

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**NAGIAN MATIELLO  
SAMARA NESPOLO**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DAS LIGAÇÕES DE PEÇAS DE  
MADEIRA COM CHAPAS DE DENTES ESTAMPADOS, PARA  
UTILIZAÇÃO EM TESOURAS LEVES COM MADEIRA DE  
REFLORESTAMENTO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO  
2015**

NAGIAN MATIELLO  
SAMARA NESPOLO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DAS LIGAÇÕES DE PEÇAS DE  
MADEIRA COM CHAPAS DE DENTES ESTAMPADOS, PARA  
UTILIZAÇÃO EM TESOURAS LEVES COM MADEIRA DE  
REFLORESTAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para a  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil pela Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná, Campus  
Pato Branco.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Lacerda Dias

PATO BRANCO  
2015

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **ESTUDO DO COMPORTAMENTO DAS LIGAÇÕES DE PEÇAS DE MADEIRA COM CHAPAS DE DENTES ESTAMPADOS, PARA UTILIZAÇÃO EM TESOURAS LEVES COM MADEIRA DE REFLORESTAMENTO**

**SAMARA NESPOLO**

**e**

**NAGIAN MATIELLO**

No dia 19 de novembro de 2015, às 13h00min, na Sala de Treinamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, este trabalho de conclusão de curso foi julgado e, após arguição pelos membros da Comissão Examinadora abaixo identificados, foi aprovado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, conforme Ata de Defesa Pública nº30-TCC/2015.

Orientador: Prof. Dr. GUSTAVO LACERDA DIAS (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 1 da Banca: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. HELOIZA PIASSA BENETTI (DACOC/UTFPR-PB)

Membro 2 da Banca: Prof. Dr. WAGNER ALESSANDRO PANSERA (DACOC/UTFPR-PB)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus, por todas as bênçãos proporcionadas e, as nossas famílias, por todo apoio, incentivo e ensinamentos.

Aos professores da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pelos conhecimentos repassados durante a graduação e aos nossos amigos, pelos anos de convivência e experiências compartilhadas.

Agradecemos aos membros da banca examinadora, professora Heloiza Piassa Benetti e professor Wagner Alessandro Pansera, pelas contribuições feitas para melhoria deste trabalho.

Em especial, agradecemos nosso orientador Professor Gustavo Lacerda Dias, pela dedicação, atenção e apoio, essencial para a realização deste trabalho e por ser um profissional exemplar.

Enfim, gostaríamos de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## EPÍGRAFE

“Aquele, pois, que ouve estas minhas palavras e as põe em prática é semelhante a um homem prudente, que edificou sua casa sobre a rocha. Caiu a chuva, vieram as enchentes, sopraram os ventos e investiram contra aquela casa; ela, porém, não caiu, porque estava edificada na rocha.” (Mateus 7:24-25).

## RESUMO

MATIELLO, Nagian; NESPOLO, Samara. **Estudo do Comportamento das Ligações de Peças de Madeira com Chapas de Dentes Estampados, para Utilização em Tesouras Leves com Madeira de Reflorestamento**. 2015. 103 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

Com o custo mais elevado da madeira nativa e sua fonte predatória, sem manejo sustentável, as florestas plantadas, como de *Pinus* e *Eucaliptus*, surgem como alternativa, suprimindo a demanda e, contribuindo para conservação do meio ambiente, gerando menores impactos e promovendo sustentabilidade. Devido ao baixo uso de madeira proveniente de florestas plantadas na construção civil, pode-se sugerir o emprego de novos métodos executivos, como estruturas de cobertura leves, feitas com madeira de reflorestamento e ligações com chapas de dentes estampados (CDE), amplamente usadas em países como Estados Unidos e Canadá. Este trabalho aborda uma revisão bibliográfica sobre madeira de reflorestamento, especialmente o *Pinus*, os tipos de estruturas de coberturas utilizados no Brasil e no sistema de coberturas leves, aspectos da industrialização do sistema de tesouras leves e as características das ligações com chapas de dentes estampados, sendo realizados ensaios laboratoriais das ligações com CDEs com variação do ângulo em relação as fibras da madeira para análise das resistências e mecanismos de ruptura.

**Palavras-chave:** Chapas de dentes estampados. Ligações. Tesouras leves. *Pinus*.

## ABSTRACT

MATIELLO, Nagian; NESPOLO, Samara. **Experimental tests of timber joints with punched metal plates, for light wood trusses using reforested wood.** 2015. 103 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

With the higher cost of native wood and its predatory source without sustainable management, wood from planted forests as *Pinus* and *Eucalyptus*, emerge as an alternative to supply the demand and contributing to environmental conservation by generating less impact and promoting sustainability. Due to the low use of wood from planted forests in civil construction, it may suggest the use of new executive methods, such as lightweight roof trusses made with reforested wood and connections made with punched metal plate fasteners, widely used in countries like the United States and Canada. This study presents a literature review on reforested wood, especially *Pinus*, the types of roofing structures used in Brazil and in the lightweight roof system, the industrialization of lightweight roof trusses system and the characteristics of connections made with punched metal plate fasteners, being performed laboratory tests to evaluate the behavior of punched metal plate fasteners connections when varying the angle between the wood grain direction, obtaining the strength properties of the joints and its failure modes.

**Keyword:** Punched metal plate fasteners. Connections. Lightweight roof trusses. *Pinus*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição dos plantios de Eucaliptos e Pinus no Brasil, 2012 .....	23
Figura 2 – Pinus Elliotti variação Elliotti.....	25
Figura 3 – Partes constituintes da cobertura em telhado .....	28
Figura 4 – Tesoura tipo Howe .....	29
Figura 5 – Sistema de cobertura Wood-Frame .....	31
Figura 6 – (a), (b), (c):Equipamento Cut Saw SP720 – Randek.....	34
Figura 7 – (a): RAM Easy Rider, (b): Digital Laser for House Manufactures .....	35
Figura 8 – (a): Press Head 35 tonne, (b):Clicka Press, (c): Heavy Duty 24”Roller Press .....	36
Figura 9 – Processo industrializado de tesouras leves .....	37
Figura 10 – Auto Eye Truss System SF022 .....	37
Figura 11 – Fixação manual da CDE .....	39
Figura 12 – (a) Fixação com soquete, (b) fixação com auxílio de placa de ferro .....	39
Figura 13 – Exemplo de chapa de dentes estampados .....	40
Figura 14 – Dimensões dos conectores GNA – 80 mais utilizadas .....	41
Figura 15 – Diagrama da sequência de trabalho.....	49
Figura 16 – Corpo de prova para determinação do teor de umidade .....	51
Figura 17 – Corpo de prova para ensaio de compressão .....	53
Figura 18 – Ensaio compressão CP-04.....	54
Figura 19 – Diagrama força x deformação específica da ligação por chapas de dentes estampados.....	55
Figura 20 - (a): Arranjo básico para determinação das resistências na direção $\alpha=0^\circ$ e $\beta=0^\circ$ submetidas à tração, (b): Arranjo básico para determinação das resistências na direção $\alpha=0^\circ$ e $\beta=90^\circ$ submetidas à tração .....	56
Figura 21 – (a) Arranjo básico para ligação com direção $\alpha=0^\circ$ e $\beta=45^\circ$ submetidos a tração, (b) Arranjo básico para ligação com direção $\alpha=0^\circ$ e $\beta=60^\circ$ submetidos a tração, (c) Arranjo básico para ligação com direção $\alpha=0^\circ$ e $\beta=75^\circ$ submetidos a tração .....	57
Figura 22 - Prensagem da chapa metálica no corpo de prova .....	59

Figura 23 - (a): Colocação dos transdutores com uso de braçadeiras,(b): Uso de cantoneira para apoio dos transdutores .....	60
Figura 24 – Diagrama de carregamento para ligações por chapas com dentes estampados.....	61
Figura 25 - Dispositivo de ensaio das ligações com $\beta=0^\circ$ .....	61
Figura 26 - Dispositivo de ensaio das ligações .....	62
Figura 27 - Características das chapas com dentes estampados .....	63
Figura 28 - Ruptura por arrancamento .....	67
Figura 29 - Ruptura por tração normal as fibras da madeira.....	71
Figura 30 - Ruptura por tração normal as fibras da madeira.....	75
Figura 31 - Ruptura com evidências de rompimento concomitante por tração normal às fibras da madeira e por arrancamento da capa .....	78
Figura 32 – (a): Ruptura com evidências de rompimento concomitante por tração normal às fibras da madeira e por arrancamento da chapa; (b): arrancamento.....	82
Figura 33 – Esquema de tesoura leve tipo Howe .....	89

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Tendência de uso da madeira certificada na construção civil .....	19
Gráfico 2 – Destinos da produção madeireira amazônica certificada.....	19
Gráfico 3 – Distribuição cadeia de custódia – Brasil .....	20
Gráfico 4 – Perfil de consumo da madeira na construção civil .....	20
Gráfico 5 - Distribuição da área de plantios florestais no Brasil por gênero e área de plantios florestais de Eucaliptos e Pinus no Brasil, 2011-2012 .....	21
Gráfico 6 – Distribuição proporcional do consumo de madeira de florestas plantadas e do destino da produção – 2012 .....	22
Gráfico 7 – Histórico da produção e consumo de madeira serrada no Brasil, 2002 – 2012 .....	22
Gráfico 8- Força x Deformação dos 6 corpos de prova da ligação $\beta=0^\circ$ .....	67
Gráfico 9 - Força x Deformação com reta secante a 2‰ do CP-01 .....	68
Gráfico 10 - Força x Deformação dos 6 corpos de prova da ligação $\beta=90^\circ$ .....	71
Gráfico 11 - Força x Deformação com reta secante a 2‰ do CP-04 .....	72
Gráfico 12 - Força x Deformação dos 6 corpos de prova da ligação $\beta=75^\circ$ .....	74
Gráfico 13 - Força x Deformação com reta secante a 2‰ do CP-05 .....	76
Gráfico 14 - Força x Deformação dos 6 corpos de prova da ligação $\beta=60^\circ$ .....	78
Gráfico 15 - Força x Deformação com reta secante a 2‰ do CP-01 .....	79
Gráfico 16 - Força x Deformação dos 6 corpos de prova da ligação $\beta=45^\circ$ .....	81
Gráfico 17 - Força x Deformação com reta secante a 2‰ do CP-05 .....	83
Gráfico 18 – Comparativo das médias das resistências de ruptura .....	86
Gráfico 19 – Comparativo das médias das resistências corrigidas à umidade padrão de 12% .....	87
Gráfico 20 - Força x Deformação com reta secante a 2‰ do CP-05 ( $\beta=75^\circ$ ) e do CP-06 ( $\beta=60^\circ$ ) .....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Plantios florestais com Eucálipptos e Pinus nos estados do Brasil, 2006 – 2012 .....	23
Tabela 2 – Dimensões comerciais dos CDEs comercializados pela GANG-NAIL Brasil .....	41
Tabela 3 – Dimensões comerciais das CDEs ofertadas pela ITW industry .....	42
Tabela 4 – Características mecânicas do aço .....	43
Tabela 5 – Tensões Admissíveis para Madeira Verde .....	46
Tabela 6 - Distribuição das amostras nos corpos de prova.....	58
Tabela 7 – Teor de umidade .....	64
Tabela 8 – Densidade básica e dimensões dos corpos de prova .....	65
Tabela 9 – Resistência a compressão paralela às fibras .....	66
Tabela 10 - Resistência de ruptura e resistência respectiva a deformação de 2‰ da ligação $\beta=0^\circ$ .....	68
Tabela 11 - Resistência convencional e resistência corrigida da ligação $\beta=0^\circ$ .....	69
Tabela 12 – Resistência e tensão de arrancamento por dente .....	70
Tabela 13 – Resistência de ruptura e resistência respectiva a deformação de 2‰ da ligação $\beta=90^\circ$ .....	73
Tabela 14 - Resistência convencional e resistência corrigida da ligação $\beta=90^\circ$ .....	73
Tabela 15 – Resistência de ruptura e resistência respectiva a deformação de 2‰ da ligação $\beta=75^\circ$ .....	76
Tabela 16 - Resistência convencional e resistência corrigida da ligação $\beta=75^\circ$ .....	77
Tabela 17 - Resistência de ruptura e resistência respectiva a deformação de 2‰ da ligação $\beta=60^\circ$ .....	79
Tabela 18 – Resistência convencional e resistência corrigida da ligação $\beta=60^\circ$ .....	80
Tabela 19 - Resistência de ruptura e resistência respectiva a deformação de 2‰ da ligação $\beta=45^\circ$ .....	83
Tabela 20 – Resistência convencional e resistência corrigida da ligação $\beta=45^\circ$ .....	84
Tabela 21 – Resumo dos ensaios das ligações .....	85
Tabela 22 – Simplificação dos resultados .....	89
Tabela 23 – Esforços críticos solicitantes nos elementos da tesoura .....	90

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1 Objetivos Gerais .....	16
1.1.2 Objetivos Específicos.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	16
<b>2 MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL</b> .....	<b>18</b>
2.1 TENDÊNCIA À CERTIFICAÇÃO .....	18
2.1.1 Madeira de Reflorestamento.....	20
2.1.1.1 Pinus.....	24
2.2 COBERTURAS EM MADEIRA .....	27
2.2.1 Sistema Convencional .....	27
2.2.1.1 Tesouras.....	29
2.2.1.2 Tesouras leves .....	30
2.3 INDUSTRIALIZAÇÃO .....	33
2.4 CHAPAS DE DENTES ESTAMPADOS.....	40
2.4.1 Características .....	41
2.4.2 GNA 80 – Conector Estrutural para Fabricação de Treliças .....	43
2.4.3 Ligações com CDE .....	44
2.4.4 Dimensionamento das Chapas de Dentes Estampados.....	45
2.4.5 Normatização Internacional .....	47
<b>3 MÉTODO DO TRABALHO</b> .....	<b>48</b>
3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS .....	49
3.2 Ensaios de caracterização das propriedades da madeira .....	50
3.2.1 Amostragem.....	50
3.2.2 Umidade .....	50
3.2.3 Densidade.....	51
3.2.4 Ensaio de Resistência à Compressão Paralela às Fibras .....	52
3.2.4.1 Definições e procedimentos para determinação das resistências .....	52
3.2.4.2 Amostras .....	53
3.2.4.3 Procedimentos.....	54
3.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DAS LIGAÇÕES COM CHAPAS DE DENTES ESTAMPADOS .....	54
3.3.1 Definições .....	54
3.3.2 Amostras.....	55
3.3.3 Procedimentos de Confecção dos Corpos de Prova .....	58
3.3.4 Procedimento do Ensaio da Ligação .....	60
3.3.5 Procedimento para Determinação das Resistências Convencionais da Ligação .....	62
<b>4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>64</b>
4.1 ENSAIO DE UMIDADE .....	64
4.2 ENSAIO DE DENSIDADE.....	64
4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS.....	65
4.4 ENSAIO DE TRAÇÃO NA LIGAÇÃO COM $\beta = 0^\circ$ .....	66
4.5 ENSAIO DE TRAÇÃO NA LIGAÇÃO COM $\beta = 90^\circ$ .....	70
4.6 ENSAIO DE TRAÇÃO NA LIGAÇÃO COM $\beta = 75^\circ$ .....	74

4.7 ENSAIO DE TRAÇÃO NA LIGAÇÃO COM $\beta = 60^\circ$ .....	77
4.8 ENSAIO DE TRAÇÃO NA LIGAÇÃO COM $\beta=45^\circ$ .....	80
4.9 ANÁLISE COMPARATIVA DOS ENSAIOS .....	84
4.10 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM OS ESFORÇOS NUMA TESOURA LEVE EM MADEIRA .....	89
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>92</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>94</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>99</b>
APÊNDICE A – GRÁFICOS FORÇA X DEFORMAÇÃO DAS LIGAÇÕES $\beta=0^\circ$ ....	100
APÊNDICE B – GRÁFICOS FORÇA X DEFORMAÇÃO DAS LIGAÇÕES $\beta=90^\circ$ ..	101
APÊNDICE C – GRÁFICOS FORÇA X DEFORMAÇÃO DAS LIGAÇÕES $\beta=75^\circ$ ..	102
APÊNDICE D – GRÁFICOS FORÇA X DEFORMAÇÃO DAS LIGAÇÕES $\beta=60^\circ$ ..	103
APÊNDICE E – GRÁFICOS FORÇA X DEFORMAÇÃO DAS LIGAÇÕES $\beta=45^\circ$ ..	104
APÊNDICE F – TABELA DE COMBINAÇÕES DOS ESFORÇOS PARA TESOURA LEVE .....	105

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira é um dos materiais mais antigos empregados na construção civil. Dentre as diversas aplicações, na forma de madeira maciça ou como produtos derivados da madeira, ela pode ser empregada como material estrutural, como em coberturas ou material de acabamento.

Em nosso país, se localiza a maior floresta tropical do mundo, a Floresta Amazônica, porém, que está sendo afetada pelo intenso desmatamento devido à exploração desordenada da madeira.

De acordo com HAMÚ (pg. 05, 2009), “manter em pé a floresta amazônica é essencial não só para que a atividade empresarial do setor madeireiro seja sustentável [...], mas também para assegurar padrões mínimos de qualidade de vida para os brasileiros.” Além disso, outros fatores de relevância sofrem interferência direta, como a preservação das nascentes e as mudanças climáticas.

No Brasil, atualmente, além disso, tem-se uma grande área de florestas plantadas e de espécies diversas, sendo principalmente *Pinus* e *Eucaliptus*, atuando como uma fonte alternativa de madeira para o país.

Neste contexto, as florestas plantadas têm papel fundamental na conservação do meio ambiente, promovendo sustentabilidade e gerando menores impactos tanto ambientais como sociais. Dentre as madeiras de reflorestamento, destaca-se o *Pinus*, árvore originária de regiões árticas e sub-árticas da Europa, que teve os primeiros plantios comerciais no Brasil na década de 50 nas regiões Sul e Sudeste, devido a melhor adaptação climática (APFP, 2015).

Hoje, a madeira de *Pinus* surge como uma forte alternativa para o atendimento da demanda de madeira serrada na construção civil, principalmente na região Sul e Sudeste, que pela falta de florestas nativas, possui como fonte de abastecimento as florestas localizadas na região Centro-Oeste e Norte (JÚNIOR, 2002).

No Brasil, o uso da madeira de *Pinus* na construção civil é muito pequeno, principalmente pela falta do conhecimento de engenheiros, arquitetos e carpinteiros em relação a elaboração técnica dos projetos de coberturas (BARROS, 1989 *apud* BARALDI, 1996). Diferentemente de países norte-americanos e europeus, que pela necessidade pós-guerra de reconstrução rápida e econômica, desenvolveram a

indústria da madeira e iniciaram o uso da madeira serrada de diferentes espécies de coníferas em estruturas de coberturas.

Nesses países, ao longo do tempo a indústria da madeira se desenvolveu bastante e buscou formas mais modernas de produção, culminando em processos de industrialização do setor, incluindo a pré-fabricação de elementos de cobertura em madeira, propiciando agilidade e maior controle de qualidade nas obras.

A industrialização das coberturas de madeira, no decorrer da evolução, exige qualidade dos produtos, flexibilidade e rapidez de execução, com isso surgiu em 1954 nos Estados Unidos pela *Automated Building Components, Inc. (ABC)* os conectores de dentes estampados, fabricados em aço zincado à quente garantindo a rigidez nas ligações sem o enfraquecimento da madeira. Esse sistema de ligação permite flexibilidade na geometria das estruturas, promovendo versatilidade e reduzindo custos, quando comparado ao método convencional, apresentando também eficiência e rapidez de montagem, otimizando tempo, espaço e eliminando perda de material (GANG-NAIL, 2015).

Como uma sugestão para o uso da madeira na construção civil, para que esta aconteça de maneira mais eficiente e conscientizada, uma opção a se considerar são estimular novos métodos executivos, como o emprego de estruturas leves de cobertura, feitas com madeiras leves provenientes de florestas plantadas, e com ligações rápidas e eficientes, como as chapas de dentes estampados. Tendo em vista que o Brasil possui a tecnologia e a matéria prima necessária, o presente trabalho busca compreender qual o comportamento e a resistência das ligações de peças de madeira com chapas de dentes estampados quando aplicadas em tesouras leves de madeira de reflorestamento através do estudo do comportamento teórico e de ensaios experimentais das ligações.

Com base no exposto, o trabalho está organizado sendo primeiramente, realizada a apresentação do material a ser utilizado, abordando-se breve histórico, características e vocação para industrialização tanto no âmbito nacional como global e, posteriormente, caracterizando a segunda etapa do trabalho, a realização dos ensaios experimentais com base na NBR 7190 (ASSOSSIAÇÃO..., 1997) com intuito de obter dados sobre o plano de estudo em questão.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivos Gerais

Analisar o comportamento das ligações de peças de madeira com chapas de dentes estampados para utilização em tesouras leves com madeira de reflorestamento.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Abordar a utilização de ligações com chapas de dentes estampados (gangnails) em tesouras leves de madeira de reflorestamento de Pinus;
- Realizar ensaios experimentais das ligações com chapas de dentes estampados;
- Obter a resistência da ligação e analisar os modos de ruptura;
- Abordar a vocação para a industrialização.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Atualmente o mundo se depara com a necessidade de saber utilizar seus recursos de maneira eficaz, a fim de reparar o uso inadequado dos últimos séculos, e implementar um método de desenvolvimento sustentável. Encontra-se no Brasil, a maior floresta tropical do mundo, a Amazônia. Devido sua magnitude, possui grande influência na geração de chuvas que garante o abastecimento de grandes metrópoles brasileiras, que de forma regular e abundante, proporciona a geração de energia e a posição de destaque ao Brasil como um dos maiores produtores de alimento do

mundo, sendo de grande valor para a vida dos brasileiros e para a economia do país (FURTADO, 2009).

Segundo Furtado (2009) a exploração madeireira é uma das atividades que mais contribuem para o desmatamento da floresta, tendo como principal destino desse produto a construção civil, sendo a maior demanda para coberturas.

Apesar de novos sistemas de estruturas serem utilizados atualmente, como estruturas metálicas, o uso de madeira ainda é altamente empregado no Brasil, principalmente em obras horizontais. Com o mercado interno em ascensão exigindo cada vez mais madeira serrada, em contraposição com a falta do material e o controle para preservação de florestas nativas, faz com que o uso da madeira seja mais racionalizado, abrindo caminho para novos sistemas construtivos juntamente com madeiras de reflorestamento, as quais possuem grandes áreas plantadas pelo país, tendo o potencial de abastecer a demanda necessária e preservando a floresta Amazônica.

No Brasil, a madeira reflorestada, principalmente de Pinus e Eucaliptos, não são utilizadas em grande escala estruturalmente devido à falta de conhecimento de suas características estruturais e pelo uso comum de madeiras nativas. Porém, a madeira reflorestada se adapta bem quando aplicada em tesouras leves.

Como observado em países norte-americanos e europeus, a produção de tesouras leves está diretamente associada à industrialização, tendo como alternativa para ligação das peças o emprego de conectores de chapas com dentes estampados (CDEs).

Este trabalho possui a finalidade de trazer novos conhecimentos sobre o comportamento estrutural em estruturas de coberturas leves com uso de CDEs de forma a contribuir para a expansão da utilização do sistema no mercado brasileiro, o que caracteriza a originalidade e importância deste trabalho.

## 2 MADEIRA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Nos últimos anos a construção civil se depara com a dificuldade de encontrar a matéria prima necessária, um exemplo para a situação atual é a falta da madeira nativa nas regiões Sul e Sudeste, que para suprir a necessidade buscam em territórios distantes, principalmente na floresta amazônica, a fonte de matéria prima. Segundo o Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (Imaflora), o Brasil possui aproximadamente 65% do território composto por floresta, correspondendo a 10% da área florestal mundial.

