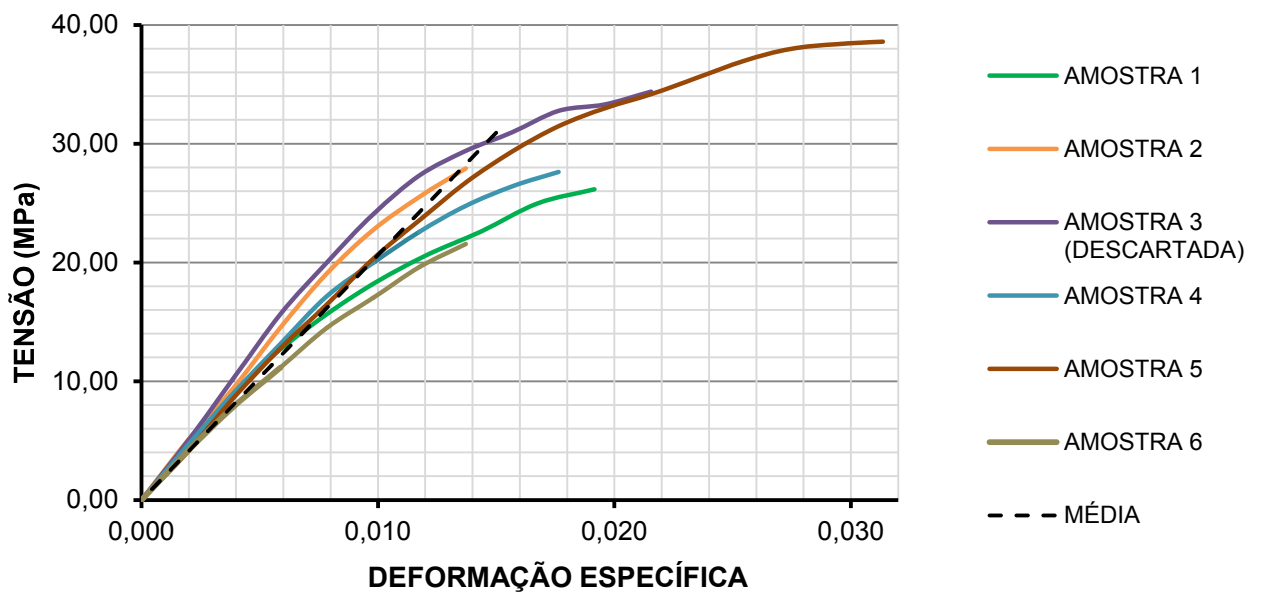


Figura 19 - Curvas tensão-deformação do grupo FT - H1



Quanto à redução do comprimento das amostras de fibras transversais, verifica-se que se forem tomados por parâmetros as próprias flechas máximas das amostras do grupo FT – H1, alguns valores se aproximaram dos 24 mm, demonstrando que se evitou a possibilidade de deslocamentos maiores que o limite do atuador, que como já se mencionou é de 25 mm.

Contudo, chamou atenção o fato do módulo de elasticidade e da resistência à flexão, quando comparados com outras aplicações industriais de madeira de Paricá, dos estudos de Almeida *et al.* (2011) para madeira laminada colada e de Almeida *et al.* (2013) para madeira maciça serem discrepantes dos valores obtidos para o compensado naval de Paricá estudado.

Baseado nas análises de Melo *et al.* (2009), que discorre a respeito do desempenho relativamente inferior dos painéis com adesivo de ureia-formol referente as suas propriedades físicas, presume-se que a qualidade do adesivo possa ter influenciado na resistência mecânica do material analisado.

### 6.5.1 Efeitos de flambagem lateral com torção

Com as equações 1 e 2 foram determinados os valores de  $\sigma_{m,i,cr}$  e  $\lambda_{rel,m}$  das vigas em escala reduzida e da viga em escala real. Certamente, é intuitivo que os corpos de prova dos grupos FL – H1 e FT – H1 não apresentam esbelteza, ou ainda, implicações de efeitos de flambagem lateral.

Comparando os valores encontrados com as tensões de ruptura determinadas nos experimentos,  $\sigma_{i,rup}$ , localizadas na Tabela 4, pôde-se perceber a pouca diferença entre os valores das vigas em escala reduzida do grupo FL – H2. Este mesmo fenômeno foi notado para a viga em escala real.

Tabela 4 - Valores de  $\lambda_{rel,m}$ ,  $\sigma_{m,i,cr}$  e  $\sigma_{i,rup}$

GRUPO	ELEMENTO	$\sigma_{i,rup}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\lambda_{rel,m}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{m,i,cr}$ (N/mm <sup>2</sup> )
FL – H2 ( $i = 0$ )	VR 1	29,247	0,938	29,325
	VR 2	36,289		
	VR 3	21,435		
	VR 4	29,408		
	VR 5	25,112		
	VR 6	25,085		
FT – H2 ( $i = 90$ )	VR 1	21,427	0,785	36,092
	VR 2	28,116		
	VR 3	26,321		
	VR 4	30,042		
	VR 5	24,165		
	VR 6	26,188		
VIGA ESC. REAL	-	19,630	1,096	21,502

Observa-se também que, para as vigas em escala reduzida do grupo FT – H2, as tensões de ruptura divergiram bastante da tensão crítica.

Na realidade, o Eurocode 5 (CEN, 2004a) recomenda que se comece a empregar fatores de redução da resistência de projeto relacionados a flambagem lateral quando houver  $\lambda_{rel,m} > 0,75$ . Isto e a proximidade dos valores podem dar um indicativo de que as vigas em escala reduzida do grupo FL – H2 e a viga em escala real tiveram como modo de ruptura a flambagem lateral com torção, já que os valores de  $\lambda_{rel,m}$  foram maiores que 0,93.

Já as vigas do grupo FT – H2 provavelmente atingiram o colapso com pouca atuação da flambagem lateral. Isto é corroborado pelo fato dos valores de  $\sigma_{90,rupt}$  terem ficado mais próximos de  $f_{m,90,k}$  do que do valor de  $\sigma_{m,90,cr}$ .

### 6.5.2 Efeitos de cisalhamento

Para todas as vigas em escala reduzida dos grupos FL – H2 e FT – H2, foram obtidos os valores das deflexões teóricas  $u_n$  e  $u'_n$  através das equações 8, 9 e 10, considerando cada valor de carga aplicada nos ensaios. Fez-se, então o comparativo desses valores de deslocamento com as deflexões reais ( $d_n$ ) por meio do erro percentual relativo conforme as equações 12 e 13.

Deixa-se salientado que para a análise dos resultados da viga em escala real aplicou-se o valor de  $x = 755 \text{ mm}$ , enquanto para os corpos de prova empregou-se  $x = l_1/2$ .

Ao comparar os valores médios dos erros percentuais relativos das deflexões  $\bar{e}$  e  $\bar{e}'$ , apresentados na Tabela 5, viu-se que os fatores de correção para os efeitos de cisalhamento, quando considerados os ensaios com vigas em escala reduzida, não implicaram em resultados satisfatórios.

Já para a viga, essa consideração da influência do cisalhamento demonstrou-se ser bem efetiva como demonstra os dados dos gráficos das figuras 20 e 21 e da Tabela 5. Nestes gráficos, em especial, os eixos representam os valores dos erros percentuais relativos (vertical), como também, a razão da carga instantânea aplicada no experimento com a carga de ruptura,  $F_n / F_{máx}$  (horizontal). Portanto, é possível analisar o comportamento do erro percentual relativo dos valores de deflexão do início da aplicação de carga até o colapso da estrutura.

Tabela 5 – Erros relativos percentuais dos deslocamentos

GRUPO	ELEMENTO	$\bar{e}$ (%)	$\bar{e}'$ (%)
FL – H2 ( $i = 0$ )	VR 1	36,26%	64,51%
	VR 2	48,64%	93,23%
	VR 3	18,64%	54,23%
	VR 4	5,29%	33,97%
	VR 5	12,39%	37,11%
	VR 6	42,83%	25,67%
FT – H2 ( $i = 90$ )	VR 1	31,95%	7,96%
	VR 2	8,95%	51,78%
	VR 3	15,04%	67,28%
	VR 4	14,81%	55,13%
	VR 5	15,70%	49,64%
	VR 6	10,23%	30,57%
VIGA ESC. REAL	TRANSD. 1	14,19%	4,51%
	TRANSD. 2	29,19%	16,85%

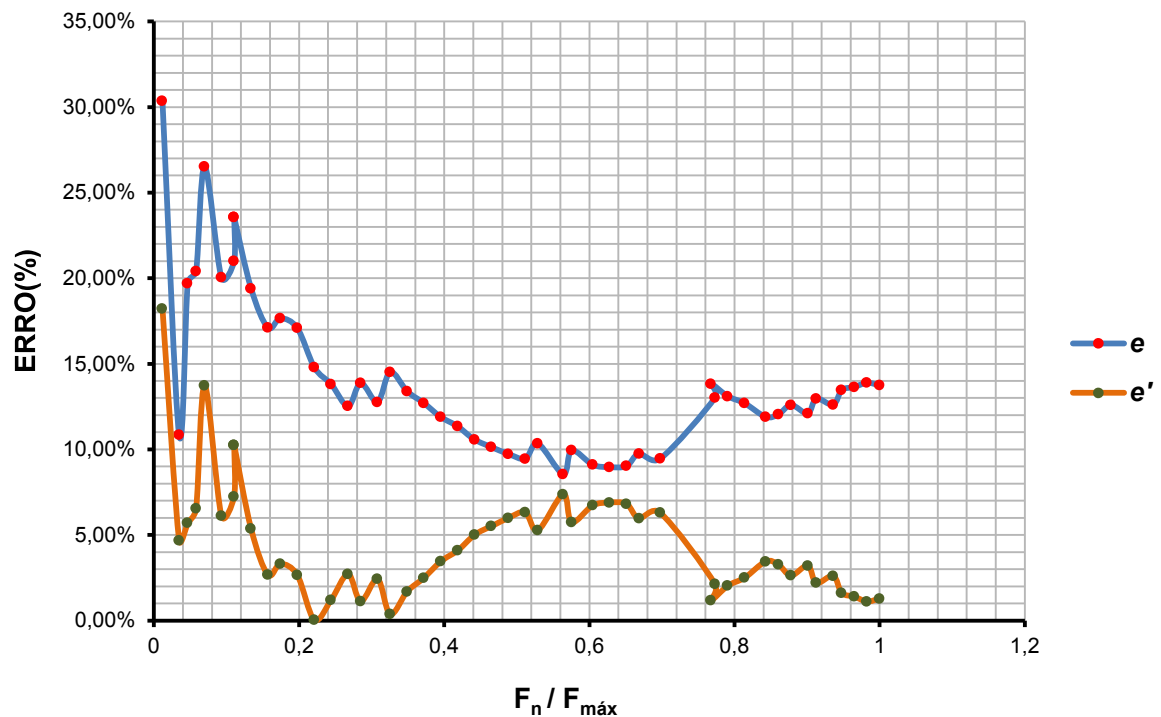
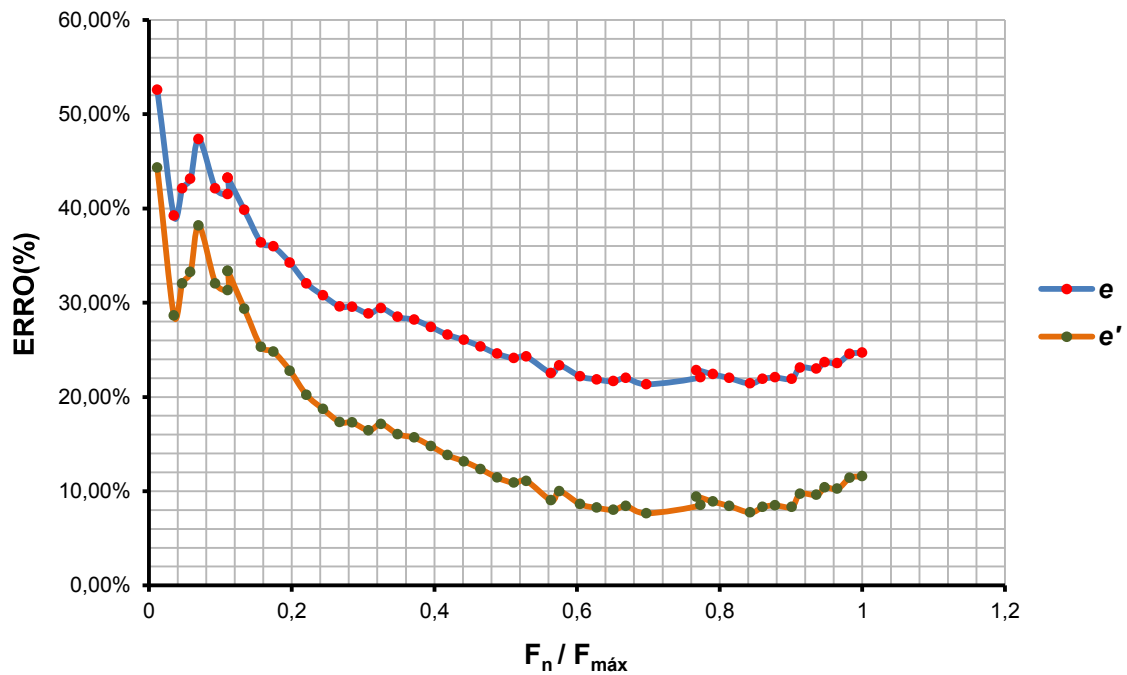
Figura 20 – Erro relativo percentual dos deslocamentos para o Transdutor 1 instalado na viga de tamanho real em função de  $F_n/F_{m\acute{a}x}$ 

Figura 21 - Erro relativo percentual dos deslocamentos para o Transdutor 2 instalado na viga de tamanho real em função de  $F_n/F_{m\acute{a}x}$



## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 7.1 CONCLUSÕES

Primeiramente, observa-se que se for assumido como deflexões teóricas aquelas com menores erros percentuais,  $\bar{e}$  ou  $\bar{e}'$ , têm-se que a Equação 8 sem a aplicação do fator de correção  $\alpha_{shear}$  demonstra ser mais eficiente para o caso dos corpos de prova. Já para a viga, o fator de correção apresentou resultados bastante satisfatórios chegando a erros menores que 0,04% como se pode observar na Figura 20.

Argumenta-se que a eficiência de  $\alpha_{shear}$  esteja atrelada a relação  $h/l_1$  que está embutida em seu equacionamento, uma vez que para o caso das amostras, devido à aproximação desses valores quando comparados com o da viga em escala real, acaba por tornar a deflexão exagerada. Suspeita-se que, no embasamento experimental da fórmula do



fator de correção, foi considerada a aplicação apenas em elementos com valores de  $h/l_1$  relativamente baixos. Deixa-se claro que para confirmação de tal hipótese faz-se necessário um estudo mais aprofundado.

Quanto aos valores das tensões críticas, conclui-se que, para as peças do grupo FL – H2 e para a viga em escala real, os efeitos de flambagem lateral por torção foram preponderantes já que as tensões de ruptura se aproximaram aos valores correspondentes de  $\sigma_{m,i,cr}$ . Mais especificamente para a viga, atenta-se para o fato de que apenas uma folha externa colapsou das três que constituíam a estrutura, indicando uma possível ruptura por torção decorrente de flambagem lateral. Todavia, os corpos de prova do grupo FT – H1, conclui-se que devido ao fato de serem menos esbeltos (principalmente devido ao comprimento reduzido), tiveram suas tensões de ruptura próximas da resistência à flexão.