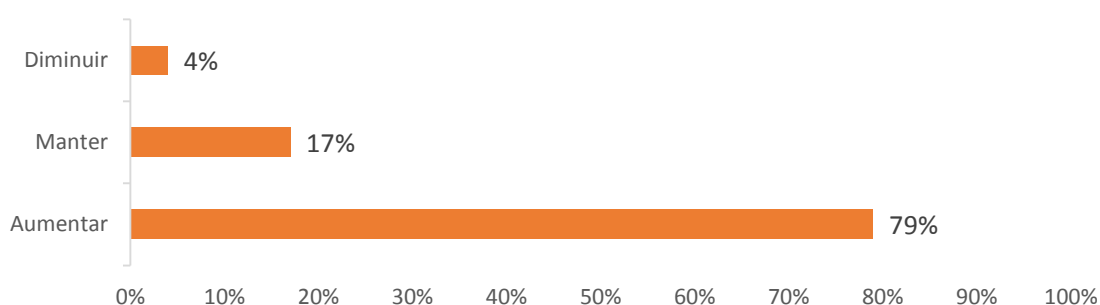
Com uma grandiosa e invejável área de floresta nativa, a despreocupação com o uso e a falta de controle e certificação implicam em uso desordenado, visto que até o ano de 2008 a floresta amazônica teve 720.000 km<sup>2</sup> desmatados. Estima-se que 80% da produção de madeira na floresta amazônica seja não certificada, tendo como principal consumidor a construção civil (FURTADO, 2009). Mudar a concepção do uso desordenado e ilegal, substituindo-o por madeiras certificadas é garantir os recursos naturais fundamentais para o desenvolvimento do país.

### 2.1 TENDÊNCIA À CERTIFICAÇÃO

A mentalidade de mudança no desenvolvimento, com o foco na sustentabilidade, vem se disseminando nas últimas décadas no Brasil, tendo como exemplo outros países. Tal interesse brasileiro pode ser visto dentre os anos de 2004 a 2010, cujo desmatamento teve queda de 75% e devido a acordos voluntários internacionais que assumiram o compromisso da redução de gases do efeito estufa em um terço até o ano de 2020 (ISEAL..., 2013).

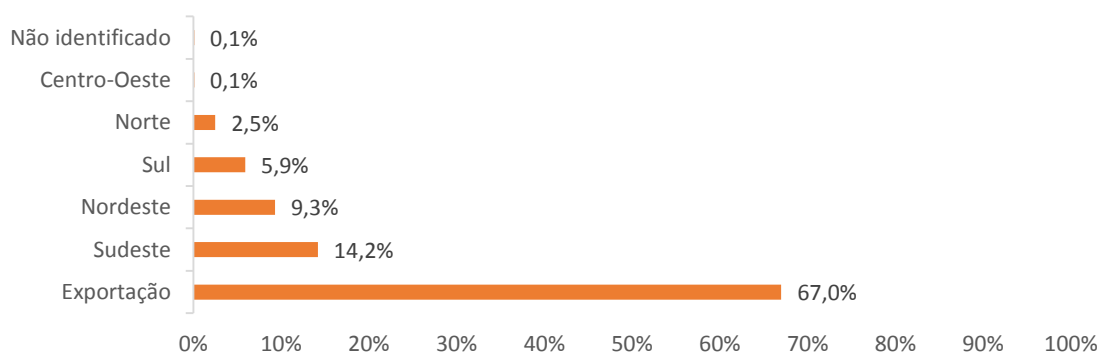
No caso da madeira, a nova mentalidade possui como tendência o uso de produtos certificados, aliados ao desenvolvimento sustentável, trazem a garantia de origem do produto, como a certificação da qualidade e de suas características. Atualmente, a grande maioria das empresas buscam aumentar o uso da madeira certificada, apresentado no Gráfico 1 (ZARBINI, 2013), porém, devido a fatores como

o custo, industrialização e transporte, o comércio interno de madeira nativa ainda se utiliza da madeira ilegal, cabendo destinação da madeira nativa certificada no Brasil à exportação, como pode ser observado no Gráfico 2 (IMAFLORA, 2013).



**Gráfico 1 – Tendência de uso da madeira certificada na construção civil**

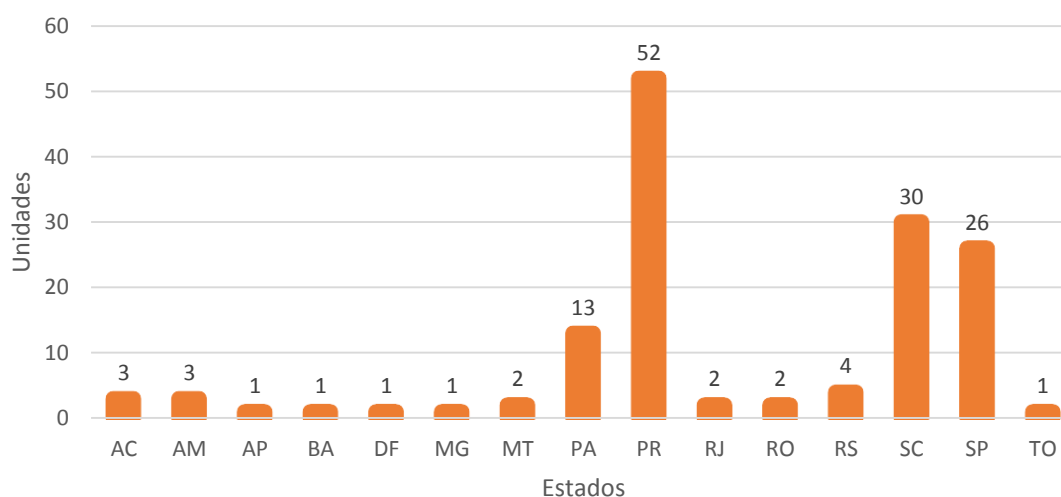
Fonte: Adaptado de FSC (2012) apud Zerbini (2013).



**Gráfico 2 – Destinos da produção madeireira amazônica certificada**

Fonte: Adaptado de Imaflora (2013).

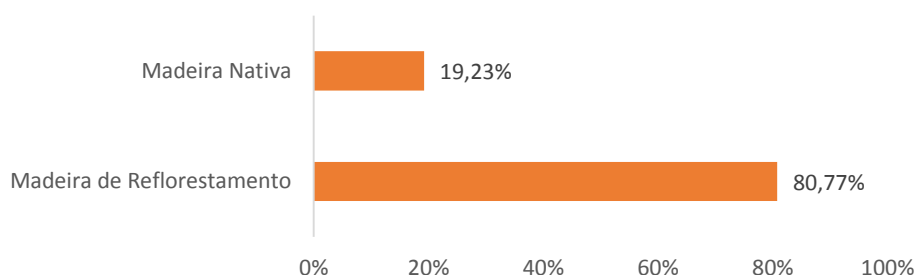
Atualmente os principais sistemas de certificação de madeira no Brasil são a *Forest Stewardship Council* (FSC) e o Programa Brasileiro de Certificação Florestal (Cerflor), esses sistemas possuem como objetivos garantir o manejo adequado das florestas reduzindo impactos e garantindo a regeneração da espécie. Segundo a Imaflora, 77% dos produtos certificados foram madeiras serradas, destinadas a construção civil, dos quais 68% tiveram como destino outros países. Das 1002 empresas certificadas em cadeia de custódia FSC, 142 empresas são de produtos específicos para a construção civil, tendo o Paraná como o principal estado em produtos certificados de madeira (Gráfico 3) (SEBRAE..., 2014).



**Gráfico 3 – Distribuição cadeia de custódia – Brasil**  
**Fonte: Adaptado de Zerbin (2013).**

### 2.1.1 Madeira de Reflorestamento

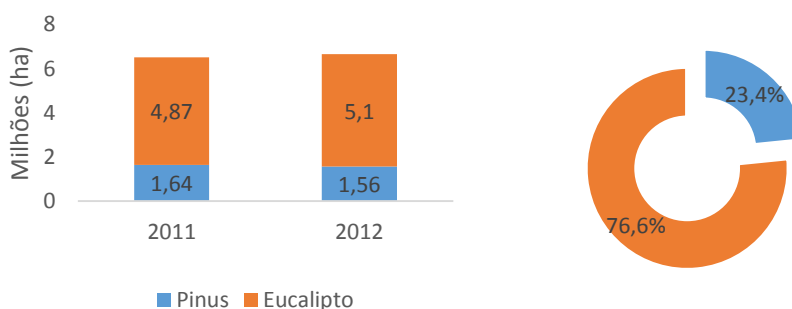
Em países norte-americanos e europeus a madeira de reflorestamento na construção civil é amplamente usada, diferentemente, no Brasil, esse uso está sendo implementado principalmente nas primeiras etapas de uma obra, como nas fundações e fôrmas de estruturas de concreto. O Gráfico 4 apresenta a porcentagem do uso da madeira de reflorestamento pelas construtoras associados ao Sinduscon-SP (AQUISIÇÃO...,2011).



**Gráfico 4 – Perfil de consumo da madeira na construção civil**  
**Fonte: Adaptado de Aquisição responsável de madeira na construção civil (2011).**

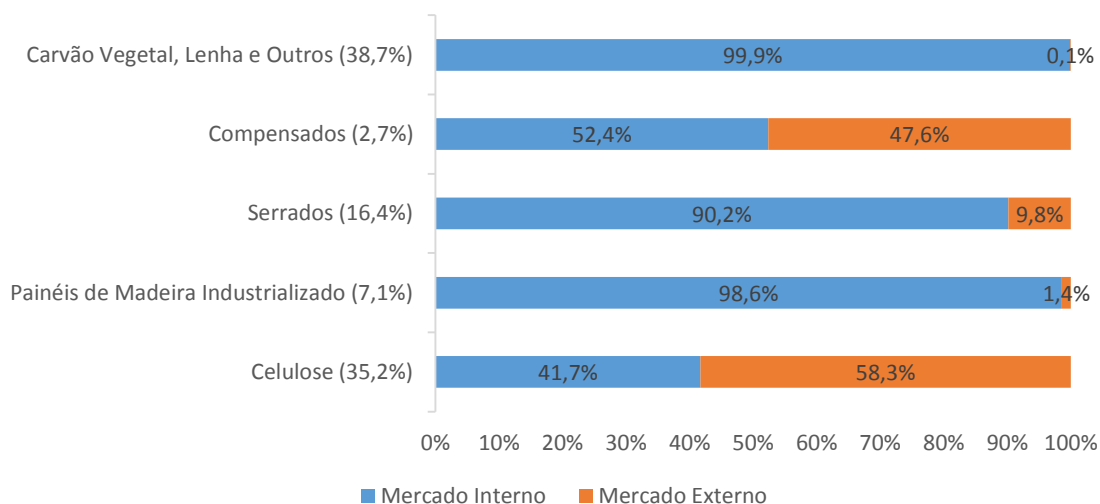
O Gráfico 4 representa a dificuldade das construtoras em usar a madeira nativa na construção civil, principalmente nas regiões Sul e Sudeste onde as florestas nativas estão em pequenas proporções, com isso o uso da madeira de reflorestamento vem se destacando. Entre as principais espécies estão o Pinus e o Eucalipto, que se adaptaram ao clima das regiões Sul e Sudeste e hoje estão em grande proporção nessas regiões e em outras (CALIL, 2002).

No ano de 2012 a área plantada com essas espécies atingiu um total de 6,66 milhões de hectares, distribuídos da seguinte forma, segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2013).



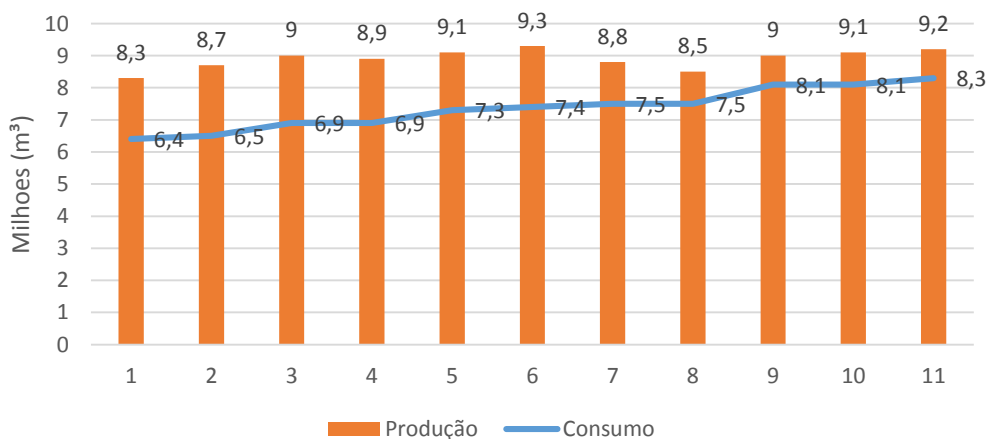
**Gráfico 5 - Distribuição da área de plantios florestais no Brasil por gênero e área de plantios florestais de Eucaliptos e Pinus no Brasil, 2011-2012**  
**Fonte: Adaptado de anuário Abraf (2012), associadas individuais e coletivas Abraf (2012), Pöyry Silviconsult (2013) apud Anuário Abraf (2013).**

Dentre os principais usos dessa madeira de reflorestamento estão a celulose, painéis industrializados, serrados, compensados, carvão vegetal, lenha e outros. Os serrados, nos últimos anos, vêm tendo um consumo ampliado, principalmente pelo crescimento da indústria da construção civil brasileira. O Gráfico 6 demonstra a distribuição do consumo de madeira das florestas plantadas e o Gráfico 7 a produção e o consumo da madeira serrada (ABRAF, 2013).



**Gráfico 6 – Distribuição proporcional do consumo de madeira de florestas plantadas e do destino da produção – 2012**

Fonte: Adaptado de Bracelpa (2012), Abipa (2012), Pöyry Silviconsult, AMS (2013) apud anuário Abraf (2013).



**Gráfico 7 – Histórico da produção e consumo de madeira serrada no Brasil, 2002 – 2012**  
Fonte: Adaptado de Poyry Silviconsult apud anuário Abraf (2013).

O reflorestamento é encontrado na maioria dos estados brasileiros. Devido a adaptação climática, as regiões mais quentes, Centro-Oeste, Nordeste e Sudeste se destacam pelo reflorestamento do Eucalipto, enquanto a região Sul, com clima mais frio e úmido, se destaca com o reflorestamento de Pinus. A proporção desse plantio segundo a ABRAF (2013) está na Figura 1 e a área em hectares plantadas por espécie em cada estado é vista na Tabela 1.

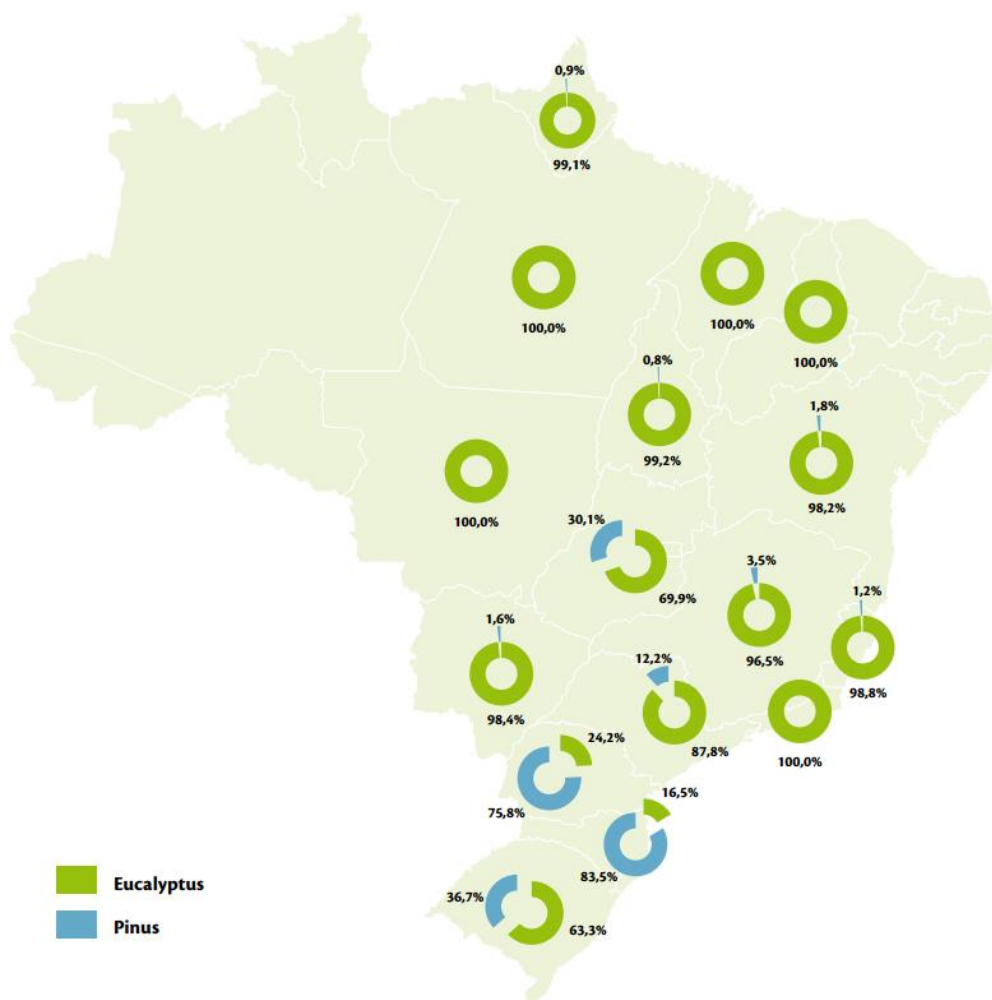


Figura 1 – Distribuição dos plantios de Eucaliptos e Pinus no Brasil, 2012  
 Fonte: Associadas individuais e coletivas da Abraf (2013), Pöyry Silviconsult (2013) apud anuário Abraf (2013).

Tabela 1 – Plantios florestais com Eucaliptos e Pinus nos estados do Brasil, 2006 – 2012 (continua)

UF	Plantios de Eucalyptus (ha)							Plantios de Pinus (ha)						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
MG	1.181.429	1.218.212	1.278.210	1.300.000	1.400.000	1.401.787	1.438.971	146.000	143.395	145.000	140.000	135.310	75.408	52.710
SP	915.841	911.908	1.001.080	1.029.670	1.044.813	1.031.677	1.041.659	214.491	209.621	172.480	167.660	162.005	156.726	144.802
PR	121.908	123.070	142.430	157.920	161.422	188.153	197.835	686.453	701.578	714.890	695.790	686.509	658.707	619.731
BA	540.172	550.127	587.610	628.440	631.464	607.440	605.464	54.820	41.221	35.090	31.040	26.570	21.520	11.230
SC	70.341	74.008	77.440	100.140	102.399	104.686	106.588	530.992	548.037	551.220	550.850	545.592	538.245	539.377
RS	184.245	222.245	277.320	271.980	273.042	280.198	284.701	181.378	182.378	173.160	171.210	168.955	164.806	164.832
MS	119.319	207.687	265.250	290.890	378.195	475.528	587.310	28.500	20.679	18.800	16.870	13.847	11.871	9.825
ES	207.800	208.819	210.410	204.570	203.885	197.512	203.349	4.408	4.093	3.990	3.940	3.546	2.546	2.546
PA	115.806	126.286	136.290	139.720	148.656	151.378	159.657	149	101	10	-	-	-	-
MA	93.285	106.802	111.120	137.360	151.403	165.717	173.324	-	-	-	-	-	-	-
GO	49.637	51.279	56.880	57.940	58.519	59.624	38.081	14.409	13.828	15.200	15.200	12.160	10.760	16.432

**Tabela 1 – Plantios florestais com Eucaliptos e Pinus nos estados do Brasil, 2006 – 2012  
(conclusão)**

UF	Plantios de Eucalyptous (ha)							Plantios de Pinus (ha)						
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
AP	58.473	58.874	63.310	62.880	49.369	50.099	49.506	20.490	9.000	1.620	810	15	445	445
MT	46.146	57.151	58.580	61.530	61.950	58.843	59.980	7	7	10	10	-	-	-
TO	13.901	21.655	31.920	44.310	47.542	65.502	109.000	-	700	850	850	850	850	853
PI	-	-	-	-	37.025	26.493	27.730	-	-	-	-	-	-	-
OUTROS	27.491	31.588	27.580	28.380	4.650	9.314	18.838	4.189	-	-	490	-	-	-
<b>Total</b>	<b>3.745.794</b>	<b>3.969.711</b>	<b>4.183.000</b>	<b>4.515.730</b>	<b>4.754.334</b>	<b>4.873.951</b>	<b>5.101.993</b>	<b>1.886.286</b>	<b>1.874.638</b>	<b>1.832.320</b>	<b>1.794.720</b>	<b>1.755.359</b>	<b>1.641.884</b>	<b>1.562.783</b>

**Fonte: Adaptado de anuário Abraf (2012), Associadas individuais e coletivas da Abraf (2013), Pöyry Silviconsult(2013) apud anuário Abraf (2013).**

Segundo o anuário estatístico da Abraf (2013), os estados que mais se destacaram no plantio de eucalipto foram Minas Gerais com 1.438.971 ha, seguido por São Paulo e Bahia, já o reflorestamento de pinus é em maior número no estado do Paraná com 619.731 ha, seguido de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Estes estados concentram a maior área dos reflorestamentos devido a fatores climáticos e por concentrarem os pólos industriais do país no setor de celulose e papel.

É visto que os estados que possuem a maior dificuldade de encontrar madeira nativa para a construção civil, devido à demanda e a falta desta nessas regiões, são as mesmas que possuem a maior concentração de plantios de reflorestamento, sendo assim, o uso de madeira serrada de Pinus e Eucalipto torna-se uma alternativa para as construtoras.

### 2.1.1.1 Pinus

A espécie de madeira *Pinus Elliotti*, também conhecido como pinheiro ou pinheiro americano (Figura 2), pertence ao grupo das coníferas, é facilmente encontrada nas regiões Sul e Sudeste e é uma alternativa para a construção civil superar a falta da madeira nativa. Introduzida no país em meados do século 70, oriunda de países norte-americanos, se adaptou muito bem ao clima das regiões mais

frias do Brasil, com rápido crescimento trazendo vantagens para o manejo e baixa necessidade de solos ricos, favorecendo o uso em diversas áreas (GLOBAL..., 2015).



Figura 2 – Pinus Elliotti variação Elliotti  
Fonte: Blog Resina de Pinus (2015).

Em países europeus e norte-americanos, a espécie é muito utilizada como peça estrutural, no Brasil esse uso é bem menor, devido à falta de conhecimento dos próprios engenheiros, arquitetos e carpinteiros, a respeito do uso adequado e de suas características (CALIL, 2002).

Como propriedades físicas, possuiu densidade leve, de aproximadamente 480 kg/m<sup>3</sup> a 15% de umidade, característica que permite a confecção de estruturas leves, de fácil manuseio e trabalhabilidade. As propriedades físicas podem ser analisadas de acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 2015):

**Densidade de massa ( $\rho$ ):**

- Aparente a 15% de umidade ( $\rho_{ap,15}$ ) = 480 kg/m<sup>3</sup>
- Básica ( $\rho_{básica}$ ) = 400 kg/m<sup>3</sup>

**Contração:**

- Radial = 3,4%
- Tangencial = 6,3%
- Volumétrica = 10,5%

Atualmente, vários mitos dificultam a introdução da espécie como peça estrutural na construção civil, como por exemplo, a grande trabalhabilidade da

madeira, rachaduras, apodrecimento fácil e baixa resistência, propriedades que tornariam a peça imprópria para o uso. Infelizmente, tais fatos ocorrem pelo uso incorreto da madeira, principalmente o uso de madeira verde, quando o teor de umidade ainda não está em equilíbrio com a umidade do ambiente a qual será aplicada ou pela falta de tratamento específico para a espécie com intuito de combater a ação do meio ambiente e a ação de fatores biológicos (ABIMCI, 2004).

Para o correto uso da espécie é necessário conhecer as propriedades mecânicas do pinus, o IPT, através de ensaios de acordo com a NBR 6230 (1985) obtém os valores médios dessas propriedades, servindo de parâmetro para o dimensionamento da estrutura. A seguir os dados referentes às propriedades mecânicas do *Pinus Ellioti*.