Neste contexto, considerando-se o comparativo das tensões e das deflexões reais e teóricas através dos erros percentuais, nota-se que, ao aplicar os valores dos módulos de elasticidade e das resistências à flexão no conjunto de equações que representam o modo de ruptura, foram obtidos resultados bem próximos daqueles coletados nos experimentos. Verifica-se também que as hipóteses de cálculo adotadas a partir das equações 3, 4 e 5 provaram-se ser eficientes quando empregadas.

## 7.2 SUGESTÕES

Diante dos resultados obtidos neste trabalho e das conclusões feitas, sugerem-se as seguintes proposições:

- (i). Reitera-se a consideração da esbeltez das peças estruturais aos elementos do projeto de habitação da Casa Nordeste, uma vez que caso seja continuada a utilização do mesmo tipo de material e do mesmo fornecedor, devido aos valores atribuídos às suas resistências mecânicas serem relativamente baixas, e que estes, por sua vez, definem a esbeltez de um elemento, os efeitos de flambagem lateral poderão ser o principal aspecto do dimensionamento das estruturas;
- (ii). Considera-se que seria uma grande contribuição à indústria de madeira o desenvolvimento de normas ou códigos que descrevessem detalhadamente os principais pré-requisitos para a classificação de um compensado em

compensado naval, principalmente, daqueles relacionados às propriedades mecânicas;

- (iii). Uma terceira via de verificação dos resultados obtidos seria a análise computacional numérica de estruturas de interesse com a aplicação dos valores encontrados do módulo de elasticidade e da resistência à flexão, e ainda, das propriedades determinadas a partir das hipóteses de cálculo apresentadas no item 4.4 (Equações 3, 4 e 5); e
- (iv). Destaca-se, ainda, que como solução para a influência do cisalhamento nas deflexões, pode-se recorrer à concepção do ensaio de flexão em quatro pontos em experimentos futuros, já que neste tipo de carregamento existe um estado de flexão pura.

## 8 BIBLIOGRAFIA

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9531 - Chapas de madeira compensada - Classificação**. Rio de Janeiro:1986. 3 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: 1996. 107 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 2426-2 - Madeira compensada - Classificação pela aparência superficial - Parte 2: Folhosas**. Rio de Janeiro: 2006. 4 p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 2074 - Madeira compensada - Vocabulário**. Rio de Janeiro: 2012. 9 p.

ALMEIDA, Diego H. *et al.* Madeira laminada colada (MLC) da espécie Paricá. **Madeira: arquitetura e engenharia**, São Carlos, v. 12, n. 30, p. 71-82, JUL/SET 2011.

ALMEIDA, Diego H. *et al.* Caracterização completa da madeira da espécie amazônica Paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb) em peças de dimensões estruturais. **Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. p.1175-1181, DEZ 2013.

AMUI, B. GUIA: Entendendo A Fresadora CNC. **Site do Fab Lab de Brasília**, 2017. Disponível em: <<https://www.brasiliafablab.com.br/guia-entendendo-a-fresadora-cnc>>. Acesso em: JULHO 2019.

APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **A guide to engineered wood products**. Tacoma: 2010. 12 p.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3043 - 00 - Standard Test Methods for Testing Structural Panels in Flexure**. West Conshohocken: 2000.

BEER, F. P.; JOHNSTON, E. R. J. **Resistência dos Materiais**. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1996. 1266 p.

BIS - BUREAU OF INDIAN STANDARDS. **IS 848 - Specification for synthetic resin adhesives for plywood (phenolic and aminoplastic)**. Nova Delhi: 2006. 13 p.

BIS - BUREAU OF INDIAN STANDARDS. **IS 710 - Marine Plywood – Specification**. Nova Delhi: 2010. 16 p.

BSI - BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 1088 - Marine Plywood, Part 1: Requirements**. Londres: 2003. 16 p.

CARVALHO, P. E. R. Paricá - *Schizolobium amazonicum*. **EMBRAPA FLORESTAS - Circular técnica**, Colombo, v. 142, p. 8, NOV 2007.

CASA NORDESTE. Sobre. **Site do projeto Casa Nordeste**. Disponível em: <<https://www.casanordeste.org>>. Acesso em: JULHO 2019.

CAVALHEIRO, R. S. **Madeira laminada colada de Schizolobium amazonicum Herb. (Paricá): combinação adesivo/tratamento preservante**. (Dissertação em Ciência e Engenharia de Materiais) - USP. São Carlos, p. 104. 2014.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 310 - Wood-based panels - Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength**. Bruxelas: 1993. 14 p.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 326-1 - Wood-based panels. Sampling, cutting and inspection. Sampling and cutting of test pieces and expression of test results**. Bruxelas: 1994. 7 p.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 1995 - Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings**. Bruxelas: 2004a. 123 p.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 789 - Timber structures – Test methods – Determination of mechanical properties of wood-based panels**. Bruxelas: 2004b. 36 p.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 338 - Structural timber - Strength classes**. Bruxelas:2009. 14 p.

COLIN, S. **Coisas da Arquitetura**, 2011. Disponível em: <<https://coisasdaarquitetura.wordpress.com/2011/04/24/a-madeira-em-tempos-de-sistentabilidade-ii/>>. Acesso em: JULHO 2019.

EUROSTAT. Secondary wood products. **Data Explorer**, 2019. Disponível em: <[https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=for\\_secwp&lang=en](https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=for_secwp&lang=en)>. Acesso em: JULHO 2019.

GONÇALVES, S. L. F.; ALMEIDA, A. R. C. D. A indústria de lâminas e compensados de madeira. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Enegep, 1998**, Anais. Rio de Janeiro, n. ABEPRO, p. 8, 1998.

HUD - U.S. DEPARTMENT OF HOUSING AND URBAN DEVELOPMENT. Type of Framing in New Single-Family Houses Completed — concatenated, 2009 to 2018. Office Of Policy Development And Research. **SOC - Survey of Construction**, 2018. Disponível em: <[https://www.census.gov/construction/chars/xls/framing\\_cust.xls](https://www.census.gov/construction/chars/xls/framing_cust.xls)>. Acesso em: JULHO 2019.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Domicílios particulares permanentes, por tipo de material das paredes externas, número de cômodos e número de. **SIDRA**, 2010. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1617#resultado>>. Acesso em: JULHO 2019.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16978 - Wood-based panels — Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength**. Genebra: 2003. 5 p.

PORTEOUS, J; KERMAMI A. **Structural timber design to Eurocode 5**. Padstow: Blackwell Publishing, 2007.

LOURENÇO, P. B.; BRANCO, J. M. Dos abrigos da pré-história aos. In: MELO, A. S.; RIBEIRO, M. D. C. **História da Construção – arquiteturas e técnicas construtivas**. Braga: CITCEM/LAMOP, 2013. Cap. 11, p. 307.

MELO, Rafael R. *et al.* Avaliação das propriedades físico-mecânicas de Painéis aglomerados de Eucalyptus grandis Colados com Ureia-formaldeído e tanino-formaldeído. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 3, p. 497-506, JUL/SET 2009.

MIOTTO, J. L. **Avaliação dos critérios de dimensionamento para peças comprimidas e flexocomprimidas de madeira**. (Dissertação em Estruturas). USP. São Carlos. 2003.

PLETZ, E. A história da construção com madeira. [Entrevista concedida a] BERTOL, M. **Portal Madeira e Construção**. Jul, 2016.

RUGGIERO, Márcia A. Gomes; LOPES, Vera Lucia da Rocha. **Cálculo Numérico: aspectos teóricos e computacionais**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1996.

SILVA, Bruno C. *et al.* Qualidade de Compensados Fabricados com Adesivos à Base de Tanino-formaldeído de Pinus oocarpa e Fenol-formaldeído. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 511-519, OUT/DEZ 2012.

SILVA, K. C. D. **Influência da umidade na resistência à flexão de compensado**. (Trabalho de Conclusão de Curso). Joinville, p. 64. 2016.

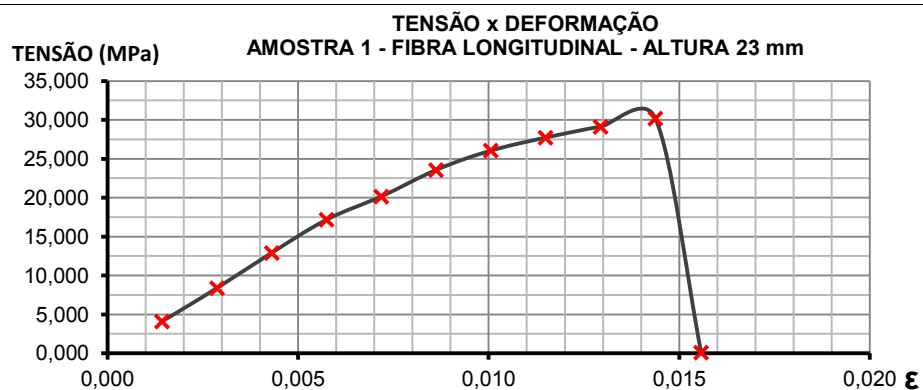
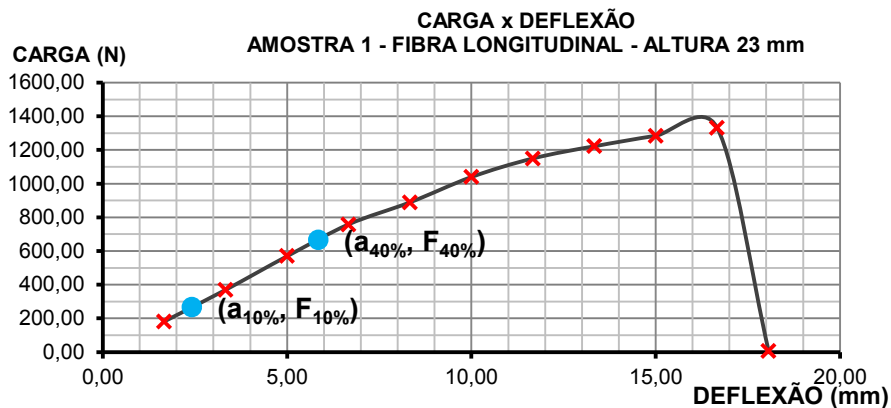
STAMATO, G. C. **Resistência ao embutimento da madeira compensada**. (Dissertação em Engenharia de Estruturas) - USP. São Carlos, p. 154. 1998.

## 9 APÊNDICE A – FICHA DE DADOS DOS ELEMENTOS EXPERIMENTADOS

De maneira geral, para todas as fichas de dados têm-se a designação do elemento, suas dimensões, os valores de  $F_{m\acute{a}x}$ ,  $F_{10\%}$ ,  $F_{40\%}$ ,  $d_{m\acute{a}x}$ ,  $d_{10\%}$  e  $d_{40\%}$  e as curvas carga-deflexão e tensão-deformação. Em especial para os corpos de prova dos grupos FL-H1 e FT-H1, têm-se os valores de  $f_{m,i}$  e  $E_{m,i}$ . Já para as vigas em escala reduzida, estão presentes neste apêndice os valores de  $\alpha_{shear}$ ,  $\lambda_{rel,m}$ ,  $\bar{e}$ ,  $\bar{e}'$ ,  $\sigma_{m,i,cr}$  e  $\sigma_{i,rup}$ .

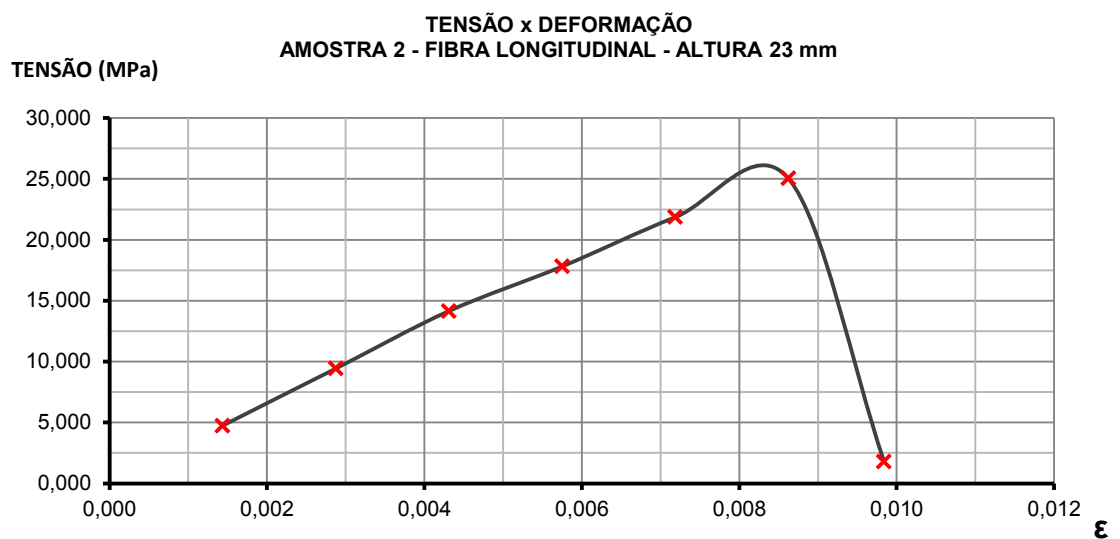
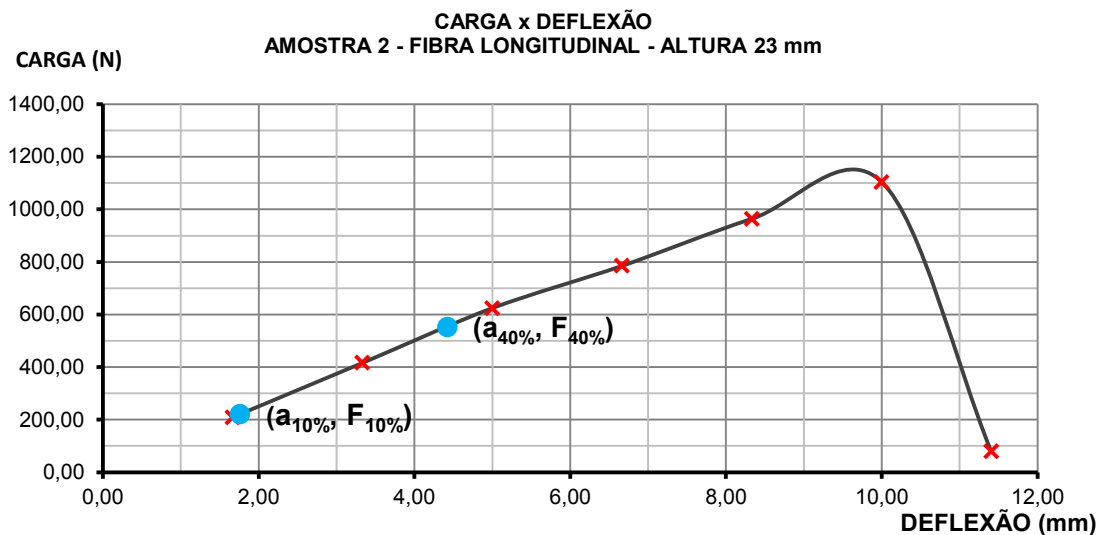
### CORPO DE PROVA 01