#### **Flexão:**

- Resistência (fM):

Madeira verde: 48,0 MPa

Madeira a 15% de umidade: 69,6 MPa

- Limite de proporcionalidade - Madeira verde: 19,7 MPa
- Módulo de elasticidade - Madeira verde: 6463 MPa

#### **Compressão paralela às fibras:**

- Resistência (fc0):

Madeira verde: 18,5 MPa

Madeira a 15% de umidade: 31,5 MPa

- Coeficiente de influência de umidade: 6,7 %
- Limite de proporcionalidade - Madeira verde: 13,7 MPa
- Módulo de elasticidade - Madeira verde: 8846 MPa

#### **Outras propriedades:**

- Resistência ao impacto na flexão - Madeira a 15% (choque): 14,5
- Cisalhamento - Madeira verde: 5,8 MPa
- Dureza janka paralela - Madeira verde: 1932 N
- Tração normal às fibras - Madeira verde: 3,0 MPa
- Fendilhamento - Madeira verde: 0,4 Mpa

## 2.2 COBERTURAS EM MADEIRA

Segundo Calil e Molina (2010, p. 21), define-se cobertura como:

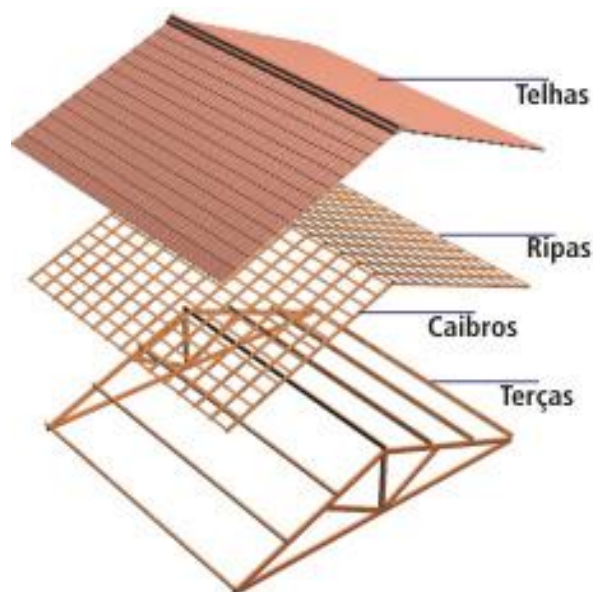
[...] a parte superior da construção composta pelas telhas, estrutura para sustentação das telhas, estrutura principal de apoio, estrutura responsável para manter a estabilidade do conjunto e, em alguns casos, sistema de captação de águas pluviais.

Por ser a parte superior da construção, dedica-se grande atenção a cobertura, estabelecendo-se sua concepção com base nos materiais a serem utilizados e da planta. Têm função de oferecer segurança contra intempéries sem que haja perda de estabilidade estrutural durante sua vida útil, além de apresentar bom desempenho estrutural, térmico e acústico, nível de segurança contra incêndio, funcionalidade e durabilidade (CALIL; MOLINA, 2010).

Segundo Reis e Souza (2007), uma cobertura com telhado é composta por estrutura de apoio, constituída por tesouras, oitões, pontaletes ou vigas e com finalidade de receber e transmitir as cargas verticais na construção, pela trama, composta por terças, caibros e ripas, servindo de suporte para as telhas, pelo telhado, constituído por telhas com materiais e dimensões variáveis, com função principal de vedação e sistemas de captação para drenagem de águas pluviais.

### 2.2.1 Sistema Convencional

A solução para coberturas denominada sistema convencional é o mais utilizado no Brasil, sendo composto por tesouras e trama (VALLE et al., 2008) e pode ser exemplificado na Figura 3.



**Figura 3 – Partes constituintes da cobertura em telhado**  
Fonte: Adaptado de Gravia (2015).

De acordo com Logsdon (2002), as tesouras são consideradas estruturas planas verticais com finalidade de receber as cargas e distribuí-las sobre seus apoios. As terças são elementos que tem como finalidade receber o carregamento dos caibros e transmiti-los a estrutura principal, neste caso as tesouras, tendo seu espaçamento definido em função do tipo de telha adotado e resistência dos caibros. Os caibros sobrepõem as terças sendo posicionados transversalmente em relação a estas, servindo de apoio as ripas e com espaçamento variável de acordo com o tipo de telha e resistência das ripas. As ripas são elementos que recebem as telhas, que, de acordo com o seu tipo e dimensões, serão as responsáveis pela definição do espaçamento entre as ripas, denominada “galga”.

Segundo Calil e Molina (2010) a escolha da telha é essencial para a construção de uma cobertura eficiente, determinando a inclinação das águas e o desempenho termoacústico da cobertura.

Hoje em dia, é possível encontrar uma grande gama de produtos no mercado, dentre elas as telhas cerâmicas, telhas de concreto, telhas de fibrocimento e telhas metálicas. As inclinações máximas e mínimas, essenciais para que seja garantido o escoamento sem que ocorram infiltrações, assim como o peso de cada telha é dada pelo fabricante, podendo variar de acordo com cada um. Conforme Calil e Molina (2010) nos casos de telhas cerâmicas e de concreto, a partir de uma inclinação

máxima, estas deverão ser amarradas a estrutura de sustentação para manter a estabilidade.

#### 2.2.1.1 Tesouras

Segundo Moliterno (2010), o tipo de tesoura mais empregado no Brasil para edificações residenciais é a tesoura *Howe*, sendo composto por empena ou banzo superior, pendural ou montante, escora ou diagonal e banzo inferior, representados na Figura 4.

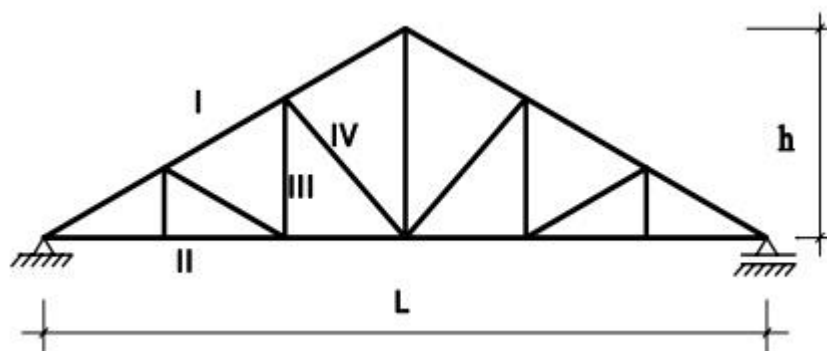


Figura 4 – Tesoura tipo Howe  
Fonte: Gesualdo (2003).

Onde, segundo Gesualdo (2003):

- I – banzo superior, perna, loró, empena ou membrana;
- II – banzo inferior, linha, tirante ou arrojante;
- III – montante ou pendural;
- IV – diagonal ou escora.

Esse tipo de tesoura pode ser empregado para vãos de até 18 m, não podendo os montantes centrais ultrapassar o comprimento de 4 m e, seções transversais geralmente adotadas de 6 x 12 cm ou 6 x 16 cm para banzo superior, de 6 x 12 cm ou 6 x 16 cm para banzo inferior, 2 peças de 3 x 12 cm ou 2,5 x 15 cm

espaçadas em 6 cm para os montantes e de 6 x 12 cm ou 6 x 16 cm para as diagonais (GESUALDO, 2003).

De acordo com Logsdon (2002), a resistência da terça é que determina o espaçamento entre as tesouras, sendo comumente adotados valores entre 2 m e 4 m.

A NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997) considera as ligações por pinos metálicos, cavilhas, conectores e ligações com colas, sendo os pinos metálicos compostos por pregos e parafusos, cavilhas por pinos de madeira torneados e os conectores por anéis metálicos ou chapas metálicas com dentes estampados.

No caso da tesoura *Howe* a ligação das diagonais com os banzos superior e inferior pode ser realizada por sambladura ou entalhe e, as barras verticais podem ser ligadas por parafusos, pinos ou pregos (MOLITERNO, 2010).

#### 2.2.1.2 Tesouras leves

No espaço mundial, o sistema de construção *wood frame* tem sido o mais utilizado, como no Canadá, EUA, Japão e Alemanha, chegando a 95% das casas nos EUA (CALIL; MOLINA, 2010). Outros dados mostram que na América do Norte o uso das treliças industrializadas ultrapassa os 60% dos telhados residenciais construídos e no Canadá estima-se aproximadamente 95% das novas residências. (CANADIAN..., 2015)

Segundo Calil e Molina (2010, p. 144):

O *wood frame* para casas consiste num sistema construtivo industrializado, durável, estruturado em perfis de madeira reflorestada tratada, formando painéis de pisos, paredes e telhado que são combinados e/ou revestidos com outros materiais, com a finalidade de aumentar os confortos térmico e acústico, além de proteger a edificação das intempéries e também contra o fogo.

Esse tipo de construção leve baseia-se completamente no uso de madeiras de reflorestamento, normalmente utilizado o *pinus*, que por ser uma conífera, é bastante permeável ao tratamento preservante. O tratamento em autoclave com produtos hidrossolúveis é o mais recomendado, sendo no Brasil utilizado em especial o CCA (Cobre-Cromo-Arsênio) e o CCB (Cobre-Cromo-Boro) (CALIL; MOLINA, 2010).

O teor de umidade máximo da madeira a ser utilizada é de 19%, sendo mais adequado um teor de 15% (CANADA..., 2014).

Segundo Calil e Molina (2010, p. 154) “O Brasil apresenta uma grande área de florestas plantadas de pinus principalmente nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, o que torna o sistema *wood frame* sustentável do ponto de vista de demanda”.

No sistema de cobertura *wood frame*, como o representado na Figura 5, as treliças industrializadas são aplicadas sobre a estrutura do último piso da edificação, podendo ser espaçadas entre 60 cm e 120 cm, conforme o tipo de telha empregada (CALIL; MOLINA, 2010). No entanto, segundo Martins (2007), a ausência de terças e caibros, que geram a diminuição do peso do carregamento, podem ocasionar uma possível redução do volume da madeira, compensando o maior número de tesouras.

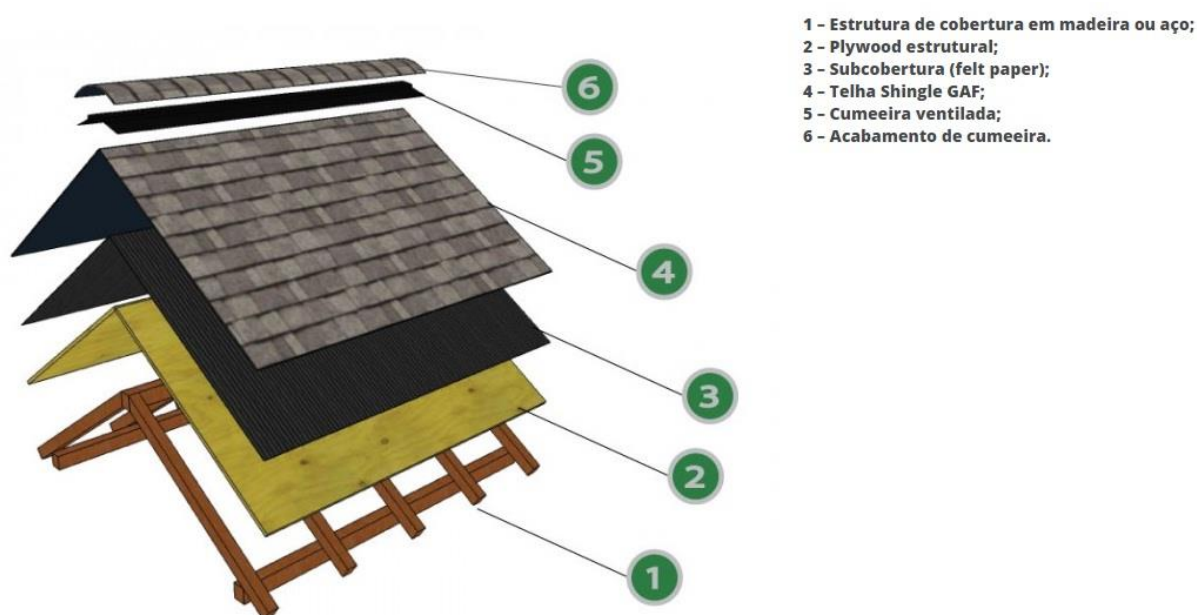


Figura 5 – Sistema de cobertura Wood-Frame  
Fonte: Adaptado de Racia (2015).

As ligações dos elementos da tesoura são realizadas por meio de conectores do tipo chapa de dentes estampados (CALIL; MOLINA, 2010).

De acordo com Baraldi (1996, p. 3), as estruturas de cobertura executadas com chapas de dentes estampados, possuem algumas características principais:

- Propicia uma redução do peso da estrutura em até 40% com relação ao sistema tradicional (vigas de 6x12 e 6x16), sem projetos elaborados por profissionais de engenharia;
- Alívio das cargas concentradas: nas treliças, devido ao menor espaçamento entre as mesmas, e nas fundações, com a diminuição do peso próprio da estrutura devido ao menor consumo de madeira;
- Facilidade na instalação de equipamentos em função do menor espaçamento das treliças;
- Melhor aproveitamento de material;
- Qualidade técnica dos projetos;
- Industrialização
- Controle de qualidade
- O sistema apresenta um bom desempenho estrutural para vãos de até 20 metros;
- Limitação do raio de transporte econômico: falta de indústrias de telhados espalhadas pelo Brasil, encarecendo a execução de estruturas em certas regiões;
- Não trabalha com peças de seção transversal robustas aparentes.

As peças de madeira utilizadas nesse sistema possuem seções transversais pequenas de 2"x4" (polegadas). A escolha da cobertura depende do custo, aparência e preferências, no entanto, as telhas de asfalto são comumente utilizadas em telhados inclinados (CANADA..., 2014).

De acordo com a LP *Building Products* (2015), as telhas *shingles* podem ser utilizadas em qualquer sistema construtivo, como no caso de telhados curvos, é mais leve que outros tipos telhas, é resistente a ventos e possui elevada resistência mecânica. Para a aplicação deste tipo de telha, é necessária a aplicação de chapas OSB (*Oriented Strand Board*) sobre a treliça que servirão como base. Para o caso de telhas cerâmicas somente são utilizadas ripas sobre as treliças, sendo aplicada uma manta de subcobertura antes do ripamento. É possível também a utilização de telhas metálicas e de fibrocimento (CALIL; MOLINA, 2010).

O sistema de treliças possui vantagens consideráveis, pois apresenta características como sistema forte e eficiente, economia, por ser instalada rapidamente, versatilidade, sendo possível a criação de diferentes formatos e utilização junto de outros materiais como aço e concreto e ambiental, por ser um material de construção renovável (CANADIAN..., 2015).

As treliças menores que 6 m são instaladas manualmente, as de dimensões maiores requerem técnicas de levantamento como o uso de guindaste (CANADA..., 2014), por isso, requerem muito menos trabalho e permitem maior flexibilidade.

## 2.3 INDUSTRIALIZAÇÃO

A invenção das chapas de dentes estampados, na década de 50, transformou o processo de fabricação das tesouras treliçadas, permitindo a pré-fabricação das mesmas de uma maneira muito mais industrializada. A fabricação das tesouras leves em madeiras, por meio de equipamentos, é muito difundida em países desenvolvidos, onde a maior parte das residências é executada no *sistema wood frame*. A industrialização permite que telhados com projetos complexos e muitos detalhes, sejam executados de maneira rápida, eficiente, com controle de qualidade e de materiais (CANADIAN..., 2015).

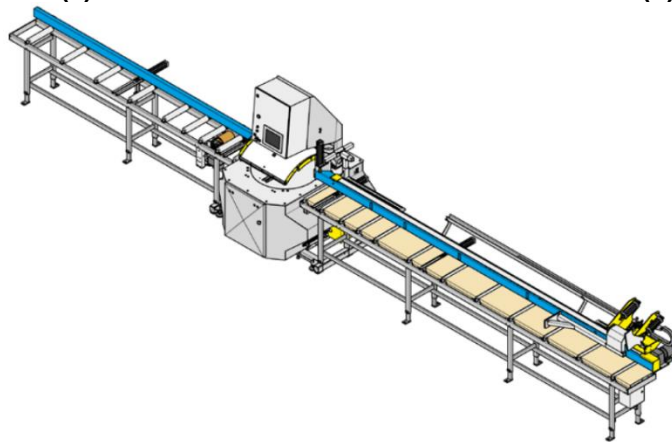
O processo de montagem das tesouras é ideal para elaboração de várias tesouras leves de mesmas características, por se caracterizar como um processo de montagem em linha, onde cada etapa possui equipamentos e pessoas que executam um único detalhe da montagem (CANADIAN..., 2015). O processo de fabricação pode ser dividido nas seguintes etapas:

- 1) A primeira etapa é o recebimento e armazenamento do material (madeira serrada) de acordo com as dimensões, espécies, etc.
- 2) A segunda etapa se caracteriza pela elaboração das peças de madeira de acordo com as dimensões especificadas, geralmente, os processos que ocorrem são: desdobramento das pranchas, classificação das peças, desengrosso das peças, destopamento angular (CALIL; MOLINA, 2010). Atualmente com a evolução da indústria, esse processo é praticamente todo computadorizado, onde softwares determinam de acordo com o projeto a dimensão, características e quantidades que o equipamento elaborará (Figura 6).



(a)

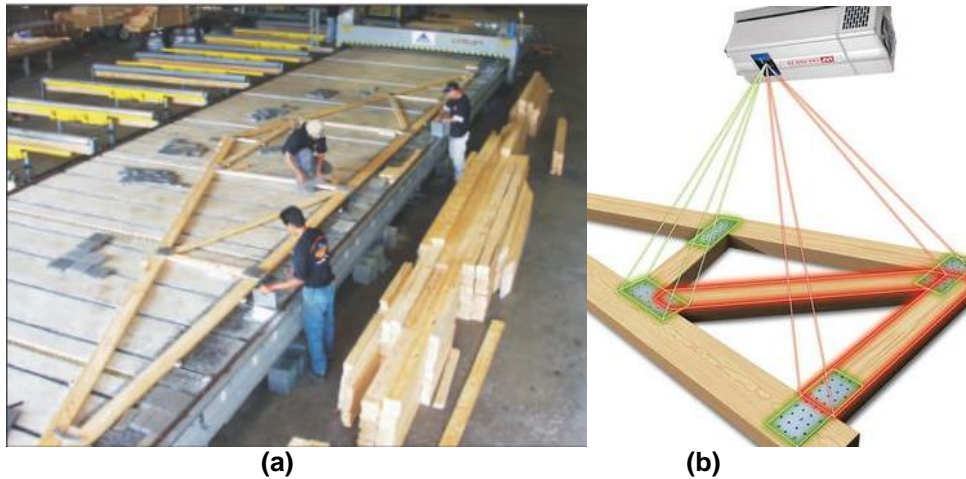
(b)



(c)

**Figura 6 – (a), (b), (c): Equipamento Cut Saw SP720 – Randek**  
**Fonte: Figura (a,b,c) : Randek, Cut Saw SP720 (2015).**

3) A terceira etapa é o posicionamento das peças anteriormente elaboradas. Esse posicionamento acontece em cima de mesas que funcionam como gabarito para a estrutura (CALIL, MOLINA; 2010). Atualmente a diversidade de equipamentos é enorme, tendo, por exemplo, mesas que elaboram o gabarito através de pinos que se posicionam computadorizadamente (Figura 7(a)), ou até mesmo da projeção de Laser em cima da mesa, ambos formando o gabarito da estrutura (Figura 7(b)).



**Figura 7 – (a): RAM Easy Rider, (b): Digital Laser for House Manufactures**  
**Fonte: Figura (a): Alpine equipment, RAM Easy Rider (2015). Figura (b): Randek, Digital laser for house manufacturers (2015).**

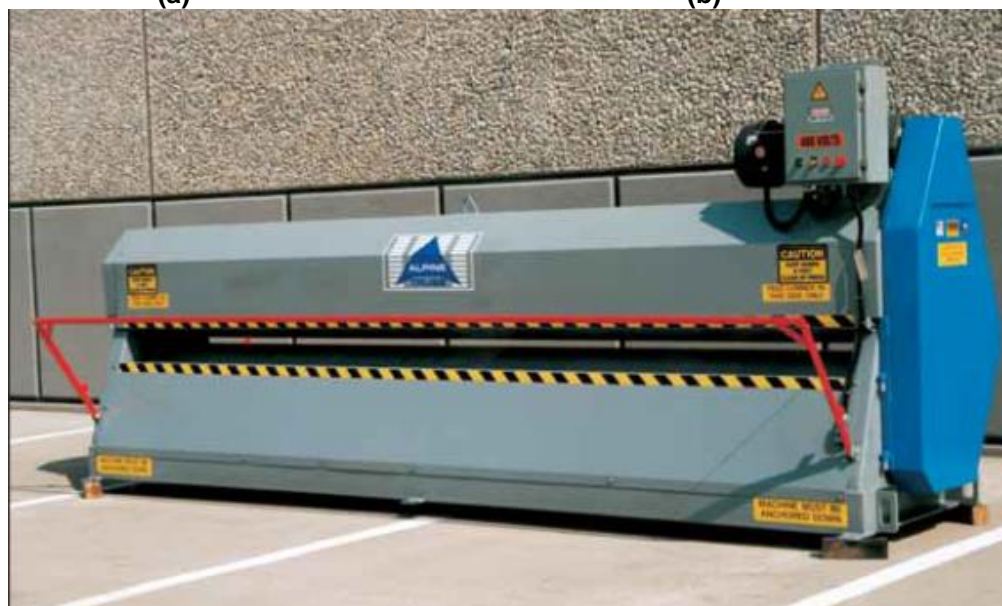
4) Com o posicionamento terminado, inicia-se a quarta etapa, colocando-se nos nós da estrutura, os conectores das ligações, que são as chapas de dentes estampados, que em seguida podem ser prensadas por diversos equipamentos diferentes, como podem ser vistos na Figura 8, ou até mesmo manualmente (CALIL, MOLINA, 2010).



(a)



(b)

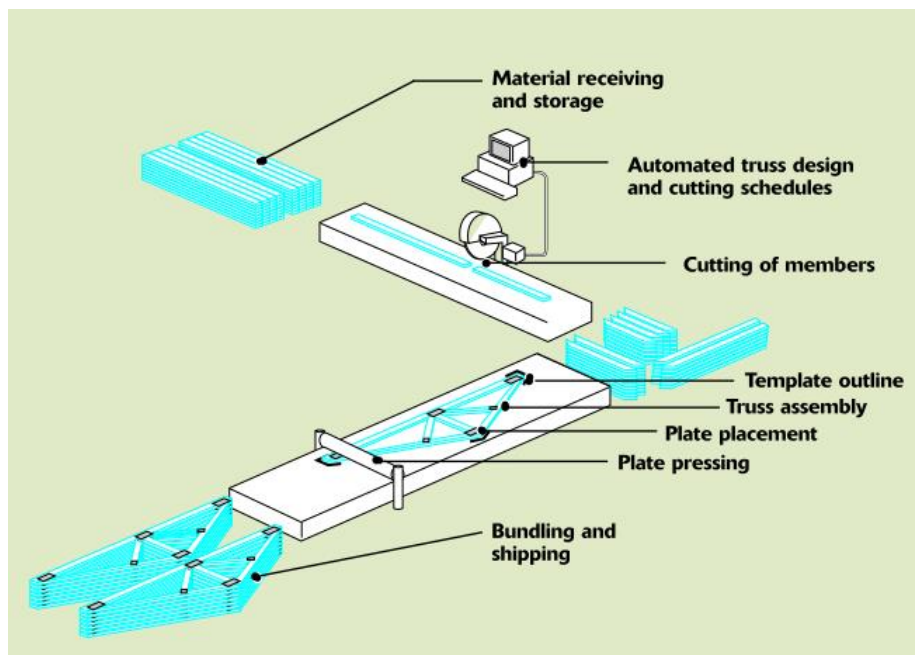


(c)

**Figura 8 – (a): Press Head 35 tonne, (b):Clicka Press, (c): Heavy Duty 24”Roller Press**  
**Fonte: Figura (a) : Randek, truss system nt (2015). Figura (b) : Pryde, clicka press (2008).**  
**Figura (c):Alpine equipment, Roller press (2015).**

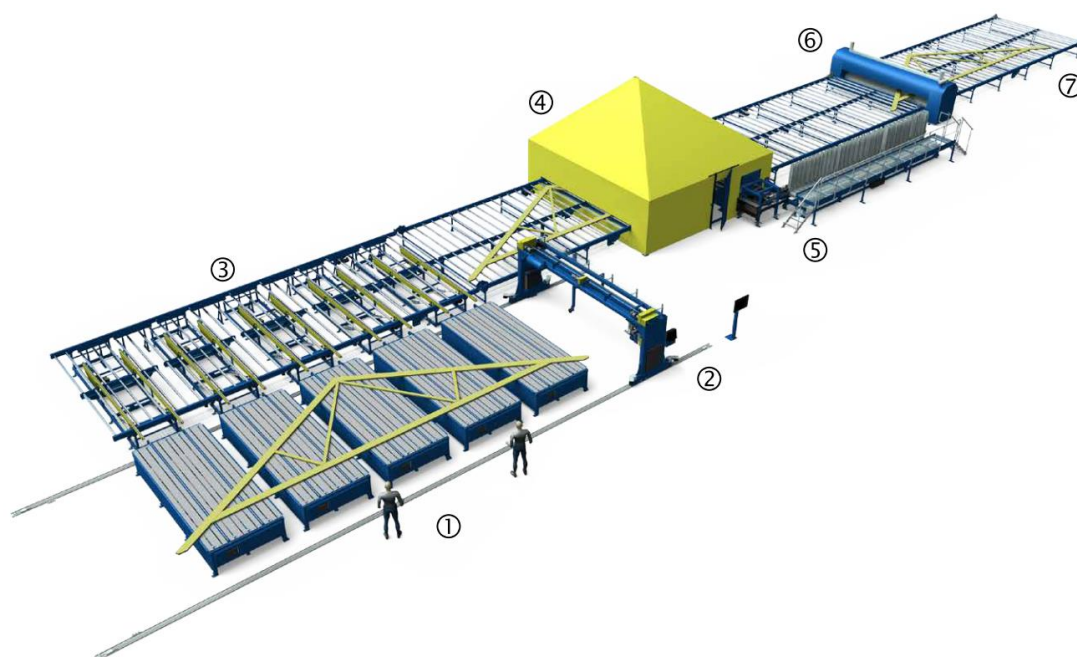
5) Por último ocorre o armazenamento na própria indústria, que em seguida será embalado e carregado, preferencialmente na vertical, em um caminhão, que destinará o produto para o canteiro de obra (CALIL, MOLINA, 2010).