GRUPO	FL – H1
$h$	23 mm
$w$	50 mm
$l_1$	400 mm
$F_{m\acute{a}x}$	1331,50 N
$F_{10\%}$	266,30 N
$F_{40\%}$	665,75 N
$d_{m\acute{a}x}$	16,667 mm
$d_{10\%}$	2,418 mm
$d_{40\%}$	5,854 mm
$f_{m,0}$	30,204 N/mm <sup>2</sup>
$E_{m,0}$	3058,23 N/mm <sup>2</sup>



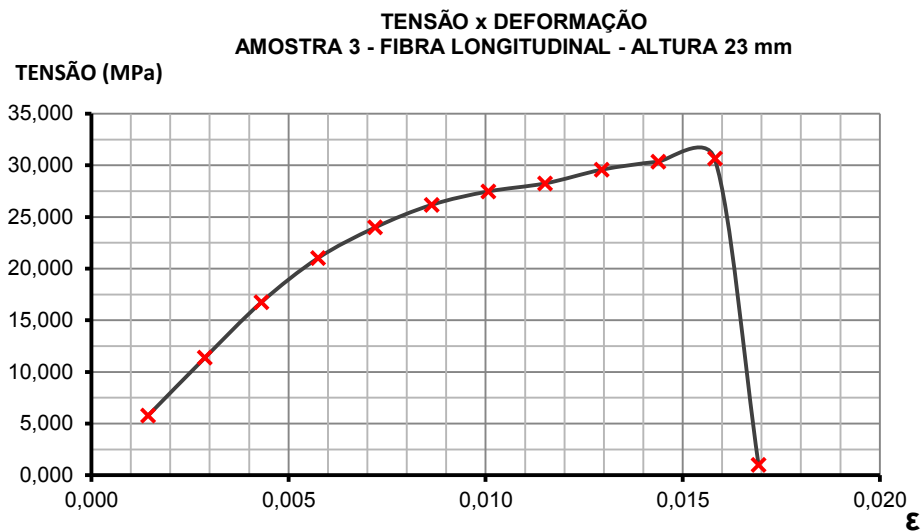
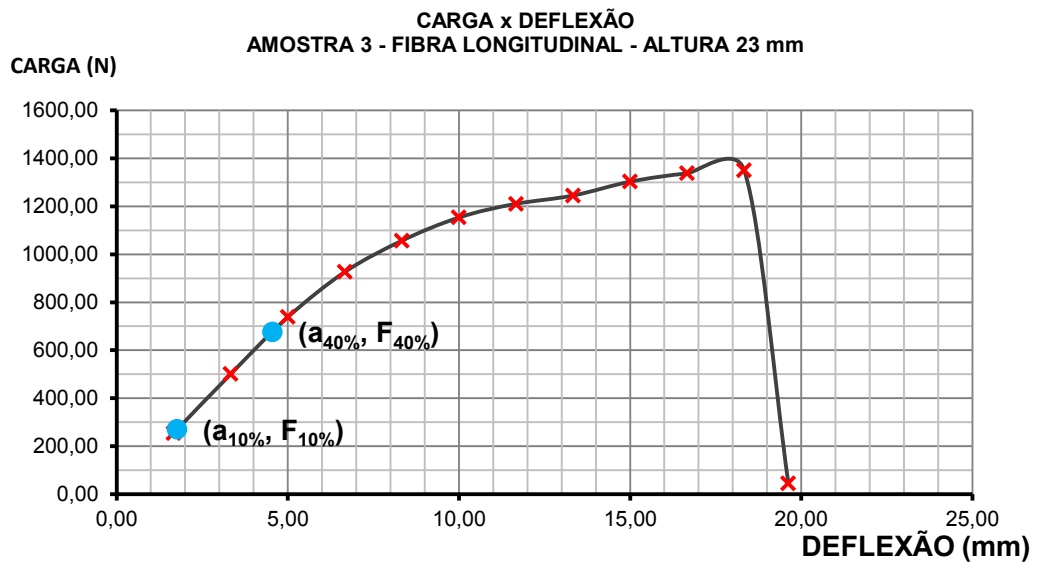
CORPO DE PROVA **02**

GRUPO	FL – H1
$h$	23 mm
$w$	50 mm
$l_1$	400 mm
$F_{m\acute{a}x}$	1103,88 N
$F_{10\%}$	220,78 N
$F_{40\%}$	551,94 N
$d_{m\acute{a}x}$	10,000 mm
$d_{10\%}$	1,762 mm
$d_{40\%}$	4,423 mm
$f_{m,0}$	25,041 N/mm <sup>2</sup>
$E_{m,0}$	3273,218 N/mm <sup>2</sup>



CORPO DE PROVA **03**

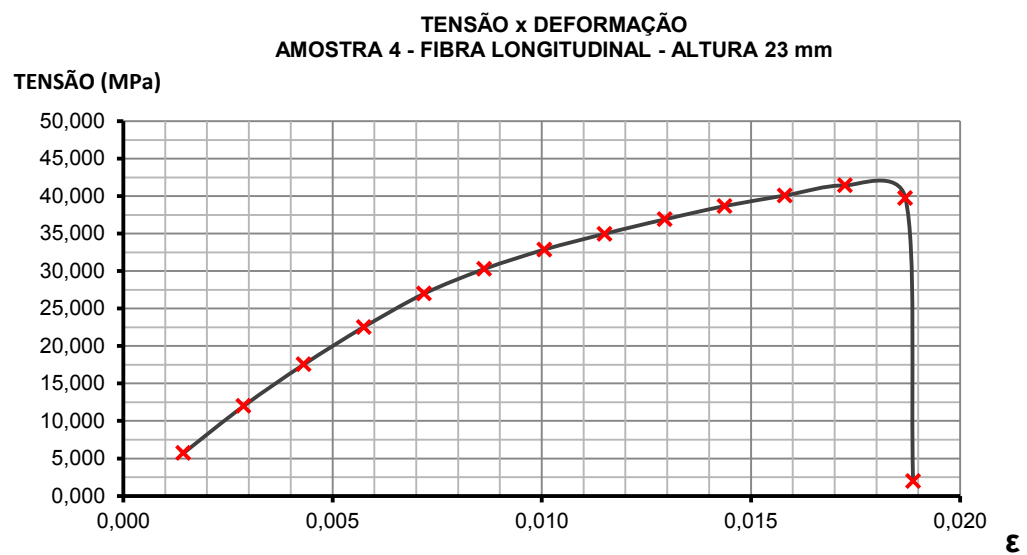
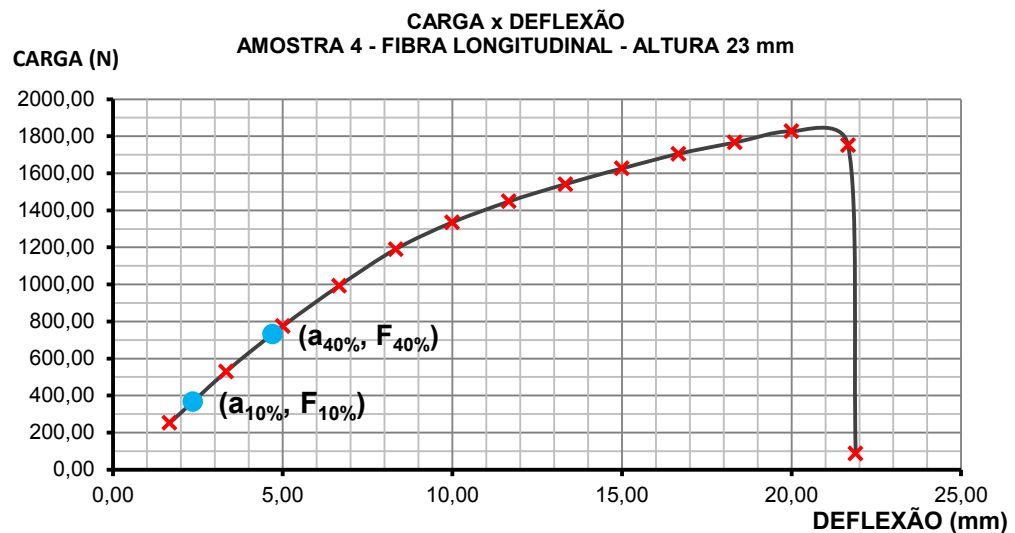
GRUPO	FL – H1
$h$	23 mm
$w$	50 mm
$l_1$	400 mm
$F_{m\acute{a}x}$	1350,44 N
$F_{10\%}$	270,09 N
$F_{40\%}$	675,22 N
$d_{m\acute{a}x}$	18,333 mm
$d_{10\%}$	1,771 mm
$d_{40\%}$	4,557 mm
$f_{m,0}$	30,634 N/mm <sup>2</sup>
$E_{m,0}$	3824,932 N/mm <sup>2</sup>





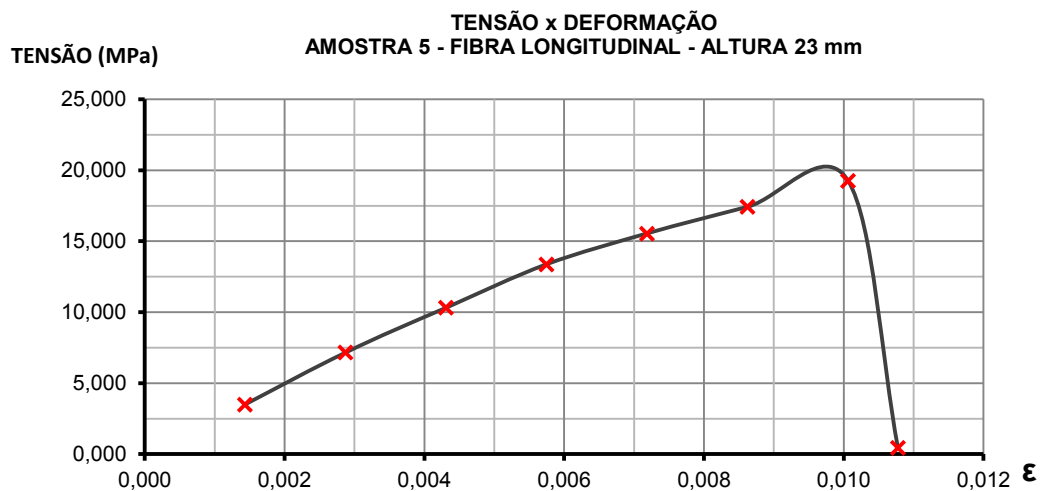
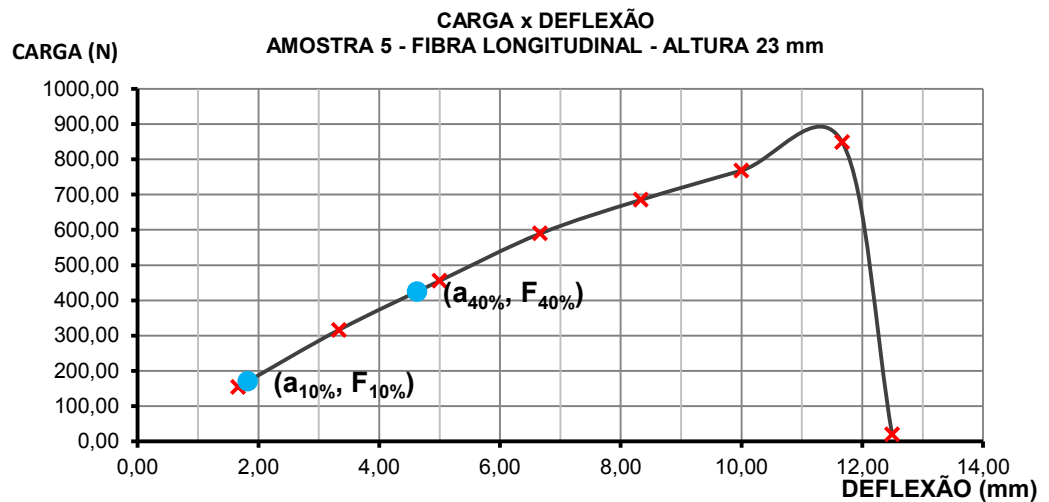
CORPO DE PROVA **04**

GRUPO	FL – H1
$h$	23 mm
$w$	50 mm
$l_1$	400 mm
$F_{m\acute{a}x}$	1826,44 N
$F_{10\%}$	365,29 N
$F_{40\%}$	730,58 N
$d_{m\acute{a}x}$	20,000 mm
$d_{10\%}$	2,347 mm
$d_{40\%}$	4,705 mm
$f_{m,0}$	41,432 N/mm <sup>2</sup>
$E_{m,0}$	4075,088 N/mm <sup>2</sup>



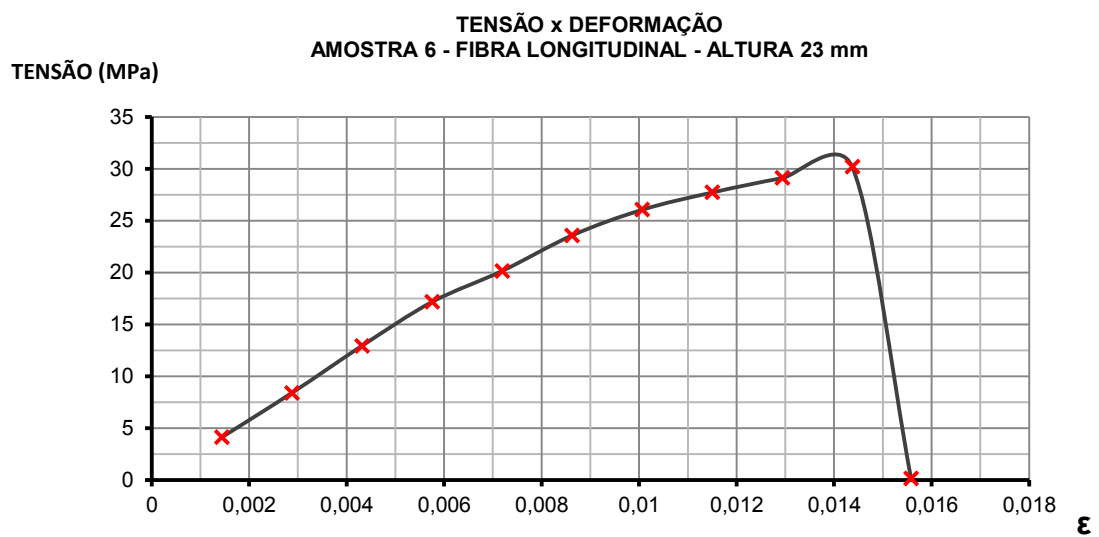
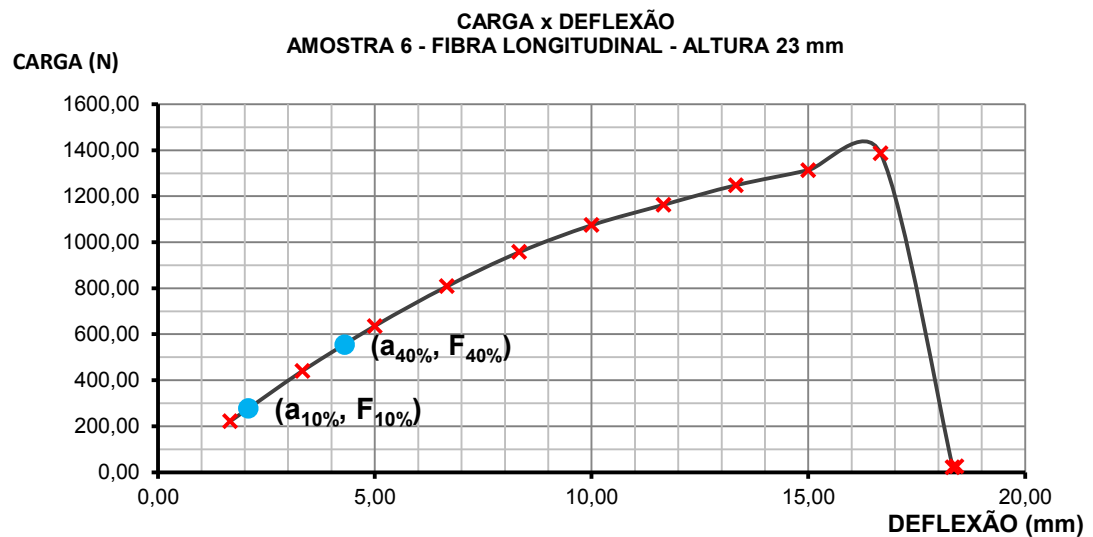
CORPO DE PROVA **05**