O processo de fabricação pode ser resumido pela figura a seguir:



**Figura 9 – Processo industrializado de tesouras leves**  
 Fonte: Wood Trusses: Strength, Economy, Versatility. International Building series, N° 2. (2015).

Atualmente, é possível encontrar equipamentos mais modernos, que elaboram mais de uma função, acoplando o processo de posicionamento das peças, prensagem dos conectores e embalagem, como, por exemplo, o equipamento *Auto Eye Truss System SF022*, da fabricante *Randek* (Figura 10).



**Figura 10 – Auto Eye Truss System SF022**  
 Fonte: Randek, Auto Eye Truss System SF022 (2015).

O Processo automatizado do equipamento *Auto Eye Truss System SF022*, se dá pelos seguintes passos (Randek, 2015):

1 – A madeira é colocada por dois operadores, a colocação e posição da madeira são guiadas por pinos e projeção a laser.

2 – Uma ponte rolante automaticamente fixa pregos de papelão ondulado em todas as articulações e marca o telhado com dados de produção com uma impressora jato de tinta.

3 – A tesoura de telhado é automaticamente levantada e transportada para a próxima estação (4).

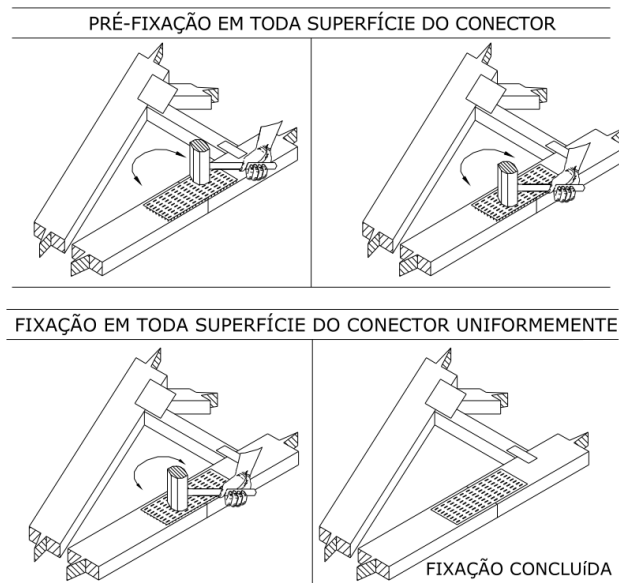
4 – A tesoura de telhado é transportada para a prensa automática.

5 – A prensa prega chapas de dentes estampados. O sistema tem 30 modelos de CDEs. A prensa visualmente identifica a tesoura e as ligações e a posiciona para a colocação das chapas exatamente na posição correta em relação ao conjunto, independentemente se a madeira não estiver 100% em linha reta. A prensa pressiona as CDEs com a força de pressão exata, tornando o resultado perfeito. Quando todas as articulações são processadas a tesoura é transportada para a estação seguinte.

6 – A tesoura se move através da prensa de rolos, como uma verificação de qualidade extra da prensagem (opcional).

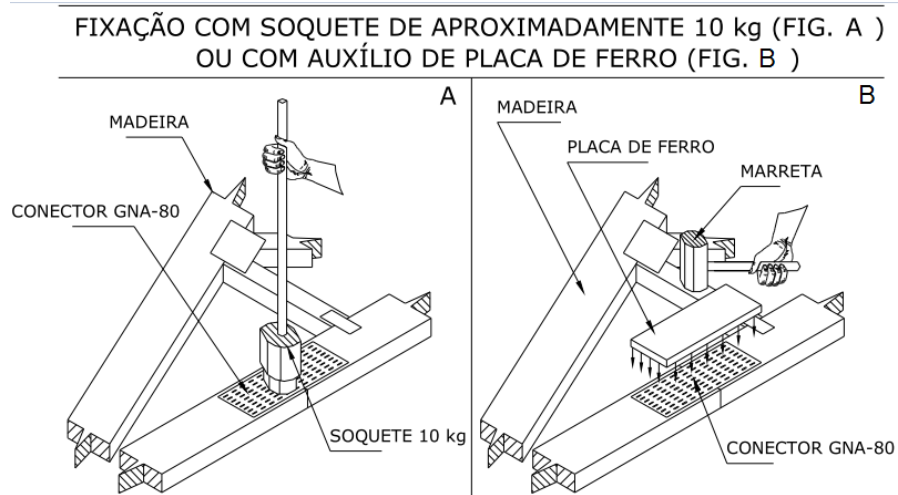
7 – A tesoura é automaticamente empilhada. Quando um pacote completo é embalado o operador agrupa o pacote e o coloca em um caminhão.

Em situações onde não é possível executar a prensagem por equipamentos, sendo necessário efetuá-la manualmente, o Boletim técnico GNA – 80 (2015), recomenda a fixação através de marreta (2 a 4 kg) ou soquete (aprox.10 kg), iniciando a fixação pelas extremidades dos conectores, de forma que a penetração ocorra uniformemente e em seguida continua-se aplicando golpes em toda a superfície até que todos os dentes tenham penetrado na superfície da madeira (Figura 11).



**Figura 11 – Fixação manual da CDE**  
**Fonte: Boletim Técnico GNA – 80 (2015).**

Para um melhor resultado é recomendado o uso de marreta com cerca de 10 kg, com uma placa de ferro com espessura de 25 mm aproximadamente, cobrindo toda a superfície da chapa, de forma que os esforços sejam distribuídos, facilitando a penetração uniforme (BOLETIM..., 2015), exemplificado na Figura 12.

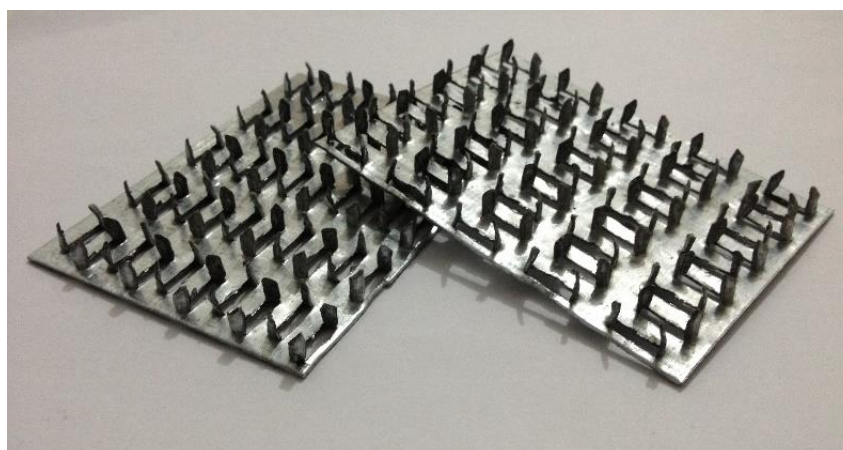


**Figura 12 – (a) Fixação com soquete, (b) fixação com auxílio de placa de ferro**  
**Fonte: Boletim Técnico GNA – 80 (2015).**

## 2.4 CHAPAS DE DENTES ESTAMPADOS

As chapas de dentes estampados (CDE) surgiram em 1954, criada pela empresa *Automated Building Components Inc (ABC)*, fundado por Carl e Willian Jureit, que iniciaram um estudo para reestruturação do método construtivo das ligações de madeira, depois de se depararem com o alto custo da produção e da complexidade da execução das ligações através de encaixes, cavilhas, chapuzes e guias para fixação dos pregos (CALIL; MOLINA, 2010).

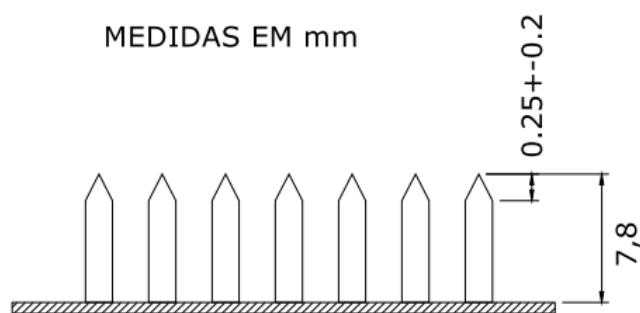
Após várias pesquisas, a empresa chegou a um produto único de ligação para as peças de madeira, através do processo de estampagem, fabricado com aço zincado a quente com proteção contra a corrosão (Figura 13). Estudos específicos foram realizados para a elaboração dos dentes, de maneira que não ocorressem estragos na chapa durante a cravação e fossem conservadas a estrutura e a qualidade da madeira. O sucesso adquirido com o novo sistema se espalhou pelo mundo. Atualmente a *Gang-Nail Systems, Inc*, antiga ABC atua em 33 países inclusive no Brasil (CALIL; MOLINA, 2010).



**Figura 13 – Exemplo de chapa de dentes estampados**  
Fonte: Autoria própria (2015).

### 2.4.1 Características

Atualmente as chapas de dentes estampados são distribuídas em diversos tamanhos e características no Brasil. O conector GNA – 80, produzido pela *GANG-NAIL*, utilizado nesse trabalho é distribuído nas dimensões comerciais mostradas na Tabela 2 e possui as seguintes dimensões de dentes da Figura 14.



**Figura 14 – Dimensões dos conectores GNA – 80 mais utilizadas**  
**Fonte: Boletim (2015).**

**Tabela 2 – Dimensões comerciais dos CDEs comercializados pela GANG-NAIL Brasil**

Dimensões (cm)	3,6	7,1	10,7	14,2
6	GNA80 4 x 6	-----	-----	-----
7,9	GNA80 4 x 8	GNA80 7 x 8	-----	-----
9,9	GNA80 4 x 10	GNA80 7 x 10	-----	-----
11,9	GNA80 4 x 12	GNA80 7 x 12	GNA80 11 x 12	-----
13,9	GNA80 4 x 14	GNA80 7 x 14	GNA80 11 x 14	-----
15,9	-----	GNA80 7 x 16	GNA80 11 x 16	GNA80 14 x 16
17,9	GNA80 4 x 18	GNA80 7 x 18	GNA80 11 x 18	
19,8	-----	GNA80 7 x 20	GNA80 11 x 20	GNA80 14 x 20
23,8	-----	-----	GNA80 11 x 24	GNA80 14 x 24
25,8	-----	GNA80 7 x 26	-----	
19,8	-----	-----	GNA80 11 x 30	
31,7	-----	GNA80 7 x 32	GNA80 11 x 32	GNA80 14 x 32
39,7	-----	-----	GNA80 11 x 40	GNA80 14 x 40
121	GNA80 4 x 121	GNA80 7 x 121	GNA80 11 x 121	GNA80 14 x 121

**Fonte: Adaptado de Boletim Técnico GNA-80 (2015).**

A restrita variedade de dimensões comerciais pode ser atribuída a pequena utilização de estruturas com ligações com CDE, segundo SOUZA (1995, *apud* MARTINS, 2007), 75% das estruturas no Brasil são executadas com madeira, porém apenas 5% utilizam ligações com CDE. Diferentemente de países americanos e europeus, em que o uso deste sistema está melhor difundido, existindo uma vasta opção de dimensões comerciais como pode ser visto no catálogo da *Illionois Tool Works* (Tabela 3), *Inc* (ITW, 2011) ofertado para o sistema *Alpine* de construção, método empregado em países como Inglaterra e Irlanda.

**Tabela 3 – Dimensões comerciais das CDEs ofertadas pela ITW industry**

Tipo	Código	Eurocode	Dimensão (mm)	Tipo	Código	Eurocode	Dimensão (mm)	Tipo	Código	Eurocode	Dimensão (mm)
	9-1304	28500	33 x 111		9-3908	28523	100 x 200		13-3210	28545	83 x 266
	9-1305	28501	33 x 133		9-3910	28524	100 x 266		13-3214	28546	83 x 355
	9-1703	28502	43 x 88		9-4505	28525	116 x 133		13-3216	28547	83 x 400
	9-1704	28503	43 x 111		9-4507	28526	116 x 177		13-4510	28548	116 x 266
	9-1903	28504	50 x 88		9-4510	28527	116 x 266		13-4512	28549	116 x 311
	9-1904	28505	50 x 111		9-5204	28528	133 x 111		13-4514	28550	116 x 355
	9-1905	28506	50 x 133		9-5205	28529	133 x 133		13-4513	28551	116 x 400
	9-1907	28507	50 x 177		9-5207	28530	133 x 177		13-5910	28552	150 x 266
	9-1910	28508	50 x 266		9-5209	28531	133 x 222		13-5912	28553	150 x 311
	9-2603	28509	66 x 88		9-5214	28532	133 x 355	A13	13-5914	28554	150 x 355
	9-2604	28510	66 x 111		9-5905	28533	150 x 133		13-5916	28555	150 x 400
A9	9-2607	28511	66 x 177	A9 (Cont.)	9-5907	28534	150 x 177		13-5918	28556	150 x 444
	9-2609	28512	66 x 222		9-5909	28535	150 x 222		13-7212	28557	183 x 311
	9-3203	28513	83 x 88		9-6505	28536	166 x 133		13-7214	28558	183 x 355
	9-3205	28514	83 x 133		9-6510	28537	166 x 266		13-7216	28559	183 x 400
	9-3206	28515	83 x 155		9-6514	28538	166 x 355		13-7218	28560	183 x 444
	9-3207	28516	83 x 177		9-7810	28539	200 x 266		13-9114	28561	233 x 355
	9-3209	28517	83 x 222		9-7816	28540	200 x 400		13-9116	28562	233 x 400
	9-3212	28518	83 x 311		9-9112	28541	233 x 311		13-9118	28563	233 x 444
	9-3903	28519	100 x 88		9-9116	28542	233 x 400		-	28662	93 x 350
	9-3904	28520	100 x 111		9-10416	28543	266 x 400	FSP	-	28663	132 x 350
	9-3905	28521	100 x 133		9-11816	28544	300 x 400		-	28664	158 x 350
	9-3907	28522	100 x 177								

Fonte: Adaptado de *Alpine - Roof truss & Floor Joist Systems*, ITW industry (2011).

## 2.4.2 GNA 80 – Conector Estrutural para Fabricação de Treliças

Os conectores GNA – 80, são desenvolvidos pela GANG-NAIL especialmente para o uso na construção civil, são adaptados para qualquer espécie de madeira, inclusive madeira de reflorestamento, utilizados nesse trabalho. São fabricados em chapa de aço carbono que atende a norma NBR 7008 (ASSOCIAÇÃO..., 2003). A chapa de aço (CSN) é zincada por imersão a quente, com revestimento mínimo z180 significando que possuiu um mínimo de revestimento de 150 g/m<sup>2</sup> em ensaio individual e de 180 gr/m<sup>2</sup> em ensaio médio triplo. A zincagem é um processo econômico e efetivo para proteger o aço contra a corrosão atmosférica. Fabricado em chapa de aço n° 18, com espessura de 1,25mm, podendo variar entre 1,20mm a 1,38mm, tendo como processo de fabricação a estampagem (BOLETIM..., 2015). De acordo com a NBR 7008 (ASSOCIAÇÃO..., 2003), o aço ZAR 345 deve satisfazer as seguintes características mecânicas apresentadas na Tabela 4:

**Tabela 4 – Características mecânicas do aço**

<b>Grau de aço</b>	<b>Limite de escoamento (Mpa)</b>	<b>Resistência à tração (Mpa)</b>	<b>Alongamento mínimo Lo = 50mm (%)</b>
ZAR 345	345 mín.	430 mín.	12

**Fonte: Adaptado de NBR 7008 (2003).**

A NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), Item 8.5.4, cita que as CDEs só podem ser empregadas em ligações estruturais se a eficiência da cravação for garantida pelo executor e as resistências de cálculo atribuídas devem ser garantidas pelo fabricante de acordo com a legislação brasileira. Para tanto, as CDEs utilizadas possuem as seguintes especificações fornecidas pelo fabricante (BOLETIM..., 2015):

- Número de dentes= 1,5 dentes/cm<sup>2</sup>;
- Peso= 1,05 g/cm<sup>2</sup>;
- Espessura = 1,23 mm (podendo variar entre 1,20 mm a 1,38 mm);
- Aço Efetivo longitudinal = 32,7%;
- Aço Efetivo transversalmente = 70,2%.

Características para projeto de dimensionamento de um par de conector.

- Tração longitudinal = 205 kgf/cm de largura do conector;
- Tração transversal = 95 kgf/cm de comprimento do conector;
- Cisalhamento longitudinal = 80 kgf/cm de comprimento do conector;
- Cisalhamento transversal = 170 kgf/cm de largura do conector.

### 2.4.3 Ligações com CDE

Atualmente, as tesouras de madeira pré-fabricadas utilizam as CDEs em suas ligações, formando ligações semelhantes às de talas de chapas metálicas com múltiplos pregos (PFEIL; PFEIL, 2003). Segundo Santana (2002 apud MARTINS 2007), historicamente as ligações eram dimensionadas de acordo com critérios empíricos, hoje os estudos sobre a rigidez e o comportamento estrutural das ligações são mais significativos, sendo os métodos experimentais amplamente utilizados para a verificação dos métodos teóricos.

Nas ligações de madeiras, a resistência e a rigidez são propriedades do dimensionamento das ligações. A resistência pode ser identificada facilmente através dos valores de cálculo adotados às peças da madeira e às chapas metálicas enquanto a rigidez das ligações se dá pelo tipo de transmissão das cargas entre os elementos, podendo ser consideradas rígidas, semi-rígidas ou articuladas. De acordo com experimentos verifica-se que as ligações mecânicas são deformáveis com o tempo e com a aplicação das cargas, fazendo-as se classificarem como ligações semi-rígidas, ou seja, trabalham no intermediário entre rígidas e articuladas, transmitem momentos fletores, mas não com a mesma totalidade que as ligações rígidas (SANTANA, 2002 apud MARTINS, 2007). A NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997) estabelece que as ligações devam ser tratadas como rígidas e dimensionadas assim para resistir a todos os esforços solicitantes.

A determinação da resistência das ligações por chapas metálicas com dentes estampados é estabelecida pela NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997) no anexo C item 7.2, como o valor de escoamento da chapa metálica, arrancamento da chapa ou qualquer valor de ruptura desde que este valor não ultrapasse o valor de carga aplicado ao corpo de prova para uma deformação específica residual da ligação de

2%. Sendo medida em uma base de referência padronizada, igual ao comprimento da chapa e na direção do esforço aplicado.

Entre os vários estudos realizados nas últimas décadas sobre as ligações, entre eles Baraldi (1996), foi concluído que os modos mais comuns de ruptura nas ligações com chapas de dentes estampados são:

- Ruptura da chapa de aço por tração;
- Ruptura da chapa de aço por cisalhamento;
- Ruptura por arrancamento dos dentes das chapas das peças de madeira;
- Ruptura da madeira por cisalhamento, fendilhamento ou tração.

#### 2.4.4 Dimensionamento das Chapas de Dentes Estampados

A falta de um critério de dimensionamento das chapas de dentes estampados para as estruturas em madeira juntamente com a implementação de sistemas industrializados de fabricação de tesouras com uso de CDEs, despertou interesse de muitos pesquisadores em elaborar métodos de dimensionamento das chapas dentadas.

Ujvari (1993, *apud* MARTINS, 2007) desenvolveu alguns critérios e observações a respeito do dimensionamento dos CDEs. Como característica de projeto, os conectores sempre deverão ser colocados aos pares nas ligações, em posições idênticas, e com CDEs de dimensões e características iguais, de forma que a seção líquida de aço e o número de dentes em cada peça sejam suficientes para resistir todas as forças solicitantes na ligação, sem haver rompimento por cisalhamento ou tração, ou arrancamento dos dentes na CDE.

O número total de dentes necessário na ligação, é a razão entre a força de tração, na peça, e a resistência ao arrancamento nas chapas, considerando sempre a transmissão de esforços nos dois conectores, o número de dentes por conector pode ser expresso na Equação 1.

$$N^{\circ} \text{ de dentes por conector} = \frac{\text{Força axial de tração}}{2 * \text{Resistência de arrancamento do dente}} \quad (1)$$

Em casos de ligações com forças de compressão, pode-se considerar que 50% da força solicitante é transmitida através do contato madeira – madeira. Sendo expresso através da Equação 2 (BOLETIM..., 2015).

$$N^{\circ} \text{ de dentes por conector} = \frac{\text{Força axial de compressão}}{2 \cdot 2 \cdot \text{Resistência de arrancamento do dente}} \quad (2)$$

O comprimento do conector pode ser definido pela razão entre a força de tração e cisalhamento, pela resistência à tração ou cisalhamento da chapa. Nos esforços cisalhantes deve se ter como valor da resistência, com força atuante em 0°. A equação 3 demonstra a obtenção do comprimento do conector.

$$\text{Comprimento do conector} = \frac{\text{Força atuante}}{\text{Resistência à tração ou ao cisalhamento}} \quad (3)$$

Para a utilização das Equações 1 e 3 propostas por Ujvari (1983, *apud* MARTINS, 2007) é necessário conhecer a resistência de arrancamento de cada dente da CDE, porém o valor desta resistência varia de acordo com a espécie a qual o CDE é aplicado, devido as características físicas e mecânicas da madeira. A Tabela 5 apresenta o valor de resistência de um dente, para 6 grupos de madeiras com características diferentes, também expressas na tabela.

**Tabela 5 – Tensões Admissíveis para Madeira Verde**

Grupo	Flexão kgf/cm <sup>2</sup>	Tração Kgf/cm <sup>2</sup>	Compressão paralela Kgf/cm <sup>2</sup>	Cisalhamento Kgf/cm <sup>2</sup>	Compressão normal Kgf/cm <sup>2</sup>	Módulo de elasticidade Kgf/cm <sup>2</sup>	Valor do dente Kg
1	56,0	44,0	41,0	5,6	13,8	51.000	7,7
2	70,0	54,0	51,0	7,0	17,3	64.000	9,6
3	88,0	68,0	64,0	8,8	21,6	80.000	12,0
4	110,0	85,0	80,0	11,0	27,0	100.000	15,0
5	137,0	106,0	100,0	13,8	33,8	125.000	18,8
6	172,0	133,0	125,0	17,2	42,2	156.000	23,4

Fonte: Adaptado de Boletim Técnico GNA – 80 (2015).

#### 2.4.5 Normatização Internacional

Em outros países o uso de conectores CDEs nas estruturas de tesouras leves é bem difundido, possuindo assim suas respectivas normas com orientações para o dimensionamento das chapas de dentes estampados.

Entre as normas internacionais, podemos citar a norma europeia Eurocode 5 (2004) – Design of Timber Structures, a qual apresenta critérios de verificação para o dimensionamento, considerando a resistência do conector aos esforços solicitantes (tração, compressão e momento), a resistência da ligação ao arrancamento e a resistência de arrancamento dos conectores.

Outra norma internacional de grande relevância, a americana ANSI/TPI – 1 (2007) apresenta métodos padrões para a determinação da resistência de cisalhamento, tensões e resistência lateral das chapas de dentes estampados. De posse dos valores de resistência da chapa, a norma orienta que as ligações sejam projetadas para transferir a carga requerida sem ultrapassar a carga admissível por dente ou por unidade de área, considerando a espécie da madeira, a orientação dos dentes e a direção da carga. Para a determinação das dimensões das CDEs para as ligações, a ANSI/TPI – 1 (AMERICAN..., 2007) traz métodos para determinar os seguintes itens:

- Número necessário de dentes na ligação;
- Capacidade de compressão da chapa em ligações retas ou inclinadas;
- Capacidade da tensão em cada placa considerando a orientação da carga e dos dentes;
- Capacidade de resistência ao cisalhamento da placa considerando a orientação da mesma, e verificação da resistência em todas as possíveis linhas de cisalhamento.

### 3 MÉTODO DO TRABALHO

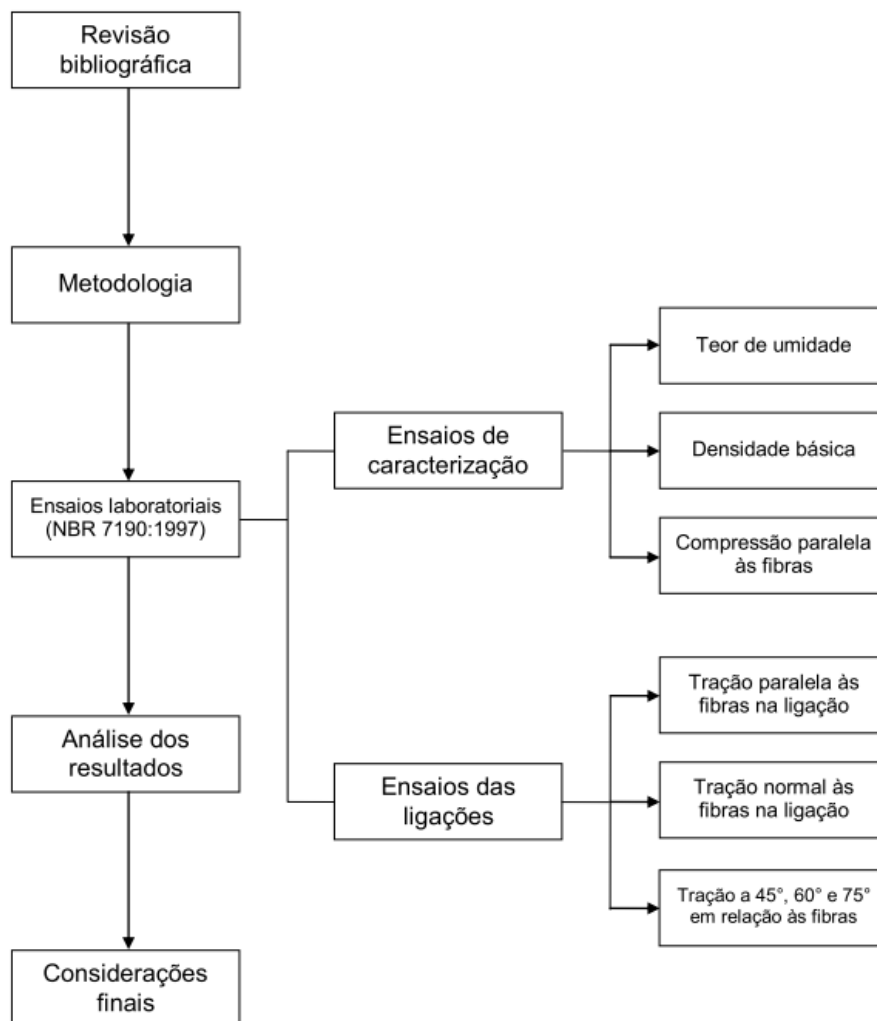
Com base em seus objetivos, este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa exploratória que segundo Gil (2002), caracteriza-se por permitir maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito ou construindo hipóteses, tendo como principal objetivo o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições.

Quanto à classificação da pesquisa com base nos procedimentos técnicos adotados para seu desenvolvimento, pode ser classificada como de caráter bibliográfico e experimental.

De acordo como Gil (2002, pg.44), “A pesquisa bibliográfica é desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos”. Segundo o mesmo autor, a pesquisa experimental “[..] consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto” (GIL, 2002, p.47).

As pesquisas podem ser qualitativas ou quantitativas. Segundo Lakatos (2003), a pesquisa qualitativa não se preocupa com a representatividade numérica, mas sim com o aprofundamento da compreensão de um determinado estudo, buscando de certa forma o porquê de determinado fenômeno, enquanto que, de acordo com Fonseca (2002, *apud* GERHARDT, 2009), a pesquisa quantitativa recorre à matemática para resolver as causas de um fenômeno, as relações entre variáveis, etc. O trabalho em estudo classifica-se como uma pesquisa tanto qualitativa quanto quantitativa, por buscar uma melhor compreensão das características das ligações, por meio de ensaios que resultarão em valores numéricos.

A sequência de trabalho da pesquisa pode ser analisada através do diagrama apresentado na Figura 15.



**Figura 15 – Diagrama da sequência de trabalho**  
**Fonte: Autoria própria (2015).**

### 3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Para o desenvolvimento dos ensaios foram necessárias 12 peças de madeira de *Pinus* de 25 cm cada para cada tipo de ensaio e duas chapas de dentes estampados para cada par de peças ensaiadas.

Os equipamentos utilizados foram:

- Máquina universal de ensaio EMIC, modelo DL30000
- Máquina universal de ensaio EMIC, modelo PC200
- Célula de carga HBM, modelo U10M, com capacidade de 50KN.
- Transdutores de deslocamento HBM, modelo WI10mm

- Sistema de aquisição de dados HBM, Quantum X
- Dispositivos de aço para adaptação dos corpos de prova
- Cantoneiras metálicas
- Braçadeiras metálicas
- Balança com precisão de 0,01 g
- Estufa a 105°C
- Paquímetro universal

## 3.2 ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA MADEIRA

### 3.2.1 Amostragem

Para realização dos ensaios foram utilizados seis corpos de prova para cada ensaio, sendo recomendados para caracterização simplificada pela NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997).

### 3.2.2 Umidade

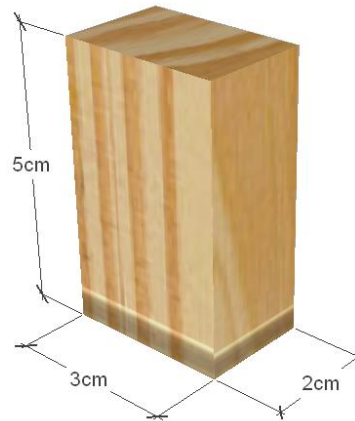
De acordo com o Anexo B da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), o teor de umidade se define pela relação entre a massa de água contida na madeira e a massa seca da madeira:

$$U(\%) = \frac{m_i - m_s}{m_s} \times 100 \quad (4)$$

Sendo  $m_i$  a massa inicial da madeira e  $m_s$  a massa seca, ambas dadas em gramas.

Para realização do ensaio foram adotadas as dimensões e procedimentos especificados pela mesma norma citada anteriormente. Assim, foram utilizados corpos

de prova com seção transversal de 2,0 x 3,0 cm e comprimento de 5,0 cm ao longo das fibras (Figura 16), conforme a mesma norma.



**Figura 16 – Corpo de prova para determinação do teor de umidade**  
**Fonte: Autoria própria (2015).**

Determinou-se a massa inicial utilizando uma balança com precisão de 0,01 g e em seguida, os corpos de prova foram colocados em uma estufa para secagem com temperatura a 105°C. Durante o período de secagem, foram coletadas medidas com intervalo mínimo de seis horas até que se obtivesse uma variação menor que 0,5%, sendo esta, a massa seca adotada. Por fim, através da Equação (4) encontrou-se o teor de umidade da madeira em estudo.

### 3.2.3 Densidade

Segundo o Anexo B da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), a densidade básica é definida pela razão entre a massa seca e o volume saturado:

$$\rho_{bas} = \frac{m_s}{V_{sat}} \quad (5)$$

Sendo  $m_s$  a massa seca, dada em quilogramas e  $V_{sat}$  o volume de madeira saturado, dado em metros cúbicos.

O ensaio foi realizado conforme o descrito na NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO... 1997).

Os corpos de prova utilizados correspondem às mesmas dimensões do ensaio anterior, de determinação do teor de umidade. Primeiramente foram obtidas as massas secas, com precisão de 0,01g. Em seguida, os corpos de provas foram submersos em água sendo pesados até a variação da massa se tornar inferior a 0,5%. As dimensões dos corpos de prova foram medidas mais de uma vez, com precisão de 0,1 mm, sendo a média de três medidas para a dimensão de cada face. Por fim, calculou-se a densidade básica dos corpos de prova por meio da Equação (5).

### 3.2.4 Ensaio de Resistência à Compressão Paralela às Fibras

#### 3.2.4.1 Definições e procedimentos para determinação das resistências

A determinação da resistência à compressão paralela às fibras da madeira ( $F_{co}$ ) foi determinada segundo o anexo B da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), sendo a compressão paralela às fibras determinada pela máxima tensão atuante em um corpo de prova de seção quadrada. A obtenção da resistência à compressão paralela em megapascal, ( $F_{co}$ ), é dada pela seguinte expressão:

$$F_{co} = \frac{F_{co,m\acute{a}x}}{A} \quad (6)$$

Onde  $F_{co,m\acute{a}x}$  é a máxima força de compressão aplicada ao corpo de prova durante o ensaio, em newtons, e  $A$  a área em milímetros quadrados.

As resistências finais são apresentadas pelos valores característicos das resistências referentes à umidade padrão de 12%, onde, de acordo com a NBR 7190

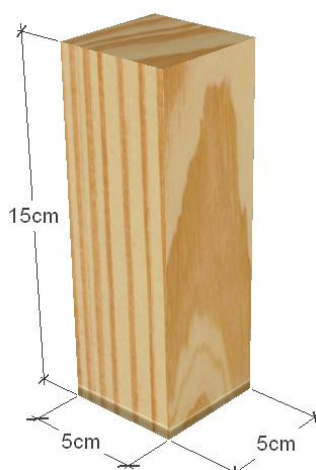
(ASSOCIAÇÃO..., 1997), os ensaios cujos teores de umidade variam entre 10% e 20% devem ter os valores corrigidos para a umidade padrão. Para isso, utilizou-se a Equação (7), recomendada pela NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997).

$$R_{12} = R_{u\%} \left[ 1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \quad (7)$$

Sendo  $R_{u\%}$  a resistência obtida no ensaio e  $U\%$  a umidade em porcentagem, da peça de madeira onde houve a ruptura no ensaio.

#### 3.2.4.2 Amostras

Nos ensaios de compressão foram utilizadas 6 amostras, onde os corpos de prova possuíam forma prismática. Para o ensaio de compressão paralela às fibras foram utilizados corpos de prova de seção transversal quadrada de 5,0 cm de lado e 15,0 cm de comprimento, como prescrito na NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997). A Figura 17 demonstra os corpos de prova adotados.



**Figura 17 – Corpo de prova para ensaio de compressão**  
Fonte: Autoria própria (2015).

### 3.2.4.3 Procedimentos

Como prescrito pela NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), para determinação da resistência à compressão, os corpos de prova, foram medidos com exatidão de 0,1mm, em seguida, ajustados à máquina de ensaio. O ensaio foi realizado com um carregamento monotônico crescente, com taxa em torno de 10 Mpa/min, como pode ser visto na Figura 18.



**Figura 18 – Ensaio compressão CP-04**  
Fonte: Autoria própria (2015).

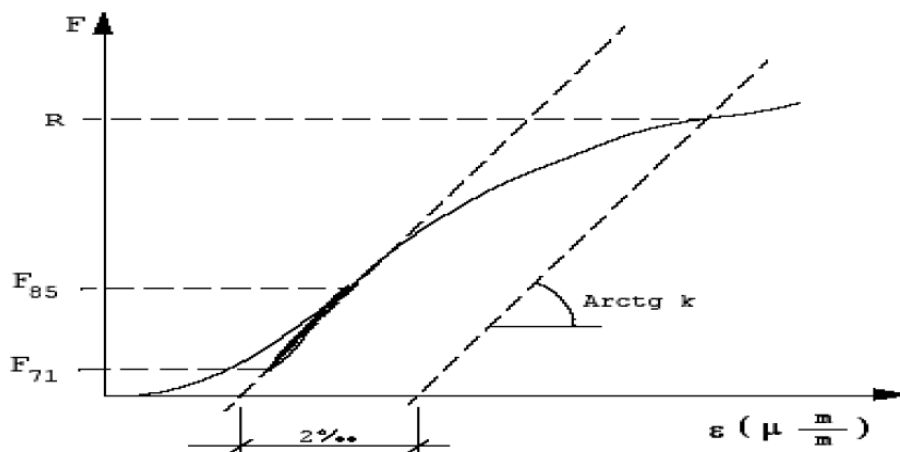
## 3.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DAS LIGAÇÕES COM CHAPAS DE DENTES ESTAMPADOS

### 3.3.1 Definições

A determinação da resistência das ligações por chapas metálicas com dentes estampados é estabelecida pela NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997) no Anexo C item 7.2, como sendo valor de escoamento da chapa metálica, arrancamento da chapa ou qualquer valor de ruptura desde que este valor não ultrapasse o valor de carga

aplicado ao corpo de prova para uma deformação específica residual da ligação de 2 ‰, sendo medida em uma base de referência padronizada, igual ao comprimento da chapa e na direção do esforço aplicado.

A determinação da deformação específica residual da ligação foi encontrada através da interseção da reta secante definida pelos  $(F_{71}; \varepsilon_{71})$  e  $(F_{85}; \varepsilon_{85})$  do diagrama força x deformação específica, representando os pontos 71 e 85 do diagrama de carregamento da Figura (24). Com a interseção definida, fez-se a reta paralela afastada em 2 ‰ até a interseção do diagrama. Tal força corresponde à resistência da ligação R, podendo o procedimento ser observado na Figura 19 (ASSOCIAÇÃO...,1997).



**Figura 19 – Diagrama força x deformação específica da ligação por chapas de dentes estampados**  
Fonte: NBR 7190 (1997) *apud* MARTINS (2007)

### 3.3.2 Amostras

Para a determinação da resistência da ligação com chapa de dente estampado como determina a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), foram utilizados 6 corpos de prova, a madeira extraída aleatoriamente do lote selecionado, e afastadas em no mínimo 5 vezes a menor dimensão da seção transversal, mas nunca menos que 30 cm, sempre isentas de defeito, possuindo como seção transversal 2"x4", por representarem a dimensão mais utilizada em tesouras leves do sistema *wood frame*

e fabricadas na umidade entre 10% e 20%. Os conectores metálicos, também foram selecionados aleatoriamente do lote escolhido, sempre isentos de defeitos, para satisfazer as características do arranjo proposto pela NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), foram utilizados conectores da marca Gang Nail, com dimensões de 71 mm x 91 mm.

Nos ensaios de tração foram utilizadas cinco configurações diferentes de amostras. Em todos os modelos de ensaio a peça de madeira superior ficou na mesma direção da chapa de dentes estampados e da aplicação da carga, formando ângulos  $\alpha = 0^\circ$ , onde  $\alpha$  é o ângulo entre a direção longitudinal da chapa metálica com a direção da aplicação da carga, a diferença entre os ensaios fica por conta da posição da peça inferior em relação a chapa e da aplicação da carga em cada ensaio, formando ângulos de  $\beta = 0^\circ$ ,  $\beta = 45^\circ$ ,  $\beta = 60^\circ$ ,  $\beta = 75^\circ$  e  $\beta = 90^\circ$ , onde  $\beta$  é o ângulo entre as fibras da madeira e a direção da carga.

Os arranjos utilizados nos ensaios de determinação da resistência de tração nas ligações nas direções  $\alpha = 0^\circ$  e  $\beta = 0^\circ$  e  $\alpha = 0^\circ$  e  $\beta = 90^\circ$  foram baseados nas recomendações da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), Estes arranjos podem ser vistos na Figura 20.

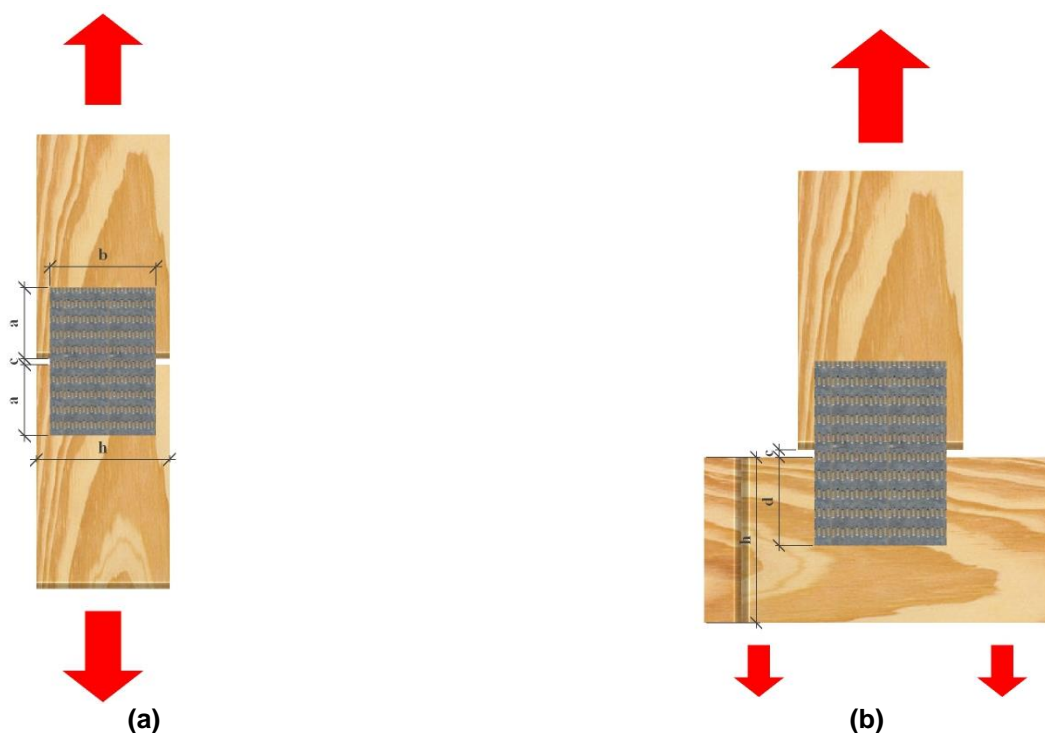


Figura 20 - (a): Arranjo básico para determinação das resistências na direção  $\alpha = 0^\circ$  e  $\beta = 0^\circ$  submetidas à tração, (b): Arranjo básico para determinação das resistências na direção  $\alpha = 0^\circ$  e  $\beta = 90^\circ$  submetidas à tração  
Fonte: Adaptado de NBR 7190 (1997).

De acordo com a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), as dimensões adotadas para as amostras devem satisfazer os seguintes parâmetros de medida:

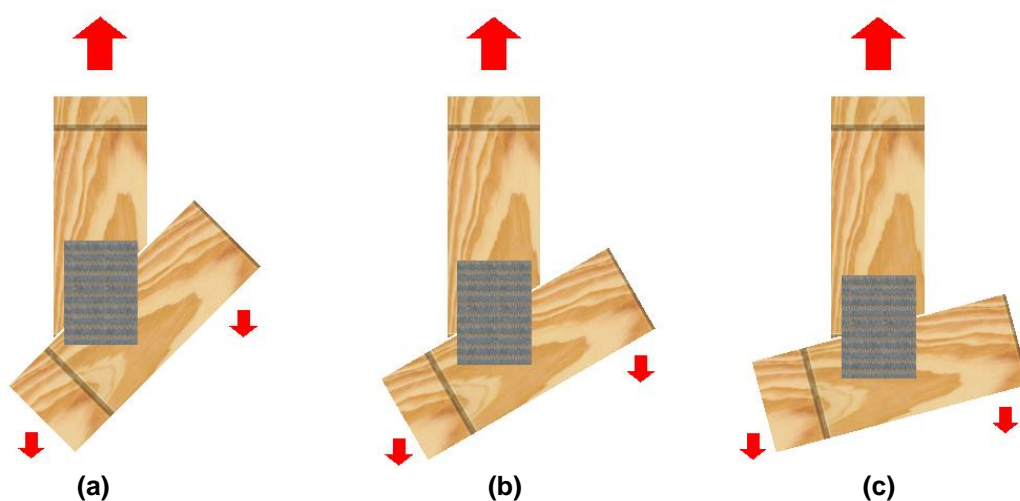
a – maior que 40mm ou  $h/3$ ;

b – maior que  $2 \cdot h/3$

c – 2mm

d – maior que  $h/2$

Para os ensaios das ligações com ângulo  $\beta$  de 45°, 60° e 75° a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO...,1997), não prescreve recomendações para os arranjos das ligações a serem ensaiadas, nestes ensaios portanto, foram utilizadas as mesmas dimensões para as CDEs e para as peças de madeira que nos ensaios com  $\alpha = 0^\circ$  e  $\beta = 0^\circ$  e  $\alpha = 0^\circ$  e  $\beta = 90^\circ$ , estes arranjos estão demonstrados na Figura 21.



**Figura 21 – (a) Arranjo básico para ligação com direção  $\alpha = 0^\circ$  e  $\beta = 45^\circ$  submetidos a tração, (b) Arranjo básico para ligação com direção  $\alpha = 0^\circ$  e  $\beta = 60^\circ$  submetidos a tração, (c) Arranjo básico para ligação com direção  $\alpha = 0^\circ$  e  $\beta = 75^\circ$  submetidos a tração**  
Fonte: Autoria própria (2015).

A distribuição das peças em cada corpo de prova é necessária para que cada ensaio seja realizado com uma amostra diferente. Para isso, as amostras foram numeradas de 1 a 6, e fez-se uma combinação para que amostras iguais não coincidissem num mesmo corpo de prova. Dessa forma, a Tabela 6 expressa a distribuição adotada nos corpos de prova de cada ensaio.

**Tabela 6 - Distribuição das amostras nos corpos de prova**

ENSAIO	$\alpha=0^\circ$ e $\beta=0^\circ$		$\alpha=0^\circ$ e $\beta=45^\circ$		$\alpha=0^\circ$ e $\beta=60^\circ$		$\alpha=0^\circ$ e $\beta=75^\circ$		$\alpha=0^\circ$ e $\beta=90^\circ$	
	Peça Superior	Peça Inferior	Peça Superior	Peça Inferior	Peça Superior	Peça Inferior	Peça Superior	Peça Inferior	Peça Superior	Peça Inferior
<b>CP-01</b>	1	6	1	6	1	6	1	6	1	6
<b>CP-02</b>	2	5	2	5	2	5	2	5	2	5
<b>CP-03</b>	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4
<b>CP-04</b>	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3
<b>CP-05</b>	5	2	5	2	5	2	5	2	5	2
<b>CP-06</b>	6	1	6	1	6	1	6	1	6	1

Fonte - A autoria própria (2015).