GRUPO	FL – H1
$h$	23 mm
$w$	50 mm
$l_1$	400 mm
$F_{m\acute{a}x}$	849,35 N
$F_{10\%}$	169,87 N
$F_{40\%}$	424,68 N
$d_{m\acute{a}x}$	11,666 mm
$d_{10\%}$	1,827 mm
$d_{40\%}$	4,634 mm
$f_{m,0}$	19,267 N/mm <sup>2</sup>
$E_{m,0}$	2387,743 N/mm <sup>2</sup>



CORPO DE PROVA **06**

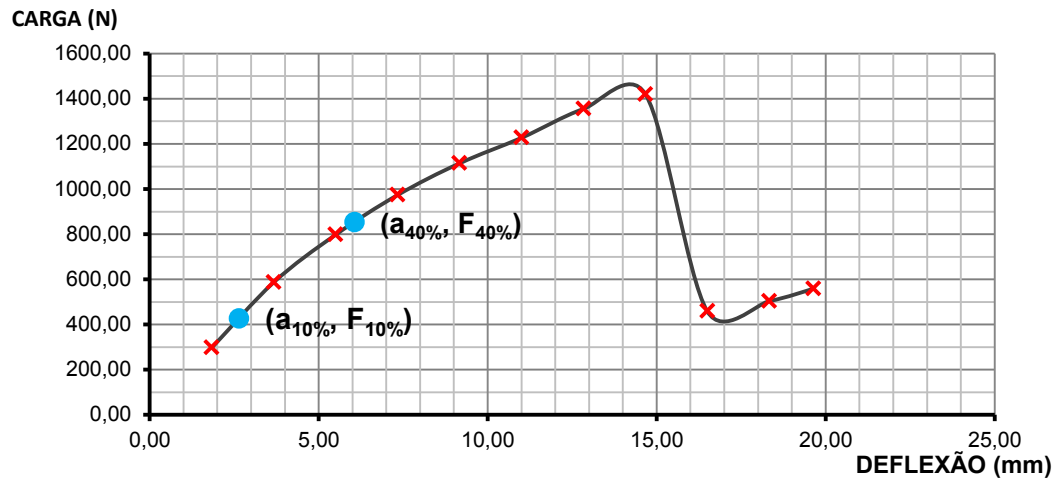
GRUPO	FL – H1
$h$	23 mm
$w$	50 mm
$l_1$	400 mm
$F_{m\acute{a}x}$	1386,41 N
$F_{10\%}$	277,28 N
$F_{40\%}$	554,56 N
$d_{m\acute{a}x}$	16,667 mm
$d_{10\%}$	2,088 mm
$d_{40\%}$	4,309 mm
$f_{m,0}$	31,450 N/mm <sup>2</sup>
$E_{m,0}$	3283,557 N/mm <sup>2</sup>



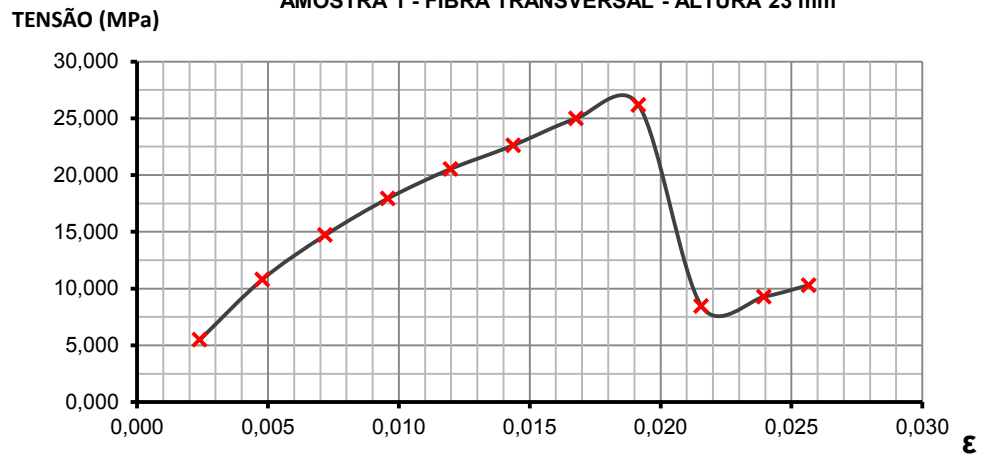
CORPO DE PROVA **01**

GRUPO	FT – H1
$h$	23 mm
$w$	50 mm
$l_1$	325 mm
$F_{m\acute{a}x}$	1419,42 N
$F_{10\%}$	425,82 N
$F_{40\%}$	851,65 N
$d_{m\acute{a}x}$	14,667 mm
$d_{10\%}$	2,648 mm
$d_{40\%}$	6,061 mm
$f_{m,90}$	26,161 N/mm <sup>2</sup>
$E_{m,90}$	1759,655 N/mm <sup>2</sup>

CARGA x DEFLEXÃO  
AMOSTRA 1 - FIBRA TRANSVERSAL - ALTURA 23 mm

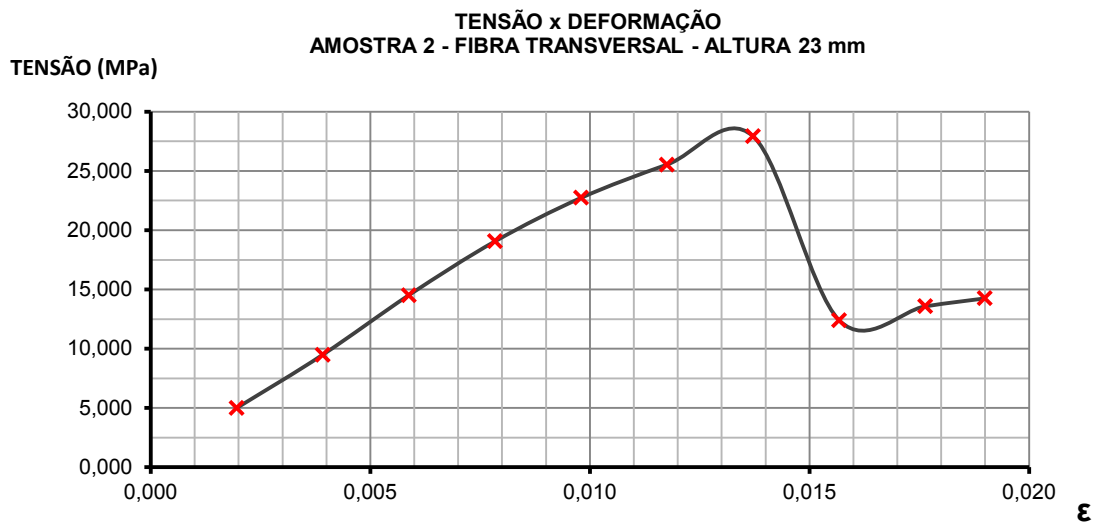
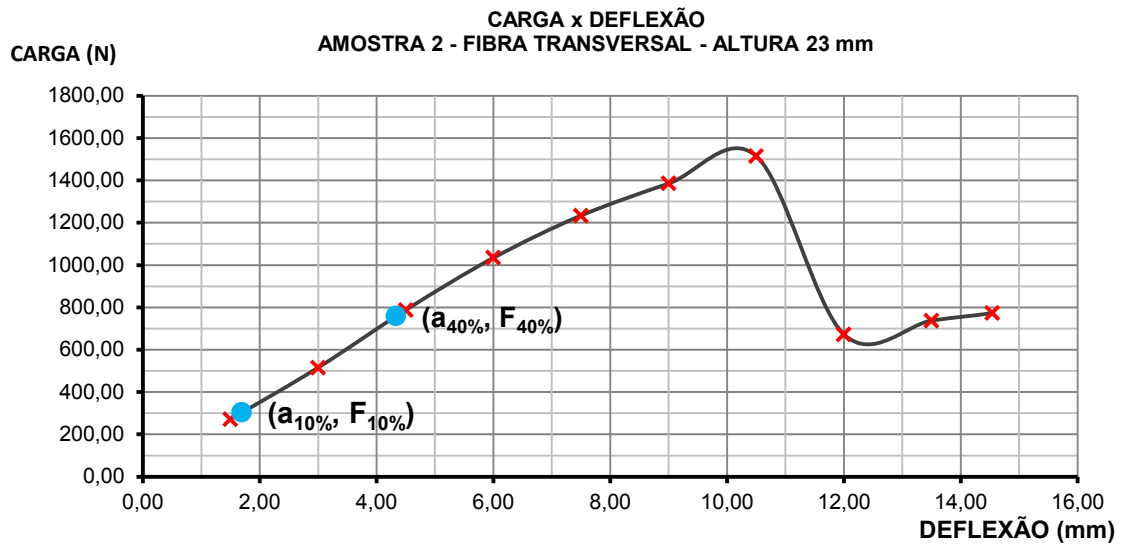


TENSÃO x DEFORMAÇÃO  
AMOSTRA 1 - FIBRA TRANSVERSAL - ALTURA 23 mm



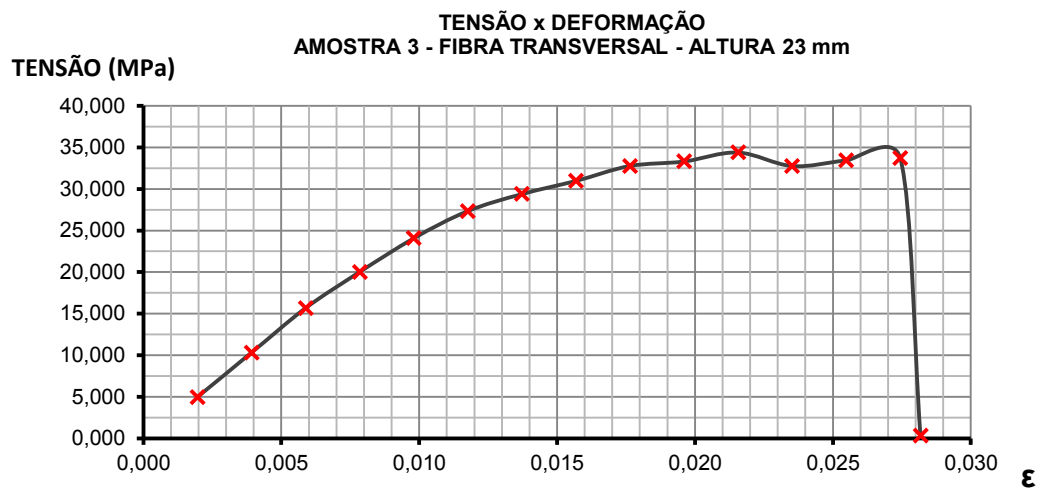
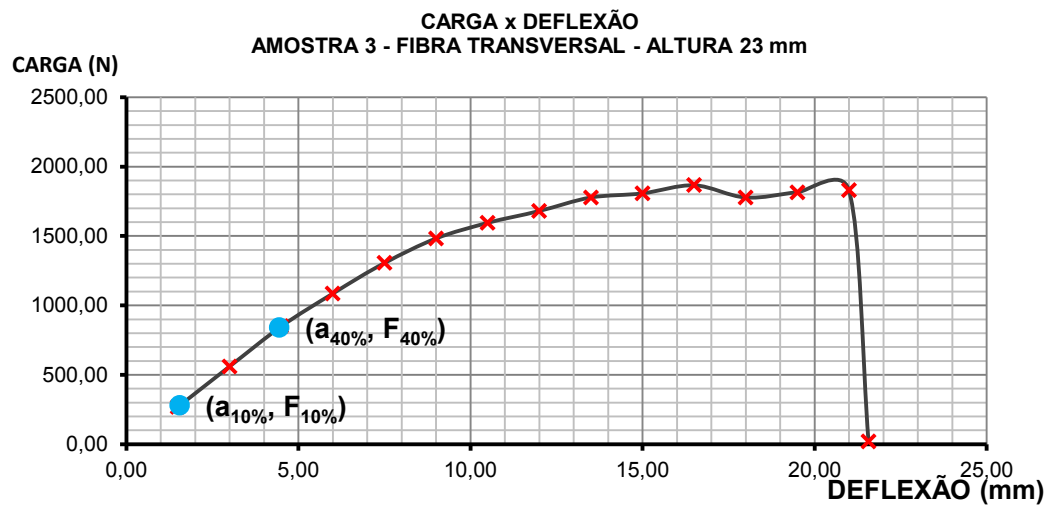
CORPO DE PROVA **02**

GRUPO	FT - H1
$h$	23 mm
$w$	50 mm
$l_1$	325 mm
$F_{m\acute{a}x}$	1514,86 N
$F_{10\%}$	302,97 N
$F_{40\%}$	757,43 N
$d_{m\acute{a}x}$	10,500 mm
$d_{10\%}$	1,692 mm
$d_{40\%}$	4,334 mm
$f_{m,90}$	27,920 N/mm <sup>2</sup>
$E_{m,90}$	2426,812 N/mm <sup>2</sup>



CORPO DE PROVA **03**

GRUPO	FT – H1
$h$	23 mm
$w$	50 mm
$l_1$	325 mm
$F_{m\acute{a}x}$	1865,90 N
$F_{10\%}$	279,89 N
$F_{40\%}$	839,66 N
$d_{m\acute{a}x}$	16,500 mm
$d_{10\%}$	1,559 mm
$d_{40\%}$	4,451 mm
$f_{m,90}$	34,390 N/mm <sup>2</sup>
$E_{m,90}$	2730,653 N/mm <sup>2</sup>

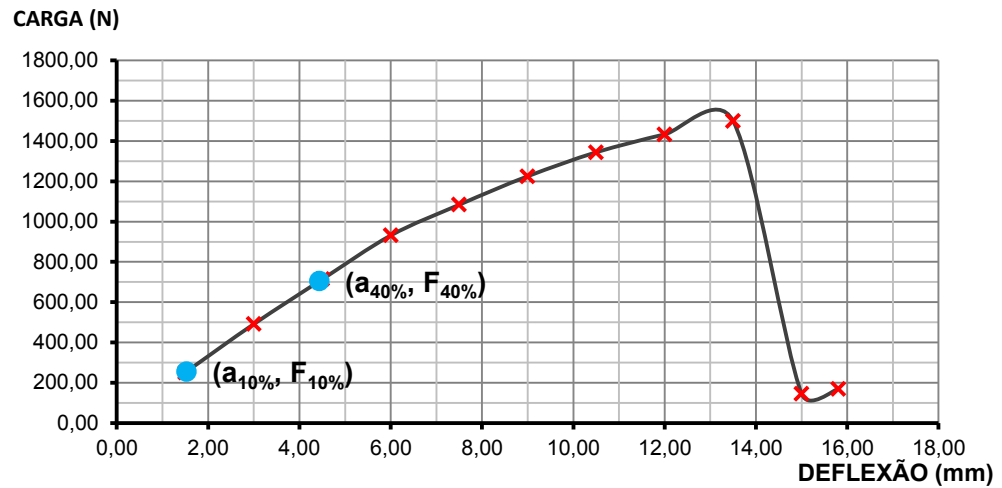


## CORPO DE PROVA

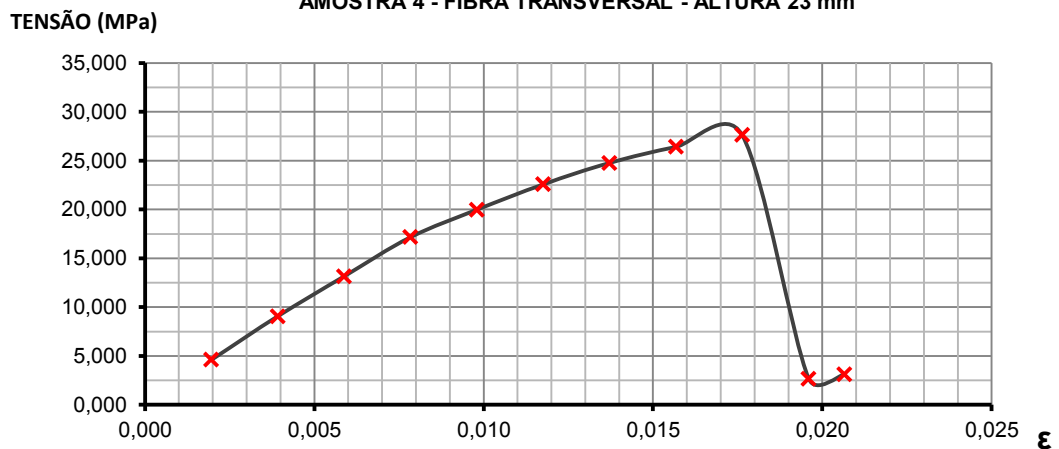
04

GRUPO	FT - H1	
$h$	23	mm
$w$	50	mm
$l_1$	325	mm
$F_{m\acute{a}x}$	1498,74	N
$F_{10\%}$	254,79	N
$F_{40\%}$	704,41	N
$d_{m\acute{a}x}$	13,500	mm
$d_{10\%}$	1,528	mm
$d_{40\%}$	4,439	mm
$f_{m,90}$	27,623	N/mm <sup>2</sup>
$E_{m,90}$	2179,188	N/mm <sup>2</sup>

CARGA x DEFLEXÃO  
AMOSTRA 4 - FIBRA TRANSVERSAL - ALTURA 23 mm

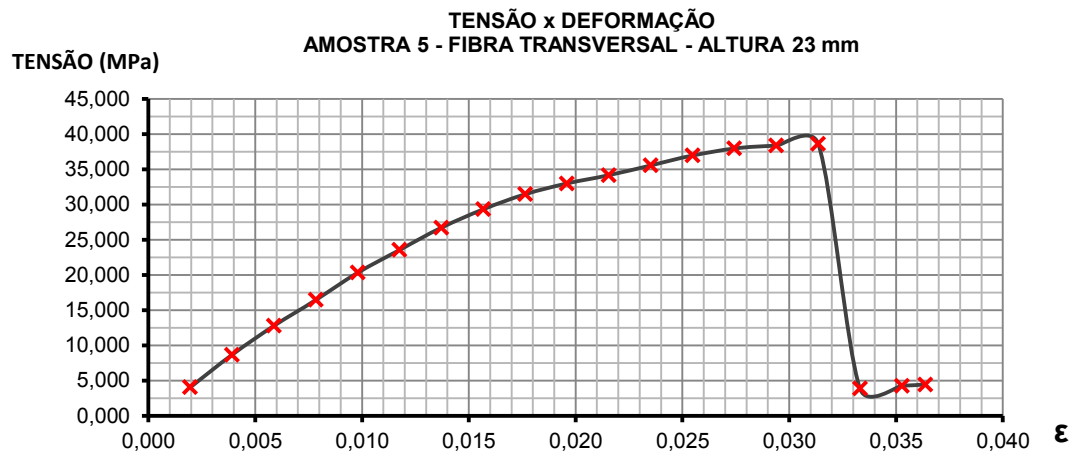
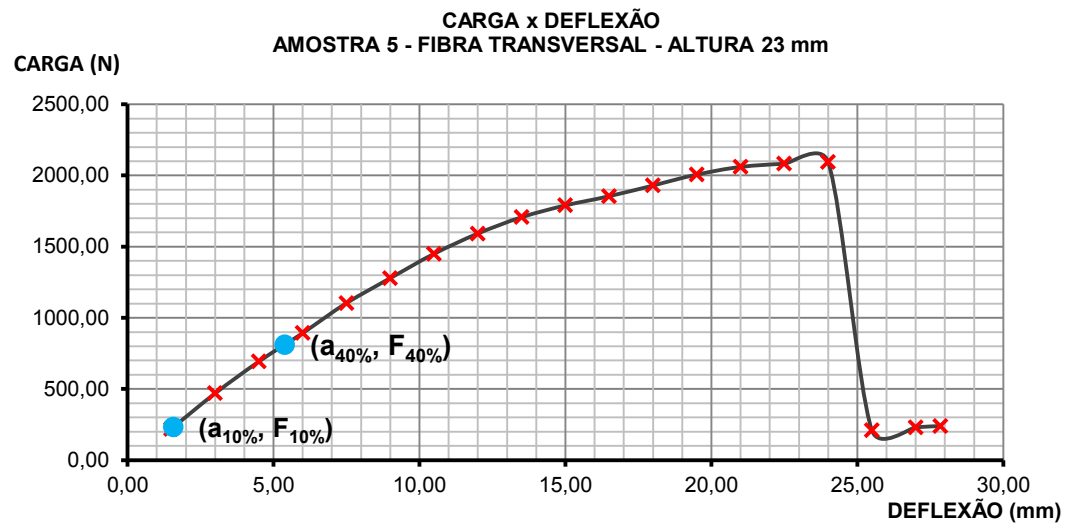


TENSÃO x DEFORMAÇÃO  
AMOSTRA 4 - FIBRA TRANSVERSAL - ALTURA 23 mm



CORPO DE PROVA **05**

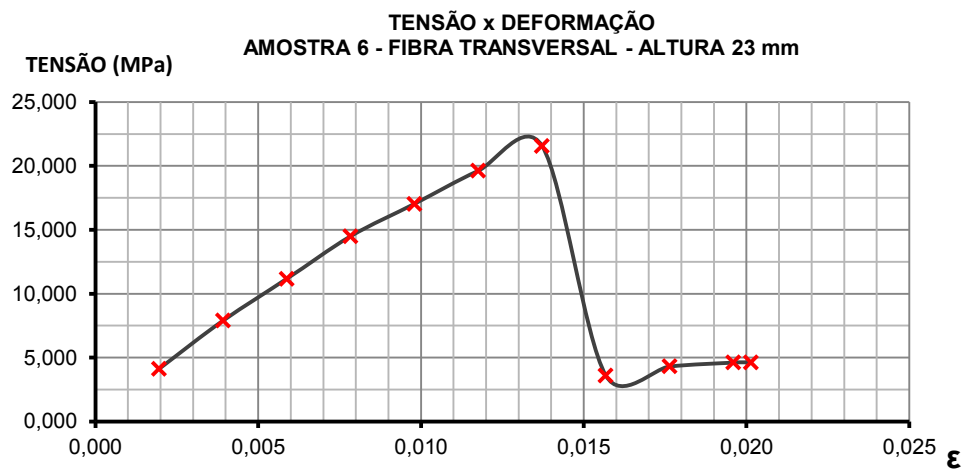
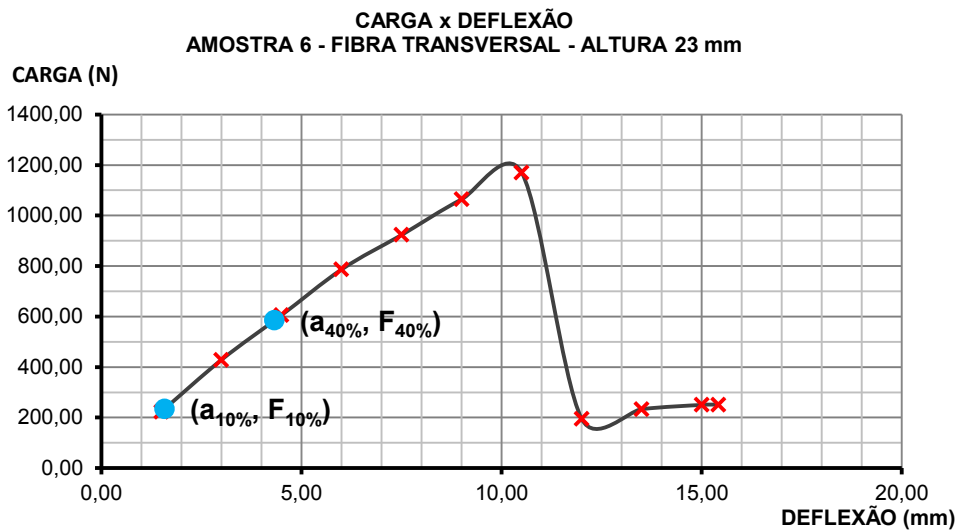
GRUPO	FT – H1
$h$	23 mm
$w$	50 mm
$l_1$	325 mm
$F_{m\acute{a}x}$	1929,53 N
$F_{10\%}$	231,54 N
$F_{40\%}$	810,40 N
$d_{m\acute{a}x}$	18,000 mm
$d_{10\%}$	1,571 mm
$d_{40\%}$	5,383 mm
$f_{m,90}$	35,563 N/mm <sup>2</sup>
$E_{m,90}$	2142,311 N/mm <sup>2</sup>





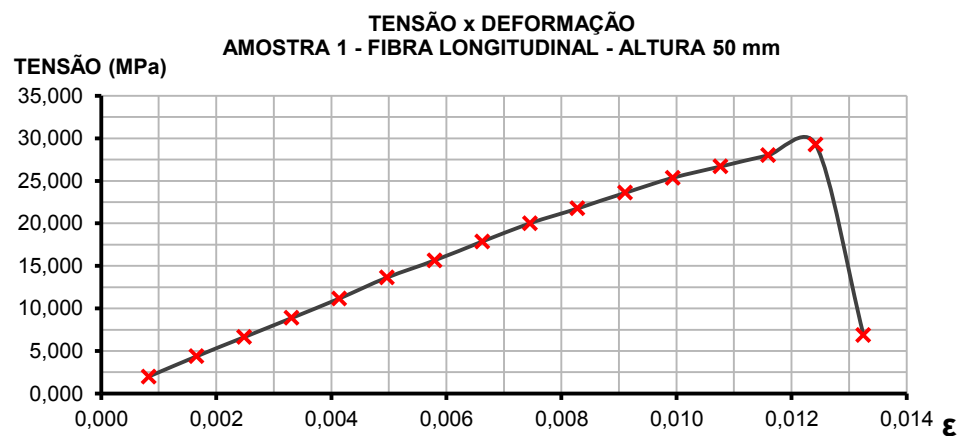
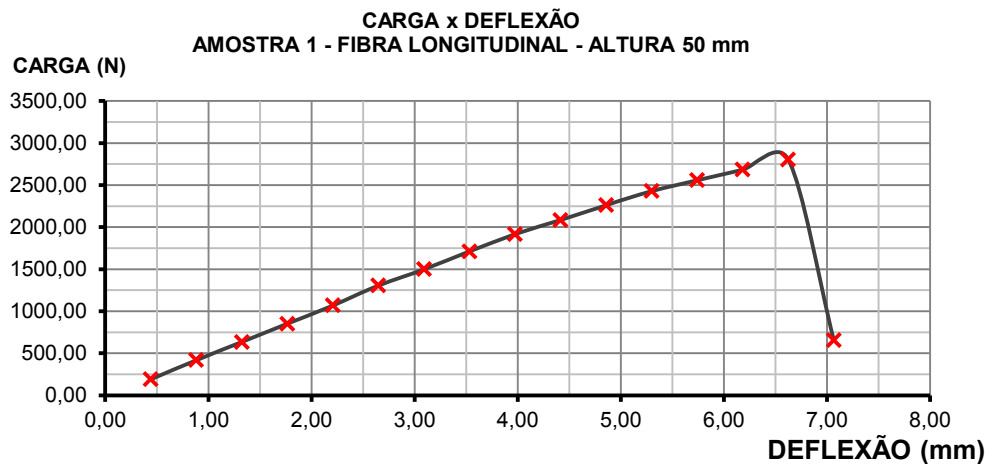
CORPO DE PROVA **06**

GRUPO	FT - H1
$h$	23 mm
$w$	50 mm
$l_1$	325 mm
$F_{m\acute{a}x}$	1169,67 N
$F_{10\%}$	233,93 N
$F_{40\%}$	584,84 N
$d_{m\acute{a}x}$	10,500 mm
$d_{10\%}$	1,577 mm
$d_{40\%}$	4,327 mm
$f_{m,90}$	21,558 N/mm <sup>2</sup>
$E_{m,90}$	1800,006 N/mm <sup>2</sup>



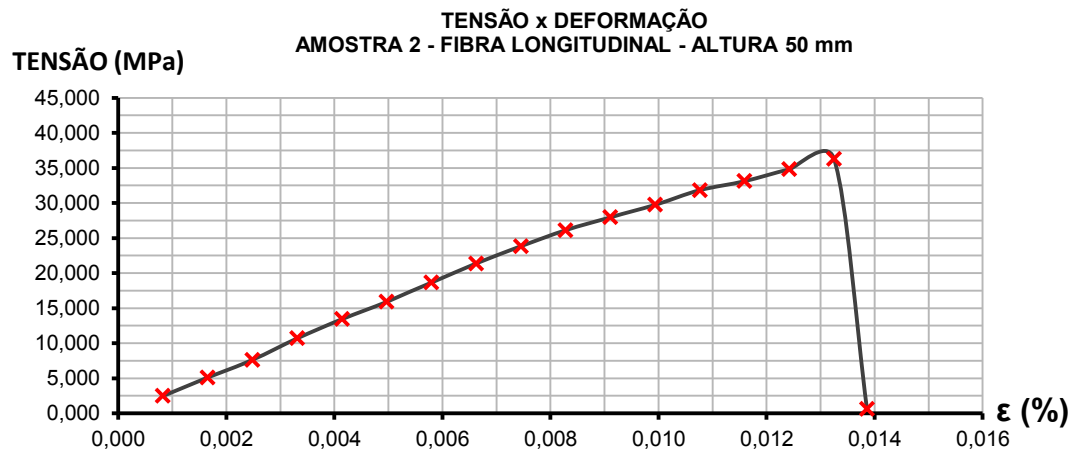
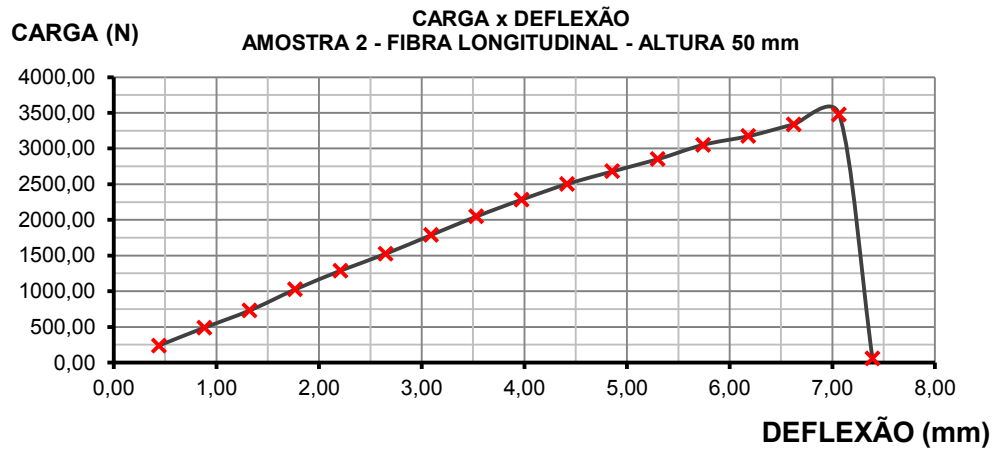
## VIGA EM ESCALA REDUZIDA **01**