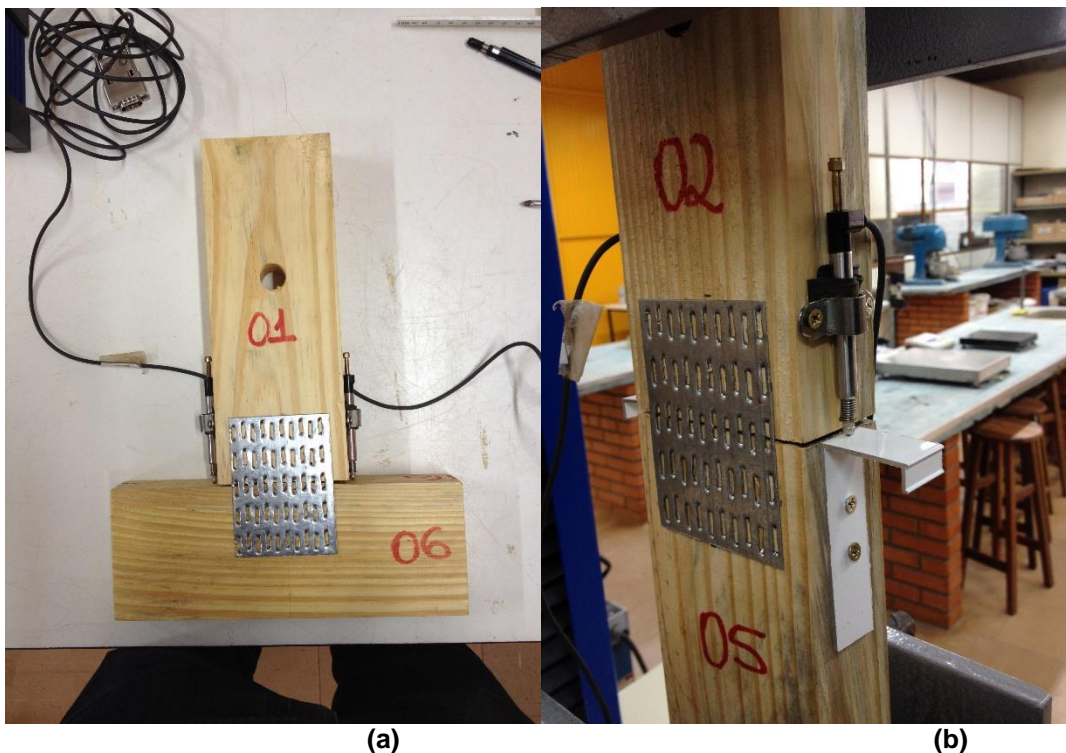
### 3.3.3 Procedimentos de Confeção dos Corpos de Prova

Com a distribuição das peças realizada, iniciou-se a montagem dos corpos de prova, seguindo as recomendações de arranjo descrito pela NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO...,1997) e apresentadas no item 3.3.2. A prensagem dos conectores se deu em duas etapas, primeiramente estampou-se uma chapa metálica em uma das faces da ligação, para depois, realizar a prensagem da segunda chapa metálica na outra face da ligação, cuidando para manter os dois conectores exatamente na mesma posição, evitando excentricidade na ligação. A prensagem dos conectores metálicos foi realizada com uma velocidade média de 0,68KN/s, tendo como valores finais de força de prensagem variando de 40KN a 60KN. Para a realização desta etapa utilizou-se o equipamento Emic PC 200. A Figura 22 demonstra a prensagem das ligações.



**Figura 22 - Prensagem da chapa metálica no corpo de prova**  
**Fonte: Autoria própria (2015).**

A terceira etapa da montagem dos corpos de prova foi a colocação dos medidores de deslocamento nas peças superiores das ligações, cuja função é medir o deslocamento relativo entre as peças ligadas. Estes foram fixados utilizando braçadeiras metálicas adaptadas, mantendo-os protegidos e em posição vertical (Figura 23(a)). Nas ligações com  $\beta=0^\circ$ , foi necessária a colocação de cantoneiras nas peças inferiores da ligação, servindo como base de medida para o deslocamento (Figura 23(b)).



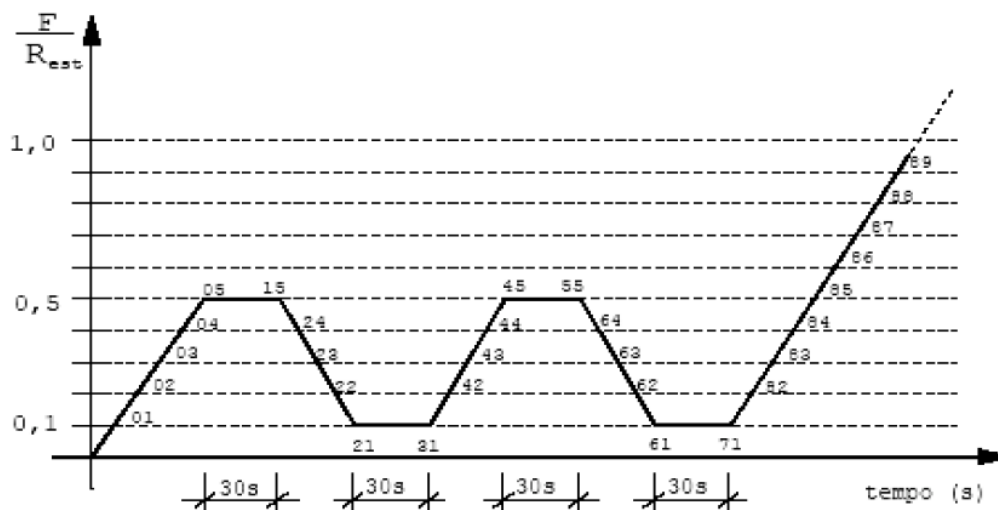
(a) (b)  
 Figura 23 - (a): Colocação dos transdutores com uso de braçadeiras, (b): Uso de cantoneira para apoio dos transdutores  
 Fonte: Autoria própria (2015).

### 3.3.4 Procedimento do Ensaio da Ligação

Considerando as prescrições de ensaio da NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), item C.7.4, para determinação das resistências das ligações utilizou-se uma exatidão de 0,1 mm nas medidas dos corpos de prova, tendo os mesmos, seus respectivos teores de umidade encontrados.

A determinação da deformação do corpo de prova foi executada com transdutores de precisão de 0,1mm, da marca HBM, tendo como base de medida inicial ( $L_0$ ) o valor do comprimento da chapa na direção do esforço aplicado.

O carregamento do corpo de prova foi executado de acordo com a Figura 24, utilizando como aplicador de carga o equipamento EMIC DL30000, disponível no Laboratório de Materiais da UTFPR Câmpus Pato Branco. Para a determinação da resistência estimada, previamente, ensaiou-se um corpo de prova de mesmas características e utilizou-se o valor de resistência como sendo a resistência estimada dos corpos de prova do lote a ser ensaiado.



**Figura 24 – Diagrama de carregamento para ligações por chapas com dentes estampados**  
**Fonte: NBR 7190 (1997) apud MARTINS (2007).**

Para realização dos ensaios foi necessária a concepção de dispositivos que adaptassem as peças do ensaio ao equipamento EMIC DL30000 utilizado. Assim, para  $\beta=0^\circ$ , as peças para ensaio da ligação foram fixadas ao equipamento por meio de barras de aço CA-50 de 16 mm, passando por um furo feito no eixo da ligação, como pode ser visto na Figura (25):



**Figura 25 - Dispositivo de ensaio das ligações com  $\beta=0^\circ$**   
**Fonte: Autoria própria (2015).**

Para os demais ensaios, apenas a peça superior foi fixada com barra, sendo a peça inferior presa a um dispositivo de travamento, conforme a Figura (26):



**Figura 26 - Dispositivo de ensaio das ligações**  
Fonte: Autoria própria (2015).

### 3.3.5 Procedimento para Determinação das Resistências Convencionais da Ligação

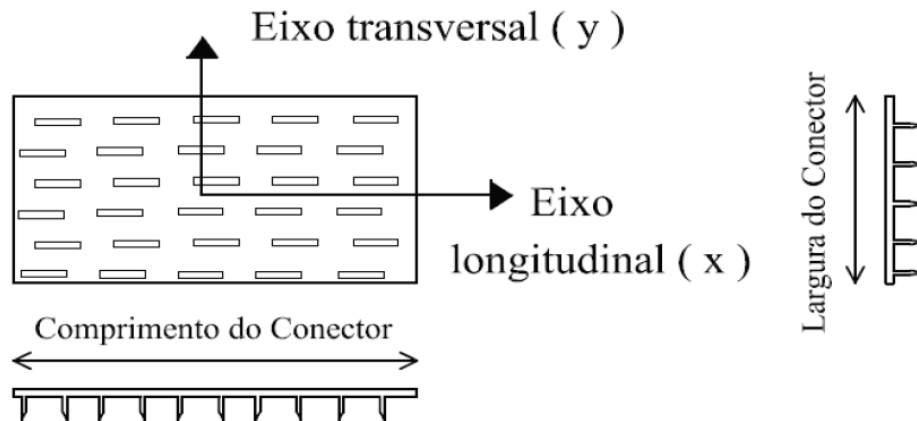
Como definido pela NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO...,1997) e abordado no item 3.3.1, a resistência da ligação, é definida pelo valor de escoamento da chapa, ou qualquer valor de ruptura da madeira ou da chapa de dente estampado, desde que inferior ao valor correspondente a deformação residual de 2‰. Sendo assim, a resistência convencional da ligação foi definida como o menor valor entre a carga de ruptura e a carga correspondendo a deformação residual de 2‰.

Nos casos em que a ruptura da ligação ocorreu por desprendimento da chapa metálica na ligação (arrancamento), foram calculados os valores de resistência de arrancamento, definido pela Equação (8), de acordo com a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO...,1997) e da resistência de arrancamento por dente, definido pela Equação (9).

$$R_a = \frac{Força}{Lx * Ly} \quad (8)$$

$$R_a = \frac{Força}{N^\circ \text{ de Dentes}} \quad (9)$$

Onde a *Força* é a resistência corrigida a umidade padrão de 12%,  $Lx * Ly$  são definidos de acordo com a Figura 27 e *Nº de Dentes* é o número de dentes existentes e uma chapa. Para estas equações, deve-se usar a metade da força, considerando a força aplicada em apenas uma chapa.



**Figura 27 - Características das chapas com dentes estampados**  
**Fonte: NBR 7190 (1997) apud MARTINS (2007).**

As resistências finais são apresentadas pelos valores característicos das resistências referentes à umidade padrão de 12%, através da Equação 7 apresentada anteriormente, onde  $U\%$  é a umidade em porcentagem da madeira onde houve a ruptura no ensaio.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 4.1 ENSAIO DE UMIDADE

O procedimento do ensaio ocorreu conforme o descrito no item 3.2.2. Os valores encontrados para massa inicial, massa seca e teor de umidade de cada corpo de prova estão expressos na Tabela 7.

<b>Corpo de prova</b>	<b>Massa inicial da madeira (g)</b>	<b>Massa da madeira seca (g)</b>	<b>Teor de Umidade (%)</b>
CP01	16,750	14,150	18,4
CP02	17,090	14,340	19,2
CP03	14,310	11,830	21,0
CP04	19,130	15,980	19,7
CP05	22,130	18,390	20,3
CP06	19,990	16,720	19,6
		<b>MÉDIA</b>	19,7
		<b>DESVIO PADRÃO</b>	0,9
		<b>COEF. VARIAÇÃO</b>	4,6

Fonte: Autoria própria (2015).

A umidade dos corpos de prova da amostra teve variação entre 18 e 21 % aproximadamente, as quais se apresentaram satisfatórias para realização dos ensaios de resistência do lote, pois, conforme a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), as variações da resistência são muito pequenas para umidades superiores a 20%.

### 4.2 ENSAIO DE DENSIDADE

O procedimento do ensaio ocorreu conforme o descrito no item 3.2.3. Os valores encontrados das massas secas e saturadas e as dimensões de cada corpo

de prova estão expressos na Tabela 8, assim como o volume e a densidade básica de cada um.

**Tabela 8 – Densidade básica e dimensões dos corpos de prova**

Corpo de prova	Massa da madeira seca (g)	Massa da madeira saturada (g)	Dimensão média (cm)			Volume (cm <sup>3</sup> )	Densidade Básica (kg/m <sup>3</sup> )
			Lado A	Lado B	Lado C		
CP01	13,210	27,010	2,193	3,325	5,135	37,449	352,7
CP02	18,620	36,620	2,247	3,278	5,160	38,005	489,9
CP03	13,310	29,380	2,203	3,263	5,205	37,425	355,6
CP04	16,710	41,970	2,237	3,342	5,293	39,563	422,4
CP05	16,720	37,070	2,228	3,317	5,293	39,121	427,4
CP06	18,740	33,720	2,203	3,295	5,285	38,369	488,4
<b>MÉDIA</b>							422,7
<b>DESVIO PADRÃO</b>							60,4
<b>COEF. VARIAÇÃO</b>							14,3

Fonte: Autoria própria (2015).

A amostra adotada apresentou uma densidade básica média de 422,7 Kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO PARALELA ÀS FIBRAS

O ensaio de compressão paralela às fibras deu-se conforme o citado no item 3.2.4, onde os valores encontrados para as dimensões, a máxima força de compressão e a tensão para cada corpo de prova estão representados na Tabela 9. Conforme prescreve a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997), as forças foram corrigidas para umidade padrão de 12%, através da Equação 7.

**Tabela 9 – Resistência a compressão paralela às fibras**

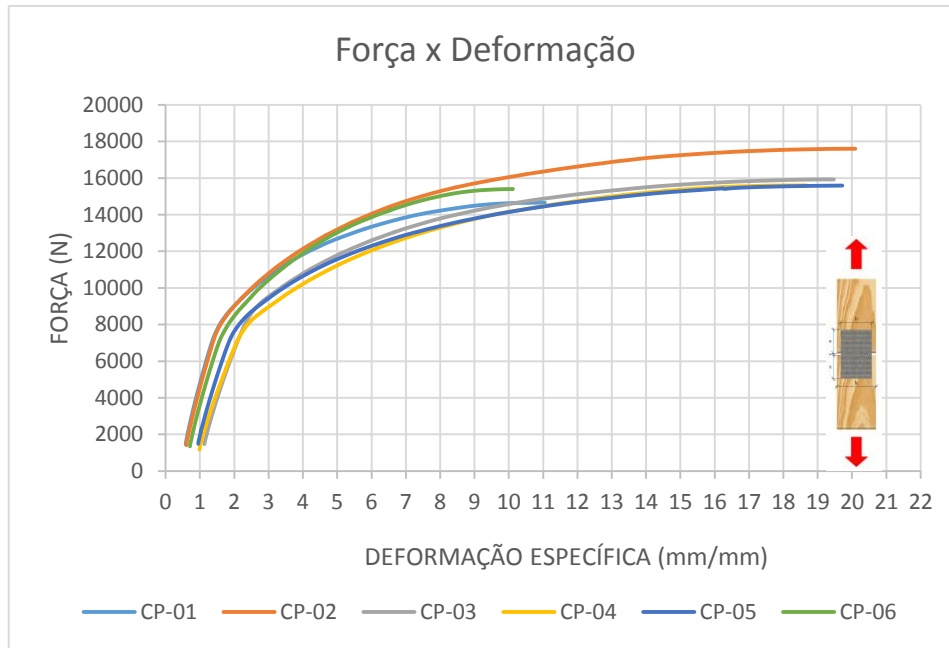
Corpo de prova	Dimensão média (cm)		Área da seção (mm <sup>2</sup> )	Força de ruptura (N)	Força corrigida a 12% (N)	Resistência (Mpa)
	Lado A	Lado B				
CP01	4,320	5,010	2164,3	62501	74453	34,4
CP02	4,380	5,075	2222,9	81089	98549	44,3
CP03	4,380	5,180	2268,8	81808	101442	44,7
CP04	4,425	5,085	2250,1	67744	83418	37,1
CP05	4,420	5,195	2296,2	78452	97280	42,4
CP06	4,370	5,310	2320,5	95693	117389	50,6
<b>MÉDIA</b>				77881	95422	42
<b>DESVIO PADRÃO</b>				11684	14938	6
<b>COEF. VARIAÇÃO (%)</b>				15,0	15,7	13,7

Fonte: Autoria própria (2015).

O ensaio apresentou um coeficiente de variação de 13,7% para resistência corrigida a umidade padrão de 12%, considerado satisfatório para o lote, não ultrapassando os 18% estimados pela NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO..., 1997) para resistências a esforços normais. Percebe-se que nesse ensaio, não houve aumento da resistência conforme o aumento da densidade, podendo ser explicado pela variação das características da madeira.

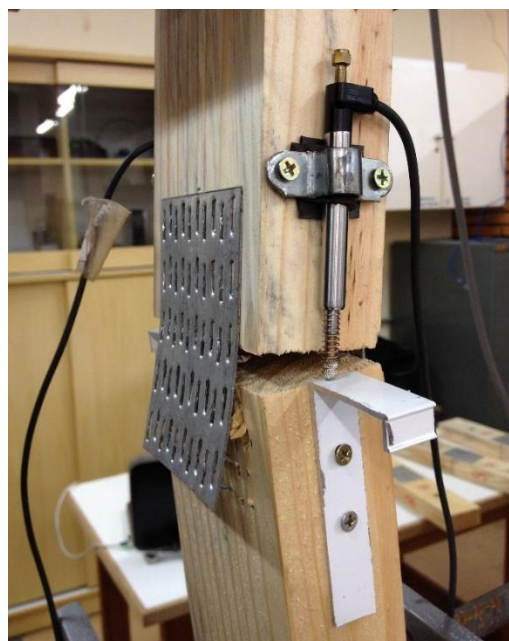
#### 4.4 ENSAIO DE TRAÇÃO NA LIGAÇÃO COM $\beta = 0^\circ$

Para o ensaio de tração na ligação com  $\beta=0^\circ$ , o Gráfico 8 apresenta o diagrama de Força x Deformação dos 6 corpos de prova.



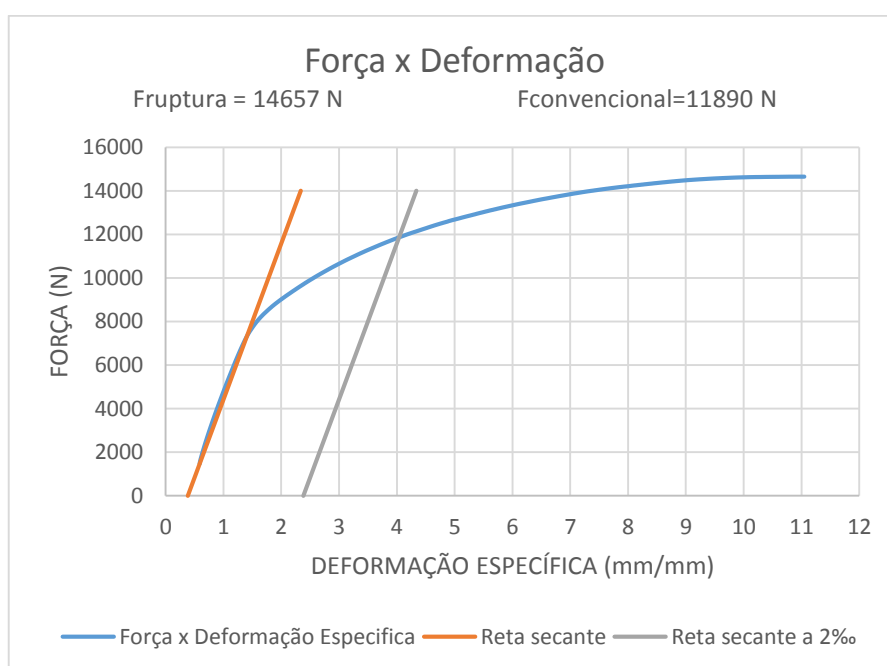
**Gráfico 8- Força x Deformação dos 6 corpos de prova da ligação  $\beta=0^\circ$**   
**Fonte: Autoria própria (2015).**

Pelo Gráfico 8, observa-se que os seis corpos de prova obtiveram um comportamento semelhante, mostrando eficácia nos resultados. Em todos os casos a ruptura se deu por arrancamento da chapa metálica, como pode ser visto na Figura 28.



**Figura 28 - Ruptura por arrancamento**  
**Fonte: Autoria própria (2015).**

Para definição da resistência convencional, comparou-se os valores de resistência de ruptura e de resistência respectiva a deformação específica a 2‰ (Tabela 10), definindo como resistência convencional o menor entre os dois valores. A determinação da resistência respectiva da deformação específica a 2‰, se deu pela interseção da reta paralela a secante afastada a 2‰ com a curva do gráfico Força x Deformação (Gráfico 9). Os gráficos dos demais corpos de prova estão representados no Apêndice A.



**Gráfico 9 - Força x Deformação com reta secante a 2‰ do CP-01**  
**Fonte: Autoria própria (2015).**

**Tabela 10 - Resistência de ruptura e resistência respectiva a deformação de 2‰ da ligação  $\beta=0^\circ$**

Corpo de Prova	RESISTÊNCIA	
	Ruptura (N)	Deformação a 2‰(N)
CP-01	14657	11890
CP-02	17602	12855
CP-03	15927	11808
CP-04	15599	11171
CP-05	15590	11251
CP-06	15401	12579
<b>MÉDIA</b>	15796	11926
<b>DESVIO PADRÃO</b>	981	683
<b>COEF. VARIAÇÃO (%)</b>	6,2	5,7

**Fonte: Autoria própria (2015).**

Analisando a Tabela 10, verifica-se que os 6 corpos de prova tiveram menores resultados na resistência respectiva a deformação específica a 2‰, quando comparada à de ruptura, caracterizando-a como resistência convencional. Tomando esses valores, corrigiram-se as respectivas resistências para a umidade padrão de 12%, demonstrado na Tabela 11. Os valores de umidade utilizados na Equação 7 foram os valores da peça de madeira onde houve o desprendimento da chapa.

**Tabela 11 - Resistência convencional e resistência corrigida da ligação  $\beta=0^\circ$**

Corpo de Prova	Amostra que rompeu	RESISTÊNCIA	
		Convencional (N)	Corrigida 12% (N)
CP-01	1	11890	14164
CP-02	5	12855	15940
CP-03	4	11808	14540
CP-04	3	11171	13852
CP-05	2	11251	13673
CP-06	1	12579	14985
<b>MÉDIA</b>		11926	14526
<b>DESVIO PADRÃO</b>		683	839
<b>COEF. VARIAÇÃO (%)</b>		5,7	5,8

Fonte: Autoria própria (2015).

No ensaio de tração com  $\beta=0$ , obteve-se uma média de 14526 N para a resistência corrigida e os coeficientes de variação das resistências de ruptura, convencional e corrigida a 12% não apresentaram grandes variações, com valores menores que 6%. Com isso, pode-se dizer que os 6 corpos de prova tiveram comportamento semelhante durante o ensaio, como apresentado no Gráfico 8. Para a correção da umidade utilizou-se os valores da Tabela 7.

Como característica da ligação, teve-se a ruptura por arrancamento. Com isso, foram calculadas a tensão de arrancamento e a resistência de arrancamento por dente da chapa, expressos na Tabela 12.

**Tabela 12 – Resistência e tensão de arrancamento por dente**

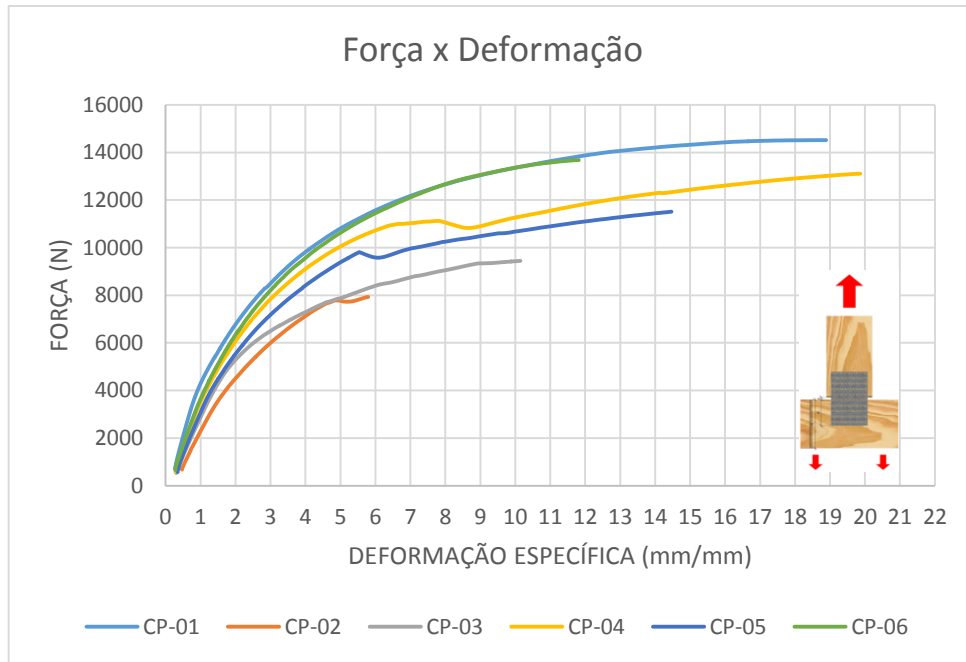
<b>Corpo de Prova</b>	<b>Resistencia Corrigida a 12% (N)</b>	<b>Área de Contato por chapa (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>N° de Dentes por chapa</b>	<b>Tensão arrancamento convencional (Mpa)</b>	<b>Resistencia por Dente (N)</b>
CP-01	14164	7029	50	1,008	142
CP-02	15940	7029	50	1,134	159
CP-03	14540	7029	50	1,034	145
CP-04	13852	7029	50	0,985	139
CP-05	13673	7029	50	0,973	137
CP-06	14985	7029	50	1,066	150
<b>MÉDIA</b>				1,033	145
<b>DESVIO PADRÃO</b>				0,060	8
<b>COEF. VARIAÇÃO (%)</b>				5,8	5,8

Fonte: Autoria própria (2015).

Para a tensão e a resistência de arrancamento expressas na Tabela 12, verificou-se um coeficiente de variação de 5,8%, demonstrando estabilidade nos resultados obtidos nos ensaios, sendo em média 1 Mpa de tensão de arrancamento e 145 N por dente. Estes resultados, demonstram de maneira simplificada, um valor que pode ser utilizado como pré-dimensionamento para arrancamento.

#### 4.5 ENSAIO DE TRAÇÃO NA LIGAÇÃO COM $\beta = 90^\circ$

Para o ensaio de tração na ligação com  $\beta=90^\circ$ , o Gráfico 10 apresenta o diagrama de Força x Deformação dos 6 corpos de prova.



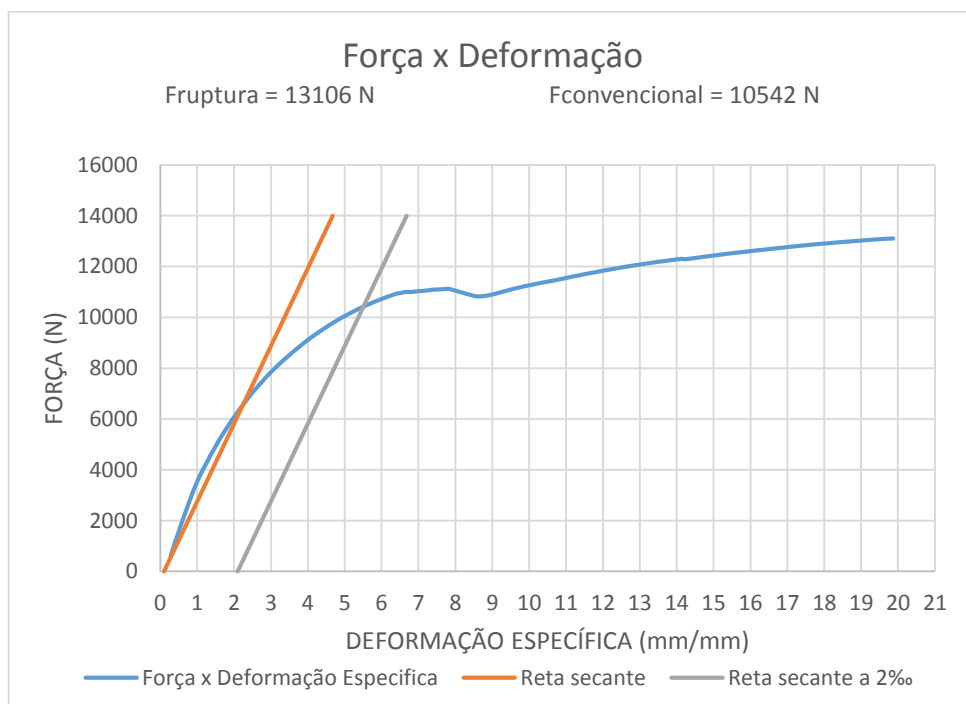
**Gráfico 10 - Força x Deformação dos 6 corpos de prova da ligação  $\beta=90^\circ$**   
**Fonte: Autoria própria (2015).**

Pelo Gráfico 10, observa-se que a variação nos resultados dos ensaios, bem como o comportamento dos seis corpos de prova não foram tão semelhantes entre si. Tal fato pode ter ocorrido devido ao rompimento da ligação ter se dado pela ruptura da madeira na maioria dos casos. Nos 6 corpos de prova, apenas o CP-01 teve o rompimento por arrancamento, o que pode explicar uma maior resistência de ruptura, apresentada na Tabela 13. Os demais tiveram rompimento da madeira por tração normal às fibras, como pode ser visto na Figura 29.



**Figura 29 - Ruptura por tração normal as fibras da madeira**  
**Fonte: Autoria própria (2015).**

Para definição da resistência convencional, fez-se o mesmo processo que no ensaio com  $\beta=0$ , comparando os valores de resistência da ruptura e de resistência respectiva a deformação residual a 2‰ (Tabela 13). A resistência respectiva a deformação residual a 2‰ foi determinada para cada corpo de prova como exemplificado no Gráfico 11. Pode-se observar neste mesmo gráfico, referente ao CP-04, uma diminuição da força aplicada durante o ensaio. Foi observado que isto ocorreu no momento em que começaram alguns estalos na ligação, ou seja, no início do rompimento de algumas fibras da madeira, ocasionando uma deformação um pouco maior, fazendo a máquina perder um pouco do carregamento, porém não ocorrendo o rompimento. O mesmo pode ser observado nos CP-02 e CP-05. Os gráficos dos demais corpos de prova estão representados no Apêndice B.



**Gráfico 11 - Força x Deformação com reta secante a 2‰ do CP-04**  
Fonte: Autoria própria (2015).

**Tabela 13 – Resistência de ruptura e resistência respectiva a deformação de 2‰ da ligação  $\beta=90^\circ$**

Corpo de Prova	RESISTÊNCIA	
	Ruptura (N)	Deformação 2‰(N)
CP-01	14517	11103
CP-02	7930	7730
CP-03	9445	7773
CP-04	13106	10542
CP-05	11511	9798
CP-06	13679	11107
<b>MÉDIA</b>	11698	9676
<b>DESVIO PADRÃO</b>	2575	1566
<b>COEF. VARIAÇÃO (%)</b>	22,0	16,2

Fonte: Autoria própria (2015).

Analisando a Tabela 13, verifica-se que os 6 corpos de prova, tiveram os menores resultados na resistência respectiva a deformação residual a 2‰. Tomando-se esses valores, corrigiram-se as respectivas resistências para a resistência a umidade padrão de 12%, demonstrado na Tabela 14. Os valores de umidade utilizados na Equação 7 foram os valores da peça de madeira onde houve o rompimento da madeira ou desprendimento da chapa.

**Tabela 14 - Resistência convencional e resistência corrigida da ligação  $\beta=90^\circ$**

Corpo de Prova	Amostra que rompeu	RESISTÊNCIA	
		Convencional (N)	Corrigida 12% (N)
CP-01	1	11103	13226
CP-02	5	7730	9585
CP-03	4	7773	9571
CP-04	3	10542	13072
CP-05	2	9798	11908
CP-06	1	11107	13231
<b>MÉDIA</b>		9676	11766
<b>DESVIO PADRÃO</b>		1566	1765
<b>COEF. VARIAÇÃO (%)</b>		16,2	15,0

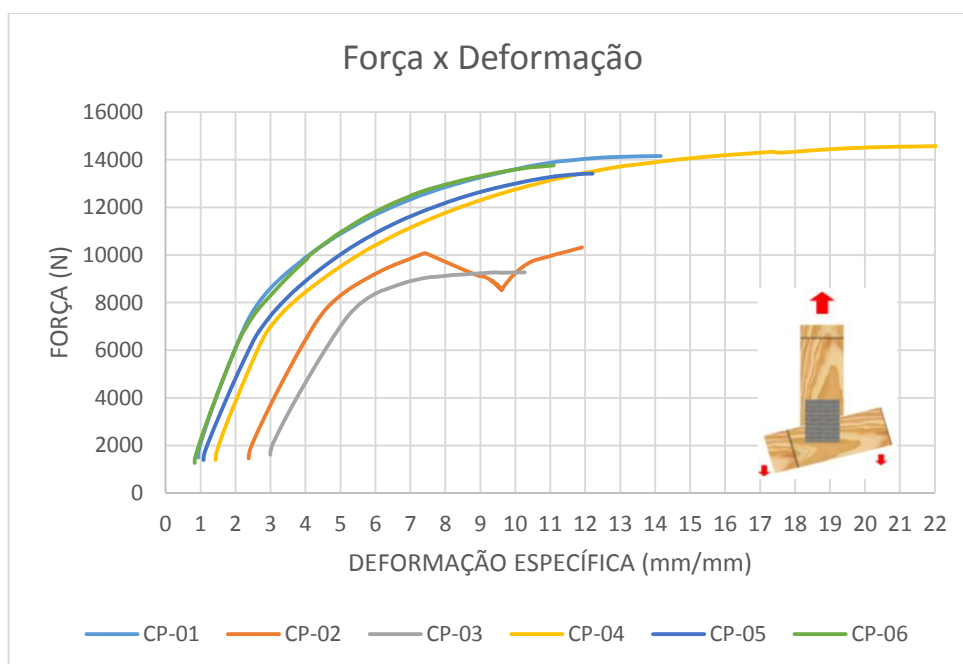
Fonte: Autoria própria (2015).

Neste ensaio observa-se uma resistência corrigida a 12% média de 11766 N, com coeficiente da variação maior do que ao ensaio anterior, sendo este em torno de

15%. Tal coeficiente é considerado satisfatório, pois a ruptura predominante nos ensaios foi por tração normal às fibras da madeira, ou seja, a ruptura se dá por fatores característicos da madeira, a qual é um material natural, cujas propriedades possuem maior variação entre suas amostras, sendo assim, está dentro da normalidade para as propriedades em geral do material madeira. Para a correção da umidade utilizou-se os valores da Tabela 7.

#### 4.6 ENSAIO DE TRAÇÃO NA LIGAÇÃO COM $\beta = 75^\circ$

Para o ensaio de tração na ligação com  $\beta=75^\circ$ , o Gráfico 12 apresenta o diagrama de Força x Deformação dos 6 corpos de prova.



**Gráfico 12 - Força x Deformação dos 6 corpos de prova da ligação  $\beta=75^\circ$**   
**Fonte: Autoria própria (2015).**

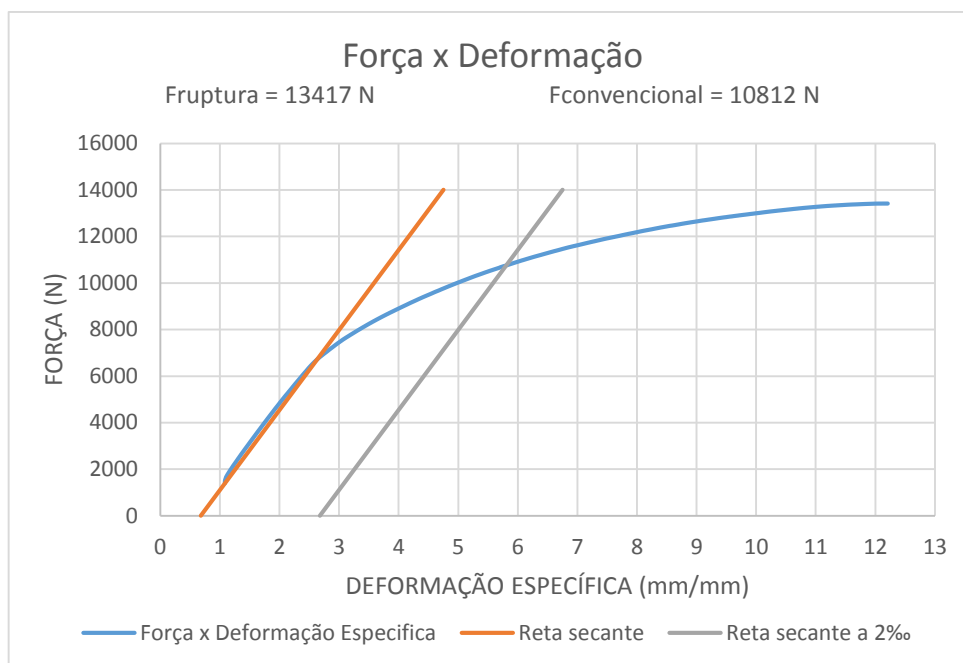
Observa-se pelo Gráfico 12, que o comportamento da ligação, ou seja, a forma como respondeu ao carregamento foi semelhante entre os corpos de prova, porém, houve uma variação significativa na resistência de ruptura. Em todos os ensaios, houve

ruptura na madeira, por tração normal às fibras. O comportamento distinto do CP-02, representado na Figura 30, pode ser explicado pela direção dos esforços na madeira, fazendo com que houvesse desprendimento dos anéis.



**Figura 30 - Ruptura por tração normal as fibras da madeira**  
**Fonte: Autoria própria (2015).**

A definição da resistência convencional, fora obtida através do mesmo processo que nos demais ensaios, considerando o menor valor entre a resistência de ruptura e a resistência respectiva à deformação de 2 ‰ (Tabela 15). O Gráfico 13 representa a determinação da resistência respectiva da deformação residual a 2 ‰ do CP-05. Os gráficos dos demais corpos de prova estão representados no Apêndice C.



**Gráfico 13 - Força x Deformação com reta secante a 2‰ do CP-05**  
**Fonte: Autoria própria (2015).**

**Tabela 15 – Resistência de ruptura e resistência respectiva a deformação de 2‰ da ligação  $\beta=75^\circ$**

Corpo de Prova	RESISTÊNCIA	
	Ruptura (N)	Deformação 2‰(N)
CP-01	14157	11094
CP-02	10320	9849
CP-03	9270	9020
CP-04	14571	10613
CP-05	13417	10812
CP-06	13763	11478
<b>MÉDIA</b>	12583	10478
<b>DESVIO PADRÃO</b>	2219	898
<b>COEF. VARIAÇÃO (%)</b>	17,6	8,6

**Fonte: Autoria própria (2015).**

Através da Tabela 15, nota-se que o coeficiente de variação da resistência de ruptura, 17,6%, foi bem mais elevado que o coeficiente de variação da resistência respectiva à deformação de 2 ‰, 8,6%, estes valores demonstram como os seis corpos de prova tiveram comportamento e valores de resistência muito semelhantes até atingirem a deformação estabelecida por norma, e que após este limite o comportamento e a resistência começaram a se diferenciar em cada corpo de prova.

Com os valores convencionais definidos, corrigiram-se as respectivas resistências para a resistência à umidade padrão a 12%, demonstrado na Tabela 16. Os valores de umidade utilizados na Equação 7 foram os valores da peça onde houve o rompimento da madeira.

**Tabela 16 - Resistência convencional e resistência corrigida da ligação  $\beta=75^\circ$**

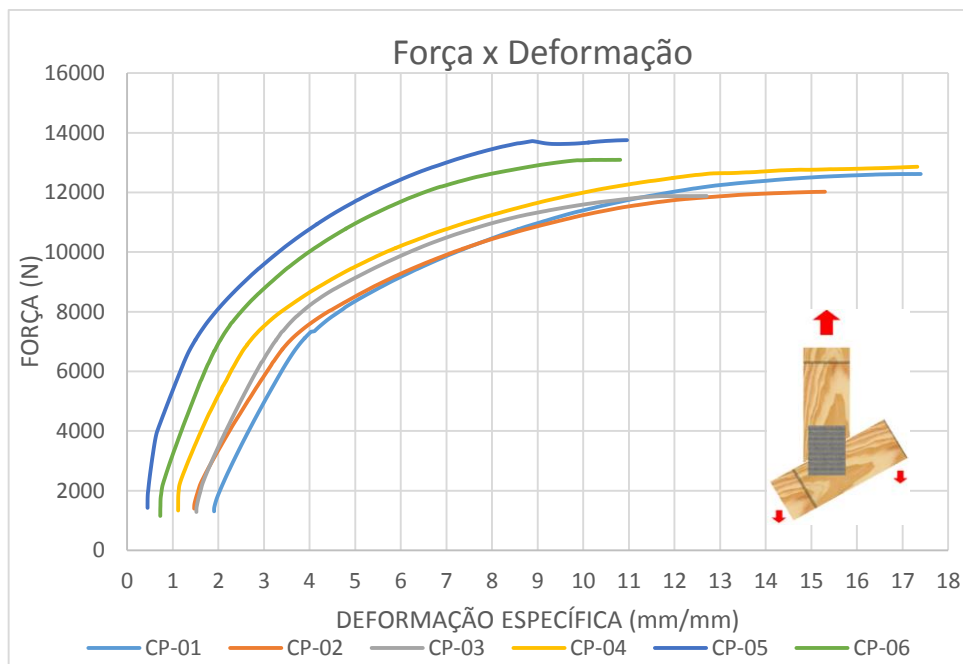
Corpo de Prova	Amostra que rompeu	RESISTÊNCIA	
		Convencional (N)	Corrigida 12% (N)
CP-01	6	11094	13609
CP-02	5	9849	12213
CP-03	4	9020	11107
CP-04	3	10613	13160
CP-05	2	10812	13140
CP-06	1	11478	13673
<b>MÉDIA</b>		10478	12817
<b>DESVIO PADRÃO</b>		898	987
<b>COEF. VARIAÇÃO (%)</b>		8,6	7,7

Fonte: Autoria própria (2015).

Neste ensaio obteve-se uma média de resistência corrigida de 12817 N com coeficiente de variação baixo, de apenas 8,6% para a resistência convencional e de 7,7% para a resistência corrigida.

#### 4.7 ENSAIO DE TRAÇÃO NA LIGAÇÃO COM $\beta = 60^\circ$

Para o ensaio de tração na ligação com  $\beta=60^\circ$ , o Gráfico 14 apresenta o diagrama de Força x Deformação dos 6 corpos de prova.



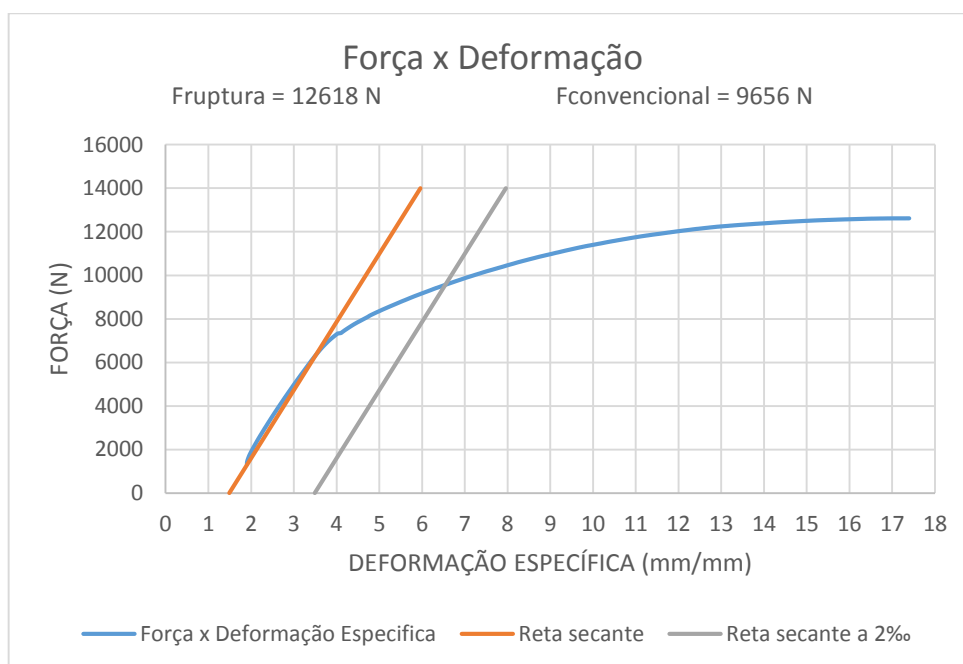
**Gráfico 14 - Força x Deformação dos 6 corpos de prova da ligação  $\beta=60^\circ$**   
**Fonte: Autoria própria (2015).**

Observa-se pelo Gráfico 14, que o comportamento da ligação, ou seja, a forma como respondeu ao carregamento foi semelhante entre os corpos de prova, assim como, na resistência de ruptura. Em todos os ensaios, houve ruptura na madeira, por tração normal às fibras simultaneamente a arrancamento, como visto na Figura 31.



**Figura 31 - Ruptura com evidências de rompimento concomitante por tração normal às fibras da madeira e por arrancamento da chapa**  
**Fonte: Autoria própria (2015).**

A resistência convencional foi obtida considerando o menor valor entre a resistência de ruptura e a resistência respectiva à deformação de 2 ‰ (Tabela 17). O Gráfico 15 representa a determinação da resistência respectiva da deformação a 2 ‰. Os gráficos dos demais corpos de prova estão representados no Apêndice D.



**Gráfico 15 - Força x Deformação com reta secante a 2‰ do CP-01**  
**Fonte: Autoria própria (2015).**

**Tabela 17 - Resistência de ruptura e resistência respectiva a deformação de 2‰ da ligação  $\beta=60^\circ$**

Corpo de Prova	RESISTÊNCIA	
	Ruptura (N)	Deformação 2‰(N)
CP-01	12618	9656
CP-02	12022	9579
CP-03	11879	9834
CP-04	12860	9772
CP-05	13752	10946
CP-06	13092	10793
<b>MÉDIA</b>	12704	10097
<b>DESVIO PADRÃO</b>	696	607
<b>COEF. VARIAÇÃO (%)</b>	5,5	6,0

**Fonte: Autoria própria (2015).**

Através da Tabela 17, nota-se que o coeficiente de variação de ambas as resistências foi muito baixo, sendo satisfatório para o ensaio.

Com os valores convencionais definidos, corrigiram-se as respectivas resistências para a resistência padrão a 12% de umidade, demonstrado na Tabela 18. Os valores de umidade utilizados na Equação 7 foram os valores da peça de madeira onde houve o rompimento da madeira.

**Tabela 18 – Resistência convencional e resistência corrigida da ligação  $\beta=60^\circ$**

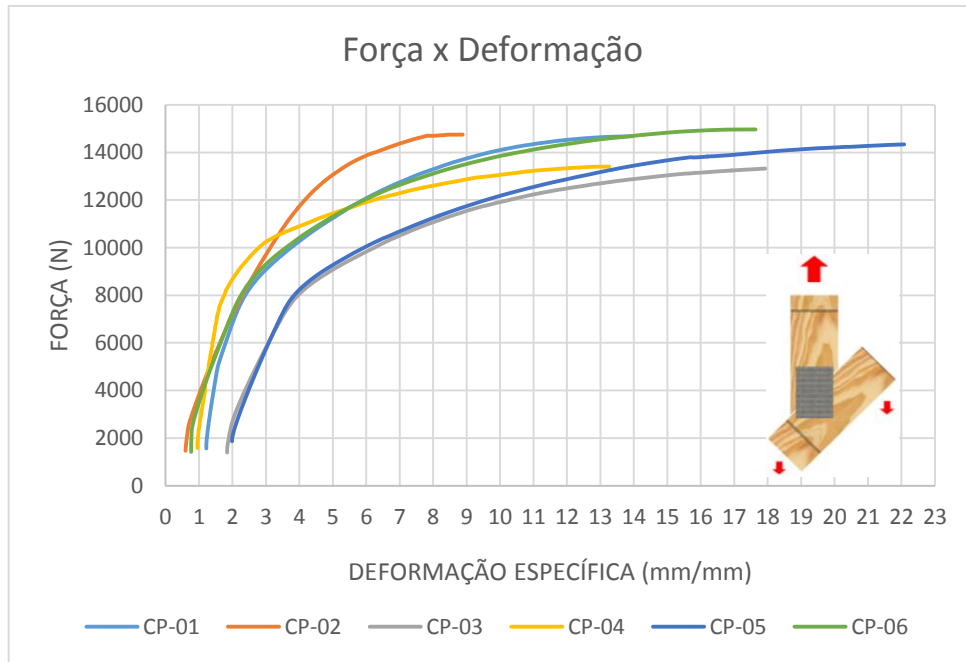
Corpo de Prova	Amostra que rompeu	RESISTÊNCIA	
		Convencional (N)	Corrigida 12% (N)
CP-01	6	9656	11845
CP-02	5	9579	11878
CP-03	4	9834	12109
CP-04	3	9772	12117
CP-05	2	10946	13303
CP-06	1	10793	12857
<b>MÉDIA</b>		10097	12352
<b>DESVIO PADRÃO</b>		607	592
<b>COEF. VARIAÇÃO (%)</b>		6,0	4,8

Fonte: Autoria própria (2015).

Neste ensaio obteve-se uma média de resistência corrigida de 12352 N com coeficiente de variação baixo, de apenas 4,8%.