GRUPO	FL - H2
$h$	50 mm
$w$	23 mm
$l_1$	400 mm
$F_{m\acute{a}x}$	2802,87 N
$F_{10\%}$	280,29 N
$F_{40\%}$	1121,15 N
$d_{m\acute{a}x}$	6,625 mm
$d_{10\%}$	0,615 mm
$d_{40\%}$	2,304 mm
$\alpha_{shear}$	1,300
$\lambda_{rel,m}$	0,938
$\bar{\epsilon}$	36,26 %
$\bar{\epsilon}'$	64,51 %
$\sigma_{m,0,cr}$	29,325 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{0,rup}$	29,247 N/mm <sup>2</sup>



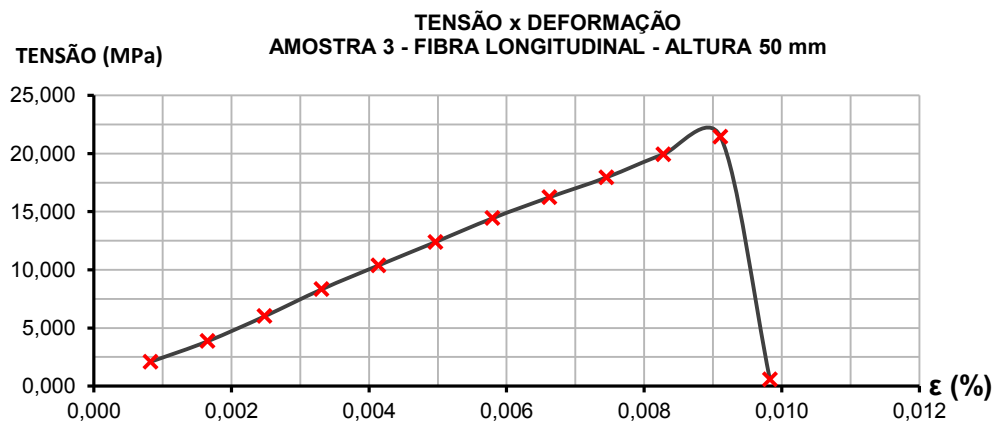
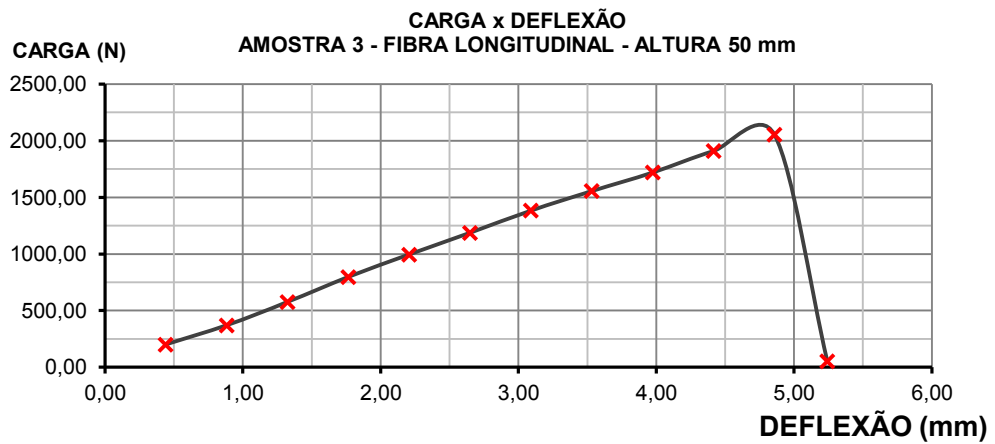
## VIGA EM ESCALA REDUZIDA **02**

GRUPO	FL - H2
$h$	50 mm
$w$	23 mm
$l_1$	400 mm
$F_{m\acute{a}x}$	3477,72 N
$F_{10\%}$	347,77 N
$F_{40\%}$	1391,09 N
$d_{m\acute{a}x}$	7,067 mm
$d_{10\%}$	0,521 mm
$d_{40\%}$	2,401 mm
$\alpha_{shear}$	1,300
$\lambda_{rel,m}$	0,938
$\bar{\epsilon}$	48,64 %
$\bar{\epsilon}'$	93,23 %
$\sigma_{m,0,cr}$	29,325 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{0,rup}$	36,289 N/mm <sup>2</sup>



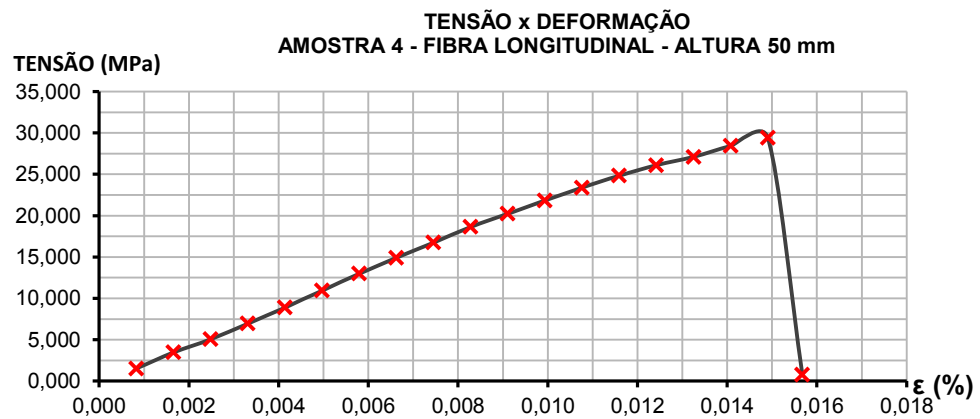
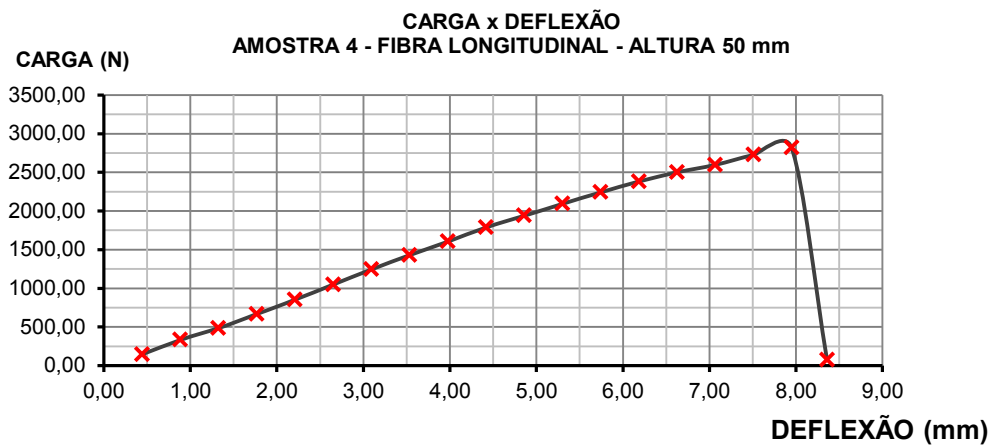
## VIGA EM ESCALA REDUZIDA **03**

GRUPO	FL - H2
$h$	50 mm
$w$	23 mm
$l_1$	400 mm
$F_{m\acute{a}x}$	2054,23 N
$F_{10\%}$	205,42 N
$F_{40\%}$	821,69 N
$d_{m\acute{a}x}$	4,858 mm
$d_{10\%}$	0,454 mm
$d_{40\%}$	1,821 mm
$\alpha_{shear}$	1,300
$\lambda_{rel,m}$	0,938
$\bar{\epsilon}$	18,64 %
$\bar{\epsilon}'$	54,23 %
$\sigma_{m,0,cr}$	29,325 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{0,rup}$	21,435 N/mm <sup>2</sup>



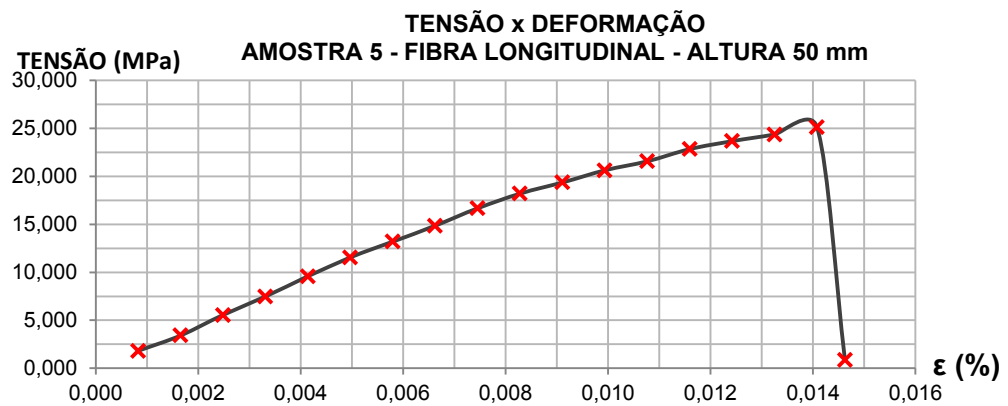
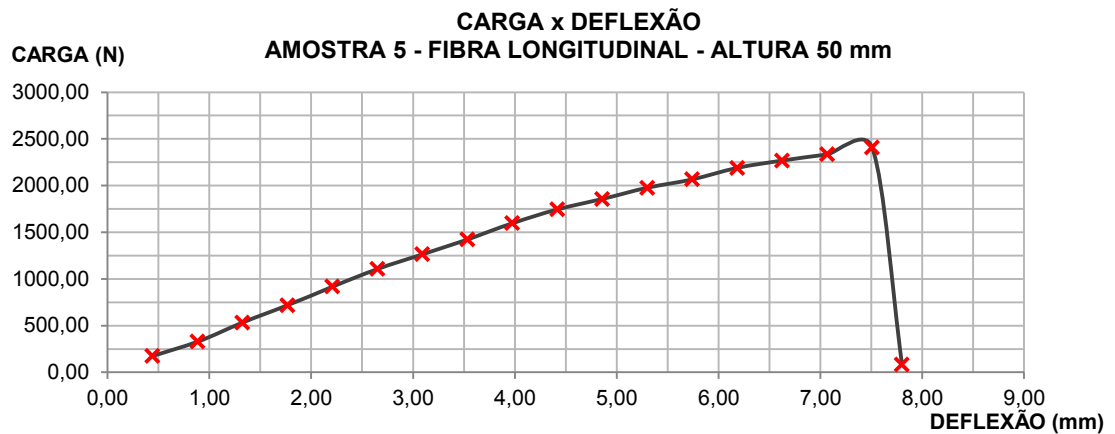
## VIGA EM ESCALA REDUZIDA **04**

GRUPO	FL - H2
$h$	50 mm
$w$	23 mm
$l_1$	400 mm
$F_{m\acute{a}x}$	2818,26 N
$F_{10\%}$	281,83 N
$F_{40\%}$	1127,31 N
$d_{m\acute{a}x}$	7,950 mm
$d_{10\%}$	0,766 mm
$d_{40\%}$	2,829 mm
$\alpha_{shear}$	1,300
$\lambda_{rel,m}$	0,938
$\bar{\epsilon}$	5,29 %
$\bar{\epsilon}'$	33,97 %
$\sigma_{m,0,cr}$	29,325 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{0,rup}$	29,408 N/mm <sup>2</sup>



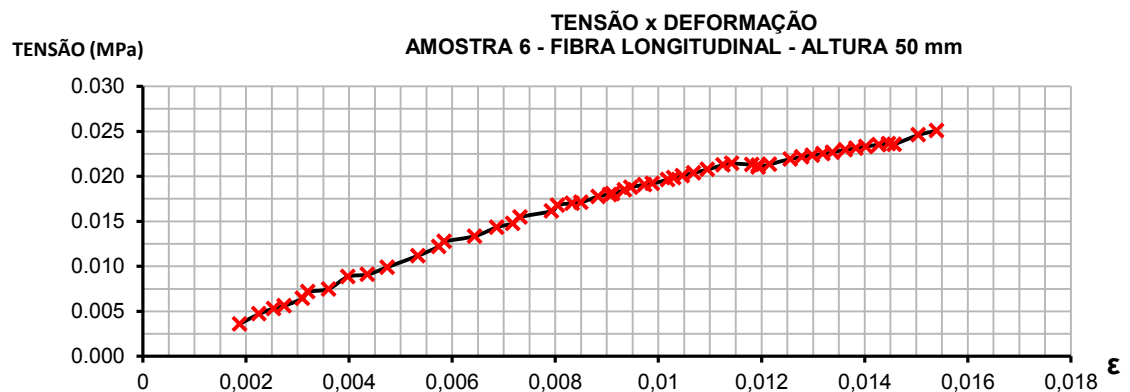
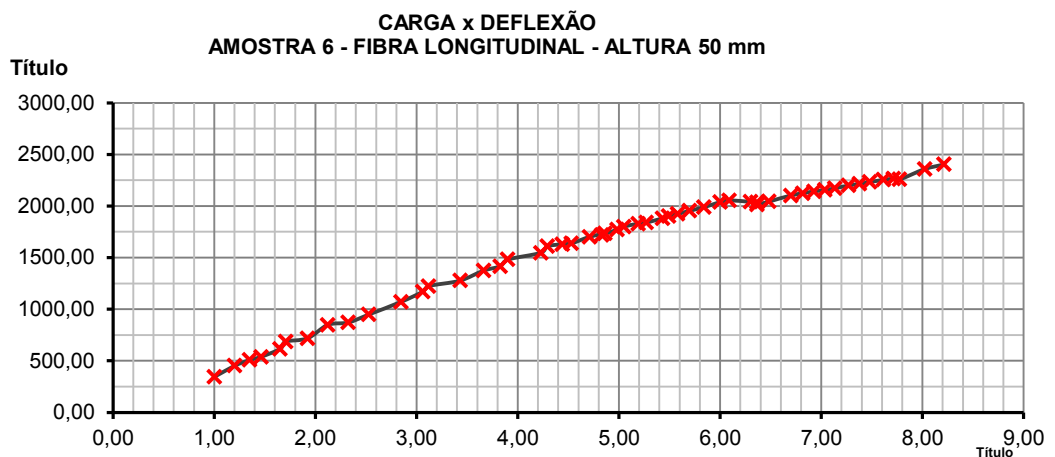
## VIGA EM ESCALA REDUZIDA **05**

GRUPO	FL - H2
$h$	50 mm
$w$	23 mm
$l_1$	400 mm
$F_{m\acute{a}x}$	2406,61 N
$F_{10\%}$	240,66 N
$F_{40\%}$	962,64 N
$d_{m\acute{a}x}$	7,508 mm
$d_{10\%}$	0,635 mm
$d_{40\%}$	2,314 mm
$\alpha_{shear}$	1,300
$\lambda_{rel,m}$	0,938
$\bar{\epsilon}$	12,39 %
$\bar{\epsilon}'$	37,11 %
$\sigma_{m,0,cr}$	29,325 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{0,rup}$	25,112 N/mm <sup>2</sup>



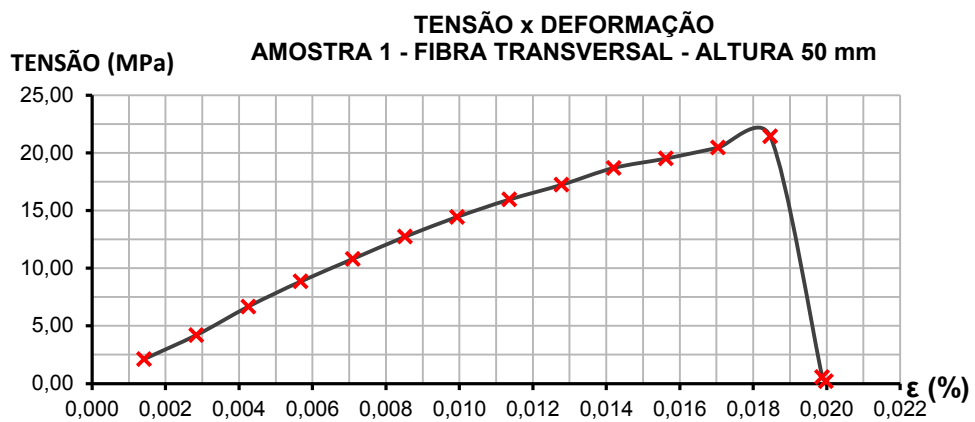
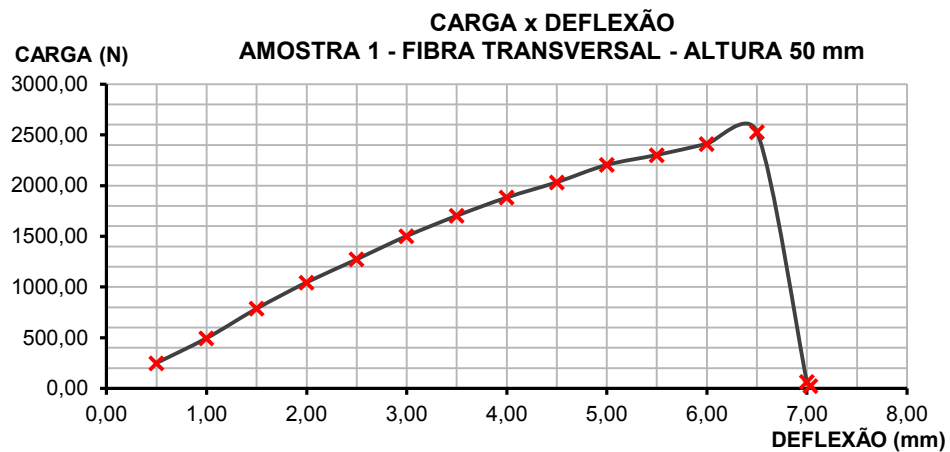
## VIGA EM ESCALA REDUZIDA **06**

GRUPO	FL - H2	
$h$	50	mm
$w$	23	mm
$l_1$	400	mm
$F_{m\acute{a}x}$	2404,00	N
$F_{10\%}$	360,60	N
$F_{40\%}$	1081,80	N
$d_{m\acute{a}x}$	8,212	mm
$d_{10\%}$	1,032	mm
$d_{40\%}$	2,871	mm
$\alpha_{shear}$	0,190	
$\lambda_{rel,m}$	0,938	
$\bar{\epsilon}$	42,83%	%
$\bar{\epsilon}'$	25,67%	%
$\sigma_{m,0,cr}$	29,325	N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{0,rup}$	25,085	N/mm <sup>2</sup>



## VIGA EM ESCALA REDUZIDA **01**

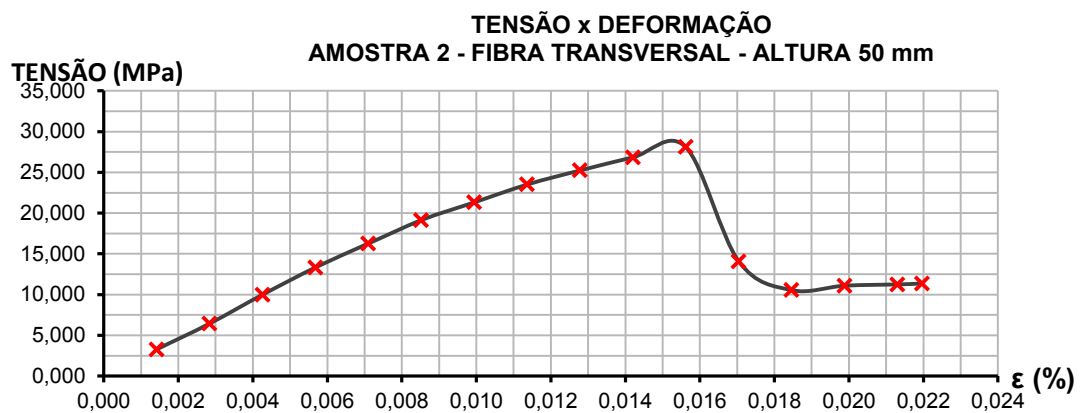
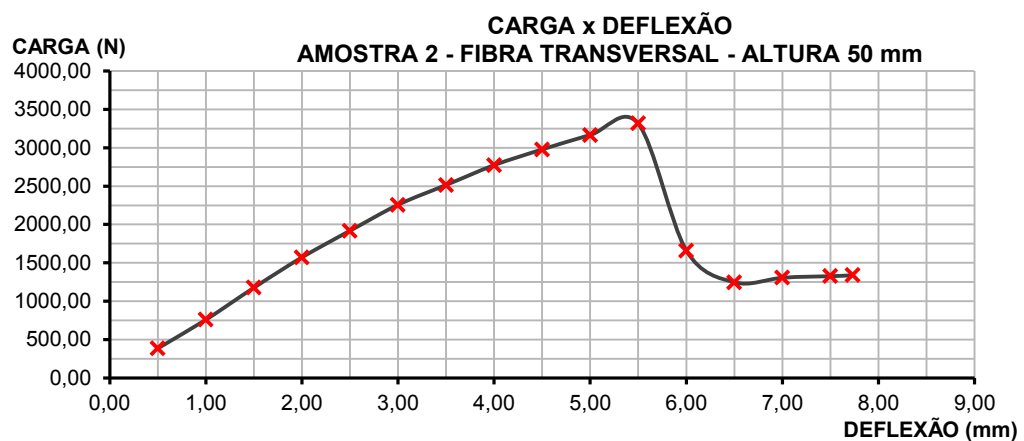
GRUPO	FT - H2
$h$	50 mm
$w$	23 mm
$l_1$	325 mm
$F_{m\acute{a}x}$	2527,25 N
$F_{10\%}$	278,00 N
$F_{40\%}$	1036,17 N
$d_{m\acute{a}x}$	6,500 mm
$d_{10\%}$	0,557 mm
$d_{40\%}$	1,985 mm
$\alpha_{shear}$	1,454
$\lambda_{rel,m}$	0,836
$\bar{\epsilon}$	31,95 %
$\bar{\epsilon}'$	7,96 %
$\sigma_{m,90,cr}$	36,092 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{90,rup}$	21,427 N/mm <sup>2</sup>





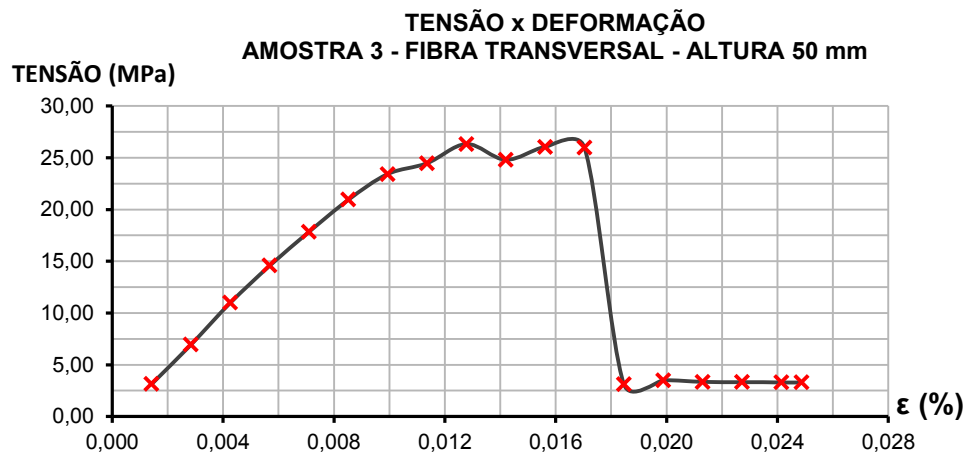
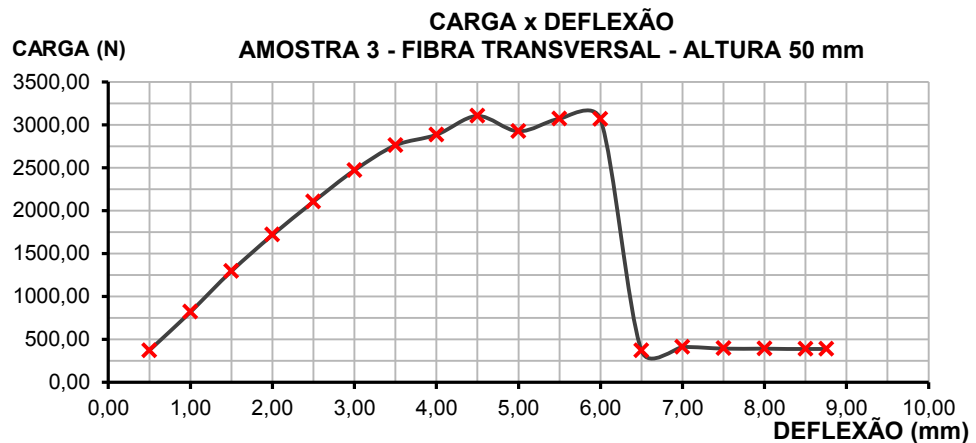
## VIGA EM ESCALA REDUZIDA **02**

GRUPO	FT - H2
$h$	50 mm
$w$	23 mm
$l_1$	325 mm
$F_{m\acute{a}x}$	3316,21 N
$F_{10\%}$	397,95 N
$F_{40\%}$	1392,81 N
$d_{m\acute{a}x}$	5,500 mm
$d_{10\%}$	0,517 mm
$d_{40\%}$	1,774 mm
$\alpha_{shear}$	1,454
$\lambda_{rel,m}$	0,836
$\bar{\epsilon}$	8,95 %
$\bar{\epsilon}'$	51,78 %
$\sigma_{m,90,cr}$	36,092 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{90,rup}$	28,116 N/mm <sup>2</sup>



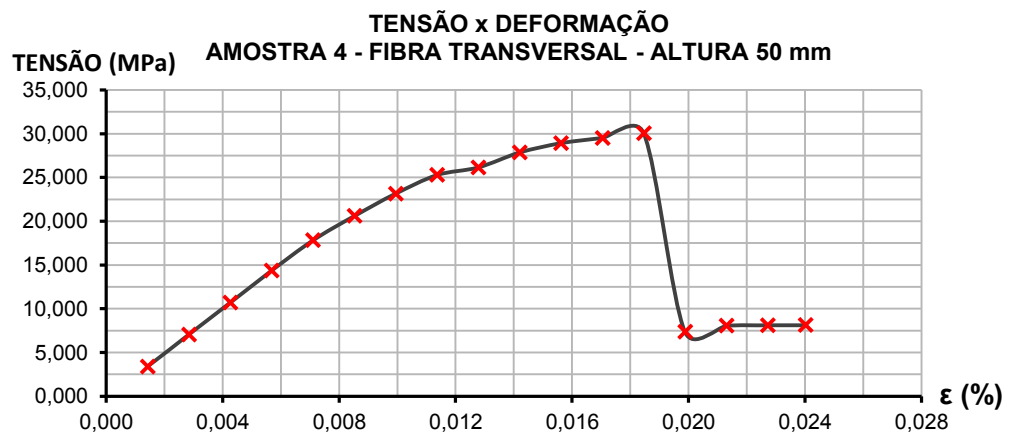
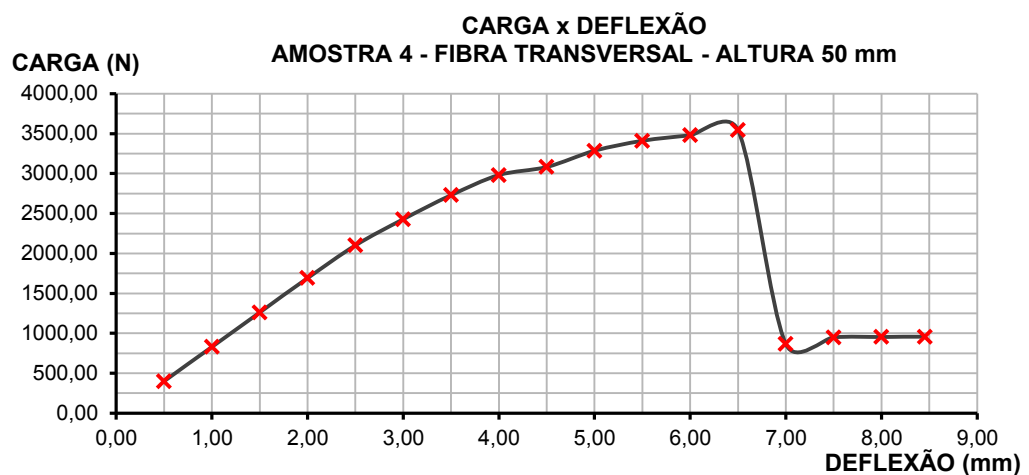
## VIGA EM ESCALA REDUZIDA **03**

GRUPO	FT - H2
$h$	50 mm
$w$	23 mm
$l_1$	325 mm
$F_{m\acute{a}x}$	3104,53 N
$F_{10\%}$	372,54 N
$F_{40\%}$	1303,90 N
$d_{m\acute{a}x}$	4,500 mm
$d_{10\%}$	0,503 mm
$d_{40\%}$	1,509 mm
$\alpha_{shear}$	1,454
$\lambda_{rel,m}$	0,836
$\bar{\epsilon}$	15,04 %
$\bar{\epsilon}'$	67,28 %
$\sigma_{m,90,cr}$	36,092 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{90,rup}$	26,321 N/mm <sup>2</sup>



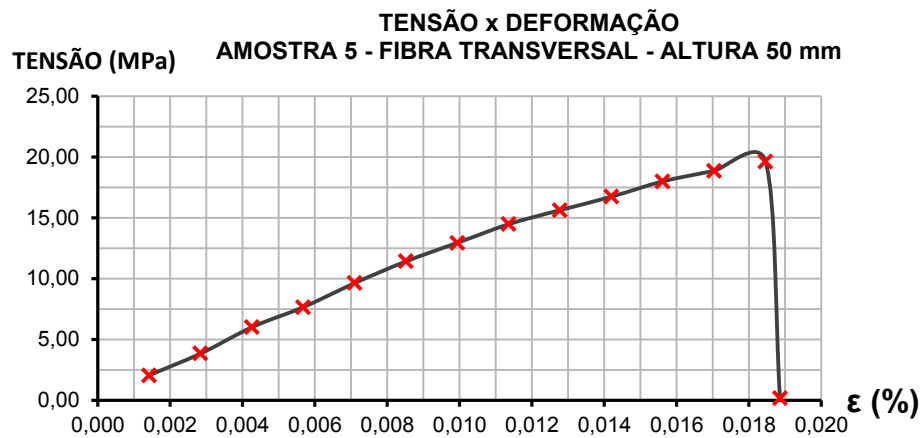
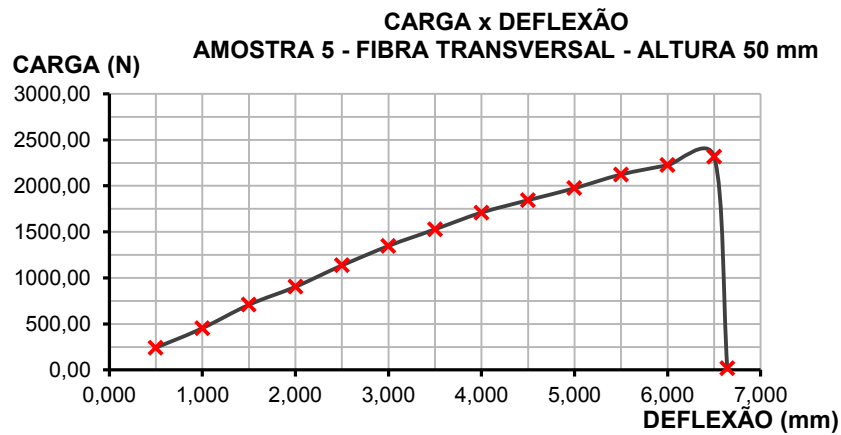
## VIGA EM ESCALA REDUZIDA 04

GRUPO	FT - H2
$h$	50 mm
$w$	23 mm
$l_1$	325 mm
$F_{m\acute{a}x}$	3543,45 N
$F_{10\%}$	425,21 N
$F_{40\%}$	1488,25 N
$d_{m\acute{a}x}$	6,500 mm
$d_{10\%}$	0,530 mm
$d_{40\%}$	1,764 mm
$\alpha_{shear}$	1,454
$\lambda_{rel,m}$	0,836
$\bar{\epsilon}$	14,81 %
$\bar{\epsilon}'$	55,13 %
$\sigma_{m,90,cr}$	36,092 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{90,rup}$	30,042 N/mm <sup>2</sup>



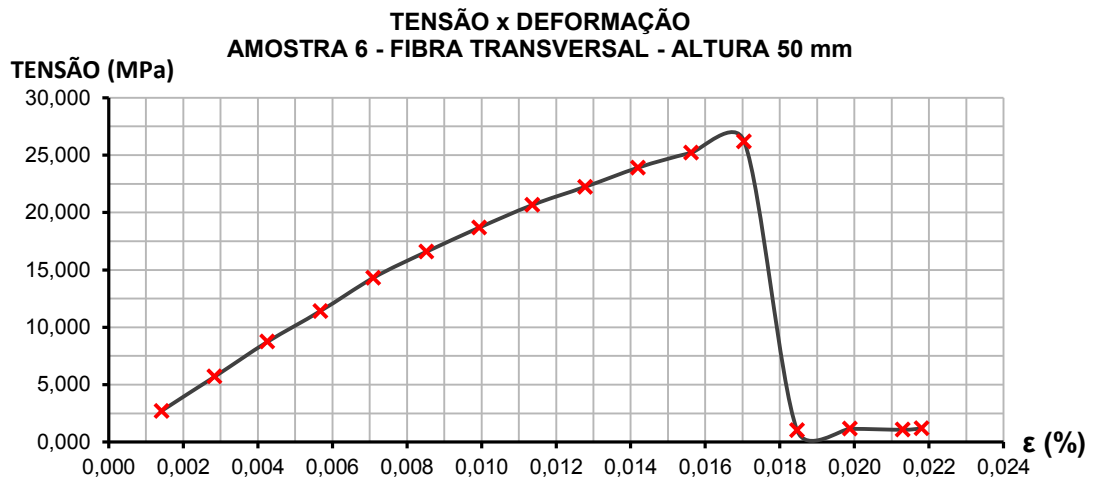
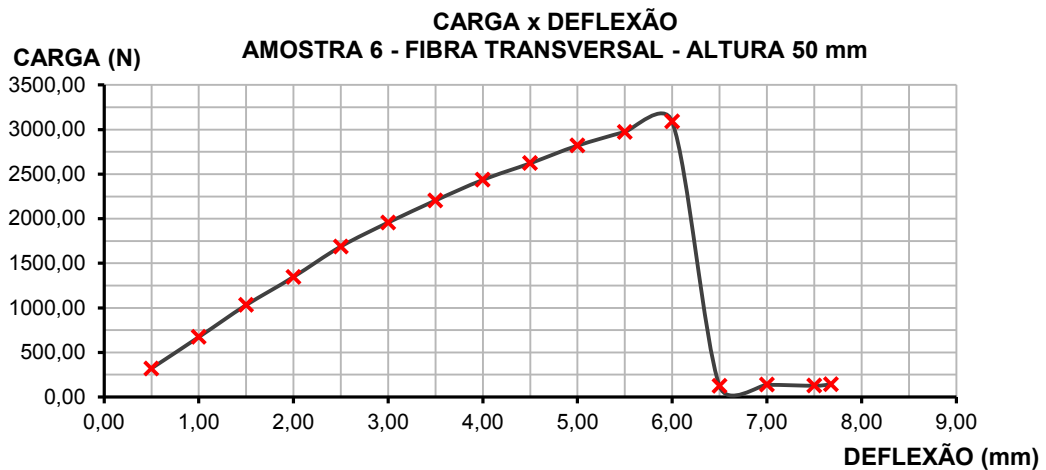
## VIGA EM ESCALA REDUZIDA **05**

GRUPO	FT – H2
$h$	50 mm
$w$	23 mm
$l_1$	400 mm
$F_{m\acute{a}x}$	2315,83 N
$F_{10\%}$	254,74 N
$F_{40\%}$	949,49 N
$d_{m\acute{a}x}$	6,500 mm
$d_{10\%}$	0,532 mm
$d_{40\%}$	2,101 mm
$\alpha_{shear}$	1,300
$\lambda_{rel,m}$	0,836
$\bar{\epsilon}$	15,70 %
$\bar{\epsilon}'$	49,64 %
$\sigma_{m,90,cr}$	29,325 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{90,rup}$	19,634 N/mm <sup>2</sup>



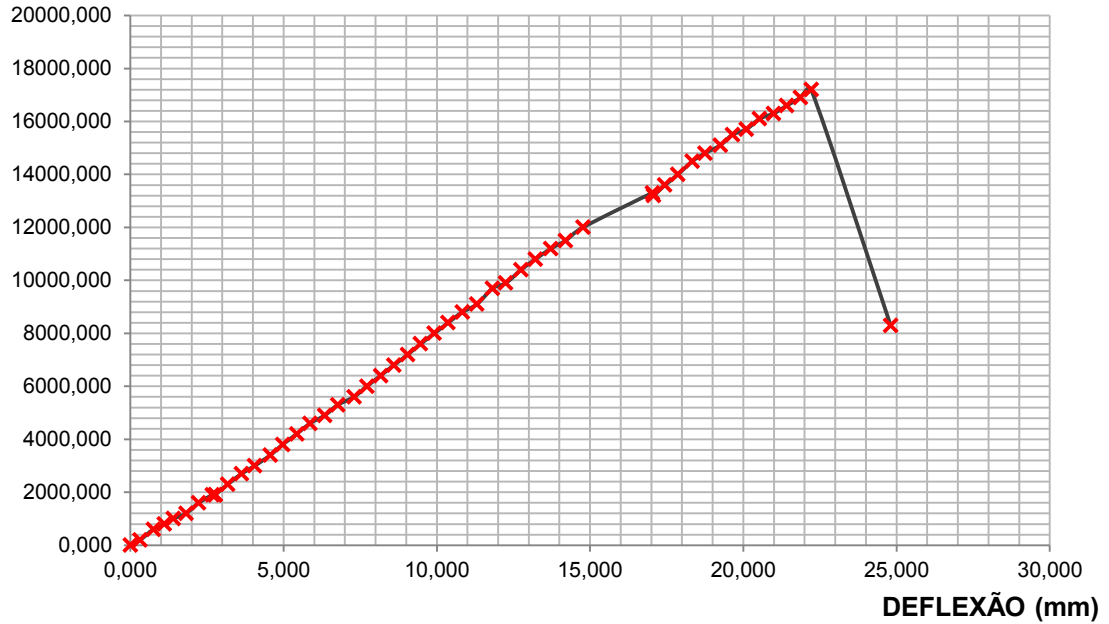
## VIGA EM ESCALA REDUZIDA **06**

GRUPO	FT – H2
$h$	50 mm
$w$	23 mm
$l_1$	325 mm
$F_{m\acute{a}x}$	3088,82 N
$F_{10\%}$	339,77 N
$F_{40\%}$	1266,42 N
$d_{m\acute{a}x}$	6,000 mm
$d_{10\%}$	0,528 mm
$d_{40\%}$	1,875 mm
$\alpha_{shear}$	1,454
$\lambda_{rel,m}$	0,836
$\bar{\epsilon}$	10,23 %
$\bar{\epsilon}'$	30,57 %
$\sigma_{m,90,cr}$	36,092 N/mm <sup>2</sup>
$\sigma_{90,rup}$	26,188 N/mm <sup>2</sup>



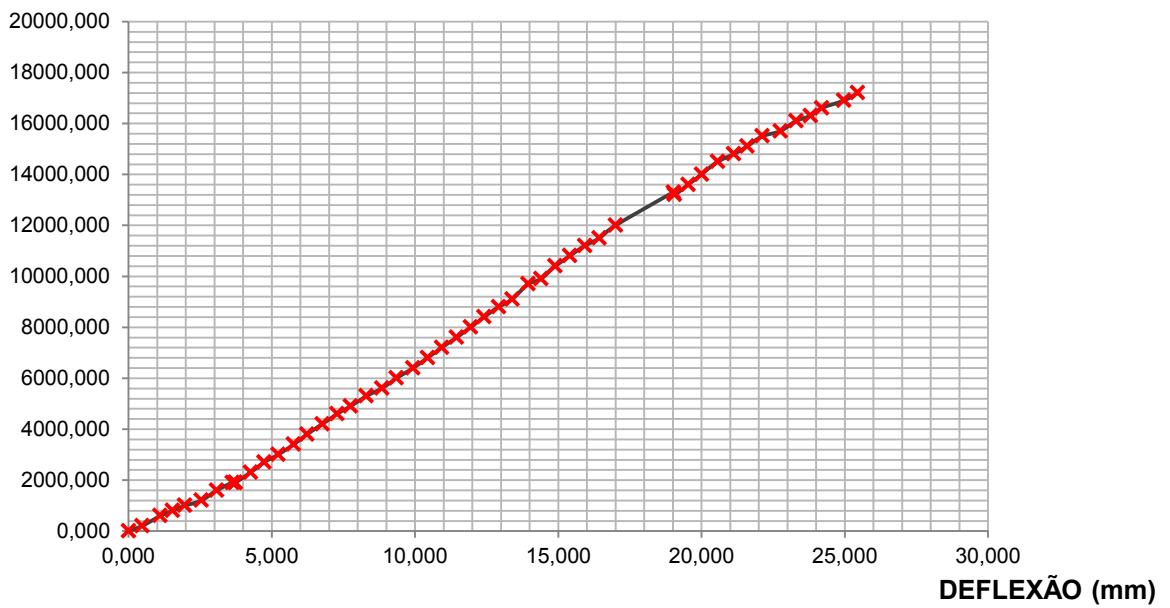
**TRANSD. 1 - CARGA x DEFLEXÃO  
VIGA EM ESCALA REAL**

**CARGA (N)**

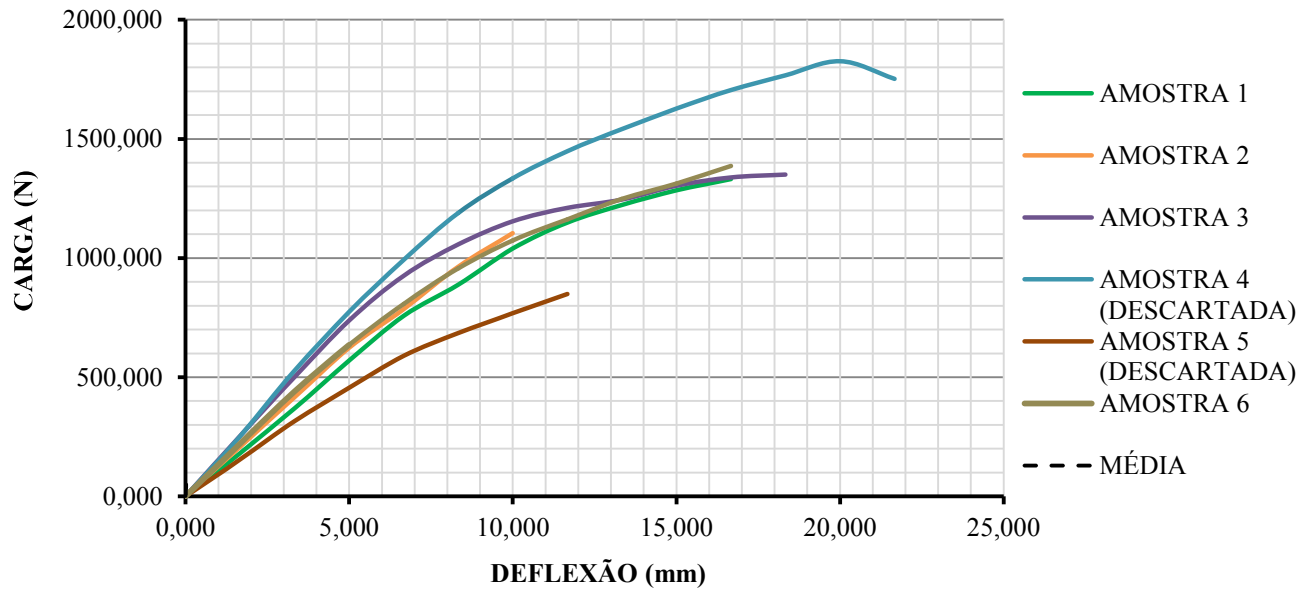


**TRANSD. 2 - CARGA x DEFLEXÃO  
VIGA EM ESCALA REAL**

**CARGA (N)**



**CARGA x DEFLEXÃO**  
**FIBRA LONGITUDINAL - ALTURA 23 mm**



**CARGA x DEFLEXÃO**  
**FIBRA TRANSVERSAL - ALTURA 23 mm**