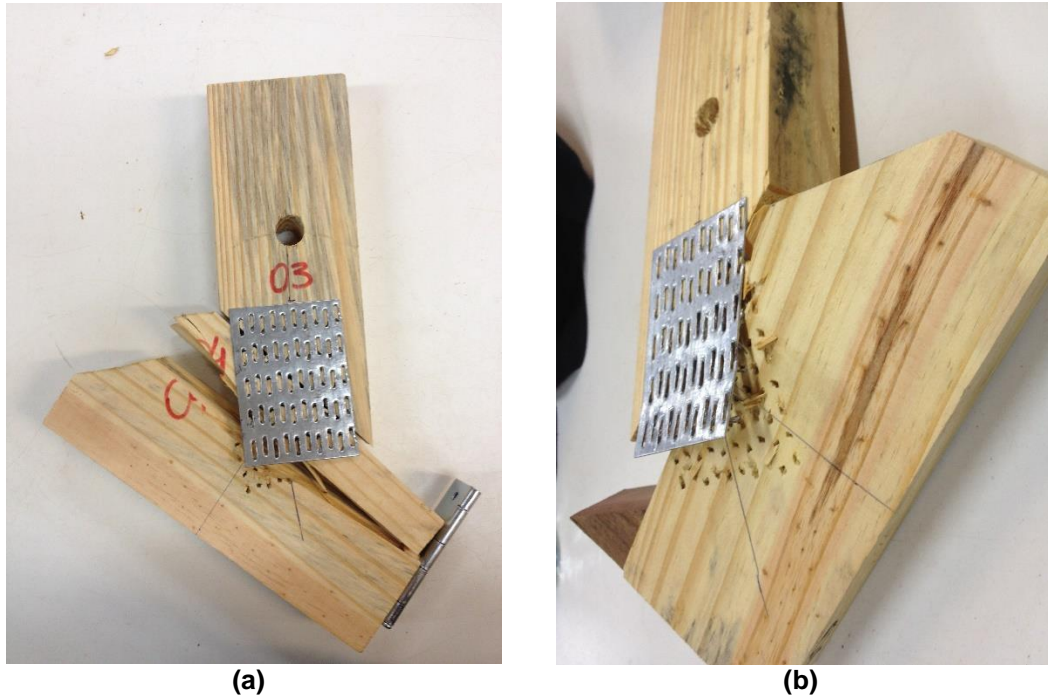
#### 4.8 ENSAIO DE TRAÇÃO NA LIGAÇÃO COM $B=45^\circ$

Para o ensaio de tração na ligação com  $\beta=45^\circ$ , o Gráfico 16 apresenta o diagrama de Força x Deformação dos 6 corpos de prova.



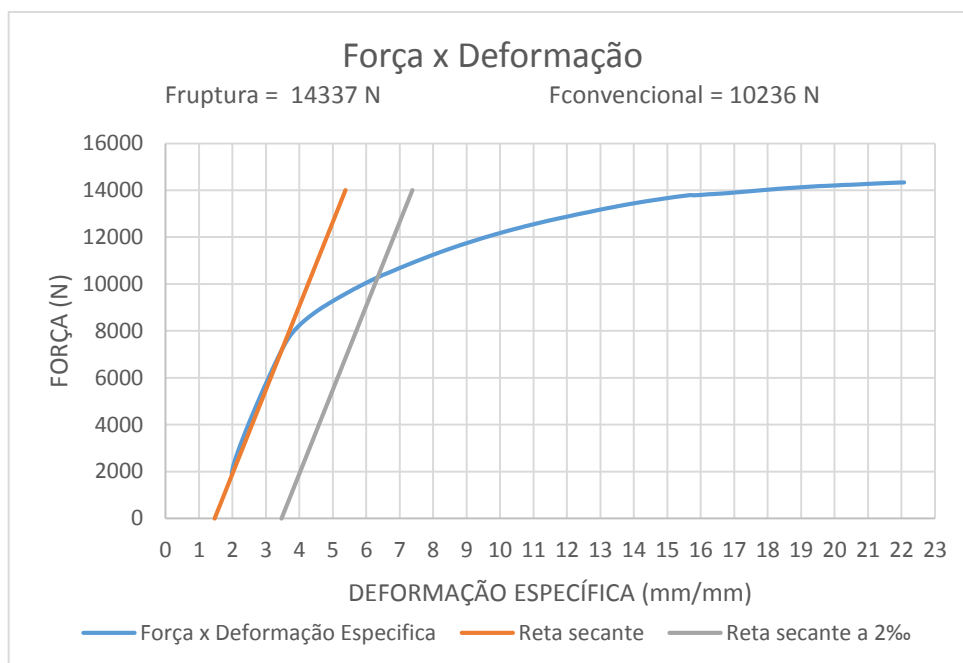
**Gráfico 16 - Força x Deformação dos 6 corpos de prova da ligação  $\beta=45^\circ$**   
**Fonte: Autoria própria (2015).**

Observa-se pelo Gráfico 16, que o comportamento da ligação quanto ao carregamento foi semelhante entre os corpos de prova, assim como a resistência de ruptura dos mesmos, porém, o modo de ruptura da ligação foi bem distribuído, sendo no CP-02, ruptura por tração normal às fibras da madeira, nos CP-03 e CP-05, ruptura por tração normal às fibras e arrancamento da chapa, simultaneamente (Figura 32(a)) e, arrancamento da chapa de dentes estampados nos CP-01, CP-04 e CP-06 (Figura 32(b)).



**Figura 32 – (a): Ruptura com evidências de rompimento concomitante por tração normal às fibras da madeira e por arrancamento da chapa; (b): arrancamento**  
Fonte: Autoria própria (2015).

A resistência convencional foi obtida considerando o menor valor entre a resistência de ruptura e a resistência respectiva à deformação residual de 2 ‰ (Tabela 19). A determinação da resistência respectiva da deformação residual a 2 ‰, se deu pela interseção da reta paralela a secante afastada a 2‰ com a curva do gráfico Força x Deformação (Gráfico 17). Os gráficos dos demais corpos de prova estão representados no Apêndice E.



**Gráfico 17 - Força x Deformação com reta secante a 2‰ do CP-05**  
**Fonte: Autoria própria (2015).**

**Tabela 19 - Resistência de ruptura e resistência respectiva a deformação de 2‰ da ligação  $\beta=45^\circ$**

Corpo de Prova	RESISTÊNCIA	
	Ruptura (N)	Deformação 2‰ (N)
CP-01	14680	10998
CP-02	14749	13685
CP-03	13320	10007
CP-04	13405	10863
CP-05	14337	10236
CP-06	14966	11162
<b>MÉDIA</b>	14243	11159
<b>DESVIO PADRÃO</b>	712	1317
<b>COEF. VARIAÇÃO (%)</b>	5,0	11,8

**Fonte: Autoria própria (2015).**

Através da Tabela 19, nota-se que o coeficiente de variação de ambas as resistências foi baixo, sendo satisfatório para o ensaio. O coeficiente de variação foi mais baixo para a resistência de ruptura, 5%, do que para a resistência a deformação de 2 ‰, 11,8 %, sofrendo interferência, principalmente, pelo CP-02. Devido algumas falhas na execução do ensaio deste corpo de prova, geradas pela dificuldade de fixação no dispositivo, teve-se aplicação da carga algumas vezes sem que houvesse

o rompimento do mesmo, causando, conseqüentemente, fadiga. Com isto, a reta secante obteve uma menor inclinação em relação ao eixo horizontal, apresentando menor redução da resistência de ruptura.

Após definição dos valores convencionais, fez-se a correção das respectivas resistências para a resistência a umidade padrão de 12%, apresentados na Tabela 20. Do mesmo modo que nos ensaios anteriores, para a Equação 7, utilizaram-se os valores de umidade da peça de madeira onde houve o rompimento da madeira ou desprendimento da chapa.

**Tabela 20 – Resistência convencional e resistência corrigida da ligação  $\beta=45^\circ$**

Corpo de Prova	Amostra que rompeu	RESISTÊNCIA	
		Convencional (N)	Corrigida 12% (N)
CP-01	1	10998	13101
CP-02	5	13685	16969
CP-03	4	10007	12322
CP-04	4	10863	13376
CP-05	2	10236	12440
CP-06	1	11162	13297
<b>MÉDIA</b>		11159	13584
<b>DESVIO PADRÃO</b>		1317	1716
<b>COEF. VARIAÇÃO (%)</b>		11,8	12,6

Fonte: Autoria própria (2015).

A média da resistência corrigida foi de 13584 N com coeficiente de variação de 12,6%.

#### 4.9 ANÁLISE COMPARATIVA DOS ENSAIOS

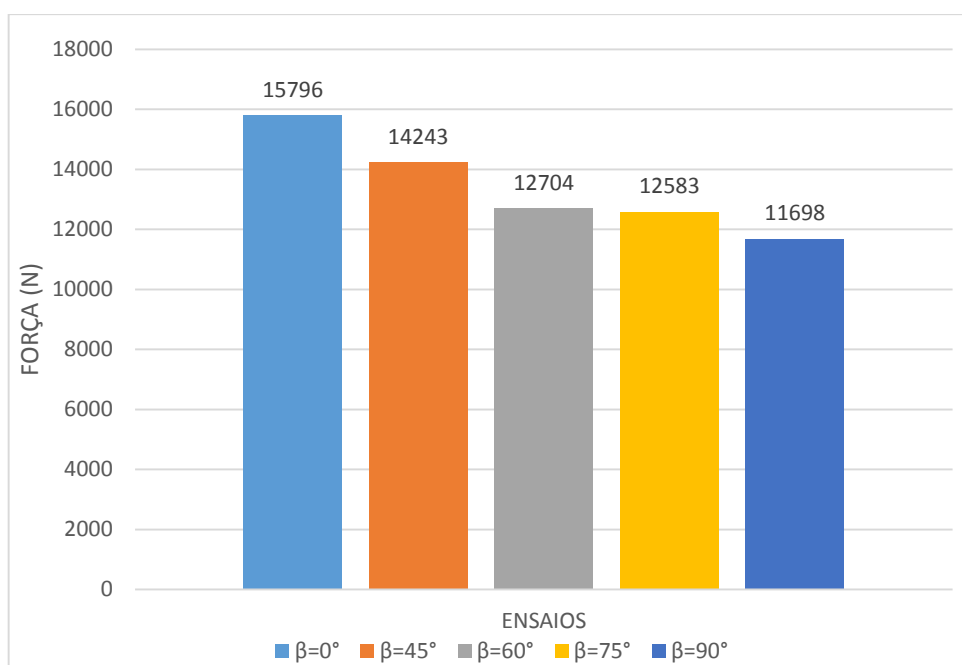
A Tabela 21 apresenta um resumo dos resultados obtidos nos ensaios.

**Tabela 21 – Resumo dos ensaios das ligações**

Corpo de Prova	Amostra que Rompeu	Modo de rompimento	Resistência		
			Ruptura (N)	Convencional (N)	Corrigida a 12% (N)
<b>LIGAÇÃO PARALELA T0,0</b>					
CP-01	1	Arrancamento	14657	11890	14164
CP-02	5	Arrancamento	17602	12855	15940
CP-03	4	Arrancamento	15927	11808	14540
CP-04	3	Arrancamento	15599	11171	13852
CP-05	2	Arrancamento	15590	11251	13673
CP-06	1	Arrancamento	15401	12579	14985
<b>MÉDIA</b>			15796	11926	14526
<b>LIGAÇÃO PERPENDICULAR T0,90</b>					
CP-01	1	Arrancamento	14517	11103	13226
CP-02	5	Ruptura madeira	7930	7730	9585
CP-03	4	Ruptura madeira	9445	7773	9571
CP-04	3	Ruptura madeira	13106	10542	13072
CP-05	2	Ruptura madeira	11511	9798	11908
CP-06	1	Ruptura/Arrancam.	13679	11107	13231
<b>MÉDIA</b>			11698	9676	11766
<b>LIGAÇÃO INCLINADA T0,75</b>					
CP-01	6	Ruptura/Arrancam.	14157	11094	13609
CP-02	5	Ruptura madeira	10320	9849	12213
CP-03	4	Ruptura/Arrancam.	9270	9020	11107
CP-04	3	Ruptura/Arrancam.	14571	10613	13160
CP-05	2	Ruptura madeira	13417	10812	13140
CP-06	1	Ruptura/Arrancam.	13763	11478	13673
<b>MÉDIA</b>			12583	10478	12817
<b>LIGAÇÃO INCLINADA T0,60</b>					
CP-01	6	Ruptura/Arrancam.	12618	9656	11845
CP-02	5	Ruptura/Arrancam.	12022	9579	11878
CP-03	4	Ruptura/Arrancam.	11879	9834	12109
CP-04	3	Ruptura/Arrancam.	12860	9772	12117
CP-05	2	Ruptura/Arrancam.	13752	10946	13303
CP-06	1	Ruptura/Arrancam.	13092	10793	12857
<b>MÉDIA</b>			12704	10097	12352
<b>LIGAÇÃO INCLINADA T0,45</b>					
CP-01	1	Arrancamento	14680	10998	13101
CP-02	5	Ruptura madeira	14749	13685	16969
CP-03	4	Ruptura/Arrancam.	13320	10007	12322
CP-04	4	Arrancamento	13405	10863	13376
CP-05	2	Ruptura/Arrancam.	14337	10236	12440
CP-06	1	Arrancamento	14966	11162	13297
<b>MÉDIA</b>			14243	11159	13584

Fonte: Autoria própria (2015).

Através da Tabela 21, fica evidente que há uma tendência de as ligações onde o ângulo  $\beta$  for igual a zero, terem as maiores resistências de ruptura e, quando este ângulo tender a  $90^\circ$ , essas resistências tendem a ser menores, o que explica o fato de as ligações do ensaio com  $\beta=0^\circ$  apresentarem a maior média das resistências de ruptura, sendo de 15796 N e, as ligações com  $\beta=90^\circ$  a menor média, de 11698 N, sendo que os ângulos intermediários apresentaram valores dentro deste intervalo, como mostra o Gráfico 18. A variação entre a maior e a menor média foi de aproximadamente 25,9%.



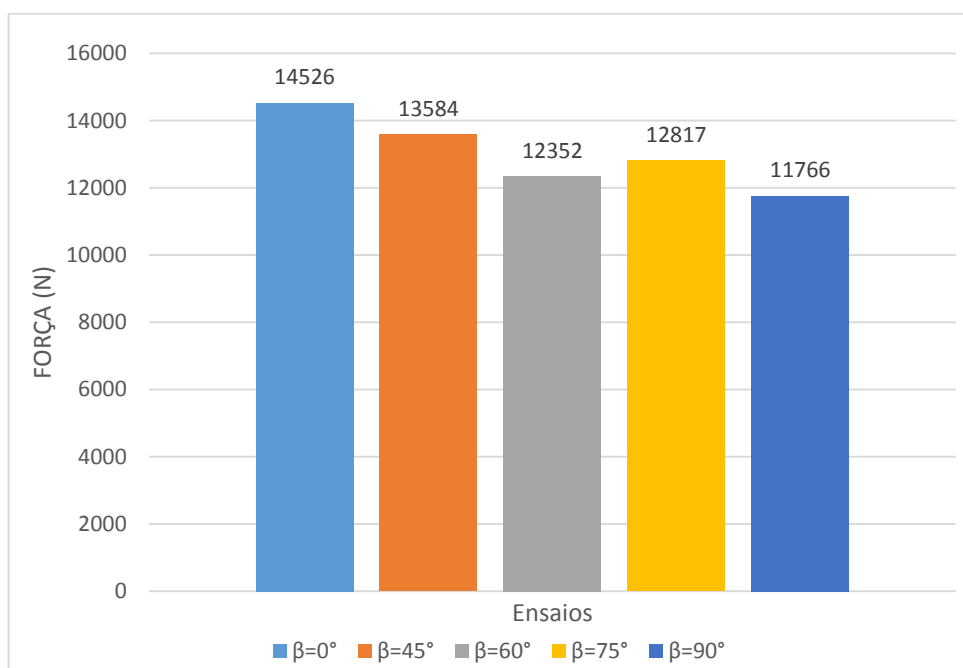
**Gráfico 18 – Comparativo das médias das resistências de ruptura**  
**Fonte: Autoria própria (2015).**

Percebe-se, pela mesma tabela, que houve uma variação no modo de ruptura da ligação de acordo com sua inclinação, se por arrancamento, ruptura na madeira ou ambos, assim como a variação da resistência de ruptura. A ligação com  $\beta=0^\circ$  apresentou ruptura por arrancamento em todos os corpos de prova, a ligação com  $\beta=45^\circ$ , arrancamento em metade da amostra e ruptura da madeira na outra metade, a ligação com  $\beta=60^\circ$  apresentou ruptura na madeira e por arrancamento simultaneamente, a ligação com  $\beta=75^\circ$ , variou entre ruptura na madeira e ruptura na madeira e arrancamento simultâneas, enquanto que, a ligação com  $\beta=90^\circ$  apresentou

ruptura predominante na madeira, sendo arrancamento em apenas um corpo de prova, demonstrando que, na maioria dos casos, as maiores resistências de ruptura foram obtidas na ruptura por arrancamento.

A NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO...,1997) define como resistência da ligação o menor valor entre resistência de ruptura e resistência respectiva à deformação residual a 2‰, a qual denominamos resistência convencional. Para todos os ensaios a resistência convencional foi a resistência respectiva à deformação a 2 ‰.

Como cada corpo de prova está relacionado a duas amostras de madeira com diferentes umidades e densidades, é necessária a padronização da resistência convencional à umidade padrão de 12%, as quais estão expressas na Tabela 21. O Gráfico 19 apresenta as médias das resistências corrigidas.

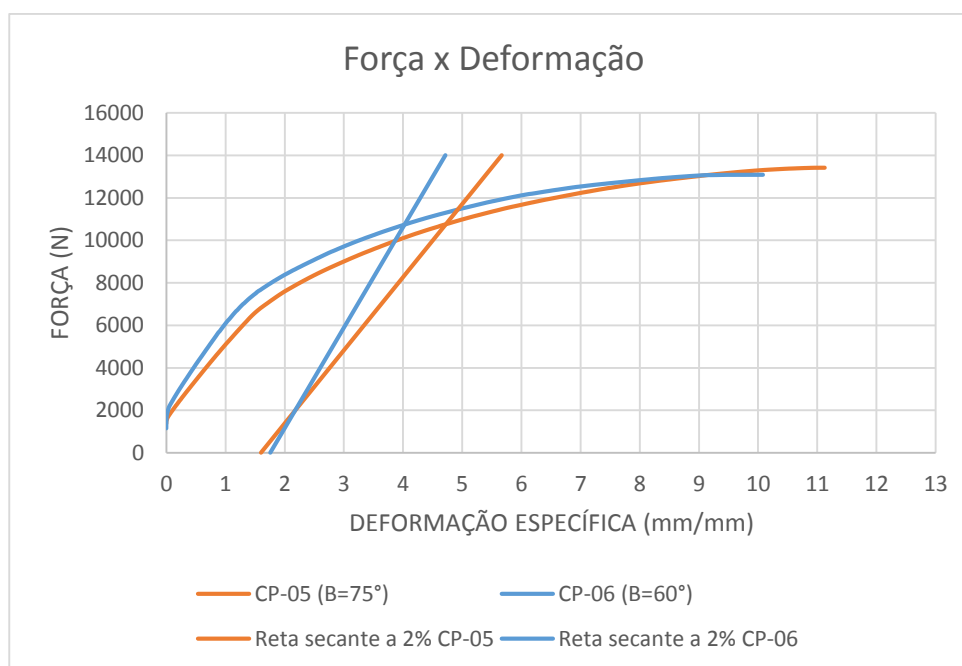


**Gráfico 19 – Comparativo das médias das resistências corrigidas à umidade padrão de 12%**

**Fonte: Autoria própria (2015).**

Pelo Gráfico 19, percebe-se que há a mesma tendência entre a relação da resistência com a inclinação das ligações, porém, o ensaio com  $\beta=75^\circ$  obteve resistência maior que o ensaio da ligação com  $\beta=60^\circ$ . Pode-se considerar que tal fato correu devido a resistência respectiva de deformação residual a 2 ‰ estar mais próxima a resistência de ruptura no ensaio com  $\beta=75^\circ$ , tendo redução média de 16%,

enquanto que no ensaio com  $\beta=60^\circ$ , a redução média foi de 20%. Isto aconteceu devido a deformação ocorrida no início do carregamento ser maior nos corpos de prova das ligações com  $\beta=75^\circ$ , como visto no exemplo a seguir.



**Gráfico 20 - Força x Deformação com reta secante a 2% do CP-05 ( $\beta=75^\circ$ ) e do CP-06 ( $\beta=60^\circ$ )**

**Fonte: Autoria própria (2015).**

O Gráfico 20 mostra a curva Força x Deformação do CP-05 do ensaio da ligação com  $\beta=75^\circ$  e curva do CP-06 do ensaio da ligação com  $\beta=60^\circ$ . Analisando a sobreposição das curvas, é possível observar que a reta secante do CP-05 está mais inclinada do que a do CP-06 devido a maior deformação no último carregamento a 50% da força de ruptura. Conseqüentemente, a sua reta paralela à 2% da secante interceptou a curva do gráfico mais próximo do ponto de ruptura do que a reta paralela do CP-06, obtendo assim uma redução menor.

Para melhor compreensão dos resultados obtidos, a Tabela 22 apresenta uma simplificação dos mesmos.

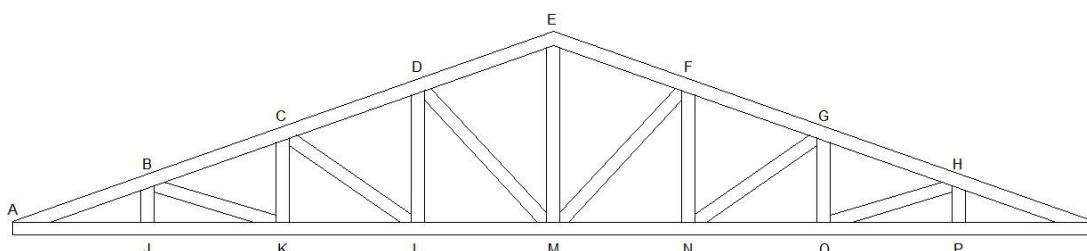
**Tabela 22 – Simplificação dos resultados**

Ligação	Modo de rompimento predominante	Resistência Média		
		Ruptura (N)	Convencional (N)	Corrigida a 12% (N)
Ligação $\beta=0^\circ$	Arrancamento	15796	11926	14526
Ligação $\beta=45^\circ$	Arrancamento e Ruptura da Madeira	14243	11159	13584
Ligação $\beta=60^\circ$	Arrancamento e Ruptura concomitantemente	12704	10097	12352
Ligação $\beta=75^\circ$	Arrancamento e Ruptura concomitantemente	12583	10478	12817
Ligação $\beta=90^\circ$	Ruptura da Madeira	11698	9676	11766

Fonte: Autoria própria (2015).

#### 4.10 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS COM OS ESFORÇOS NUMA TESOURA LEVE EM MADEIRA

Para obter uma relação entre os esforços solicitados em uma tesoura leve do tipo *Howe*, característica do sistema *wood frame* (Figura 33) e as resistências encontradas para as ligações estudadas, adotou-se uma edificação com 8 metros de largura, 10 metros de comprimento e altura de 3 metros, localizada na região urbana de Pato Branco-PR. De acordo com as recomendações já mencionadas, estabeleceu-se um espaçamento de 60 cm entre as tesouras, sendo dispostas ao longo dos 10 metros. Adotou-se seção de 2"x4", a mesma adotada para os ensaios das ligações, para as peças da tesoura e, inclinação de 35%.



**Figura 33 – Esquema de tesoura leve tipo Howe**  
Fonte: Autoria própria (2015).

Para obtenção dos esforços, foram adotados os seguintes carregamentos:

#### Cargas permanentes

- Madeira Pinus: 480 Kg/m<sup>3</sup>
- Chapa de dente estampado: 73,81 g/unidade
- Telha LP Shingles: 10,06 kg/m<sup>2</sup>
- LP OSB Home plus 11,1 mm: 7,22Kg/m<sup>2</sup>
- LP Subcobertura: 0,5Kg/m<sup>2</sup>

#### Cargas Variáveis

- Manutenção: 1 KN na posição mais desfavorável
- Carga de vento de acordo com a NBR 6123

Para análise dos esforços foram efetuadas as combinações das cargas permanentes com a carga de manutenção e as diferentes situações de vento, a fim de determinar os esforços mais críticos em cada elemento da tesoura. Os resultados para cada combinação estão apresentados na Tabela 1 do Apêndice F e os esforços críticos seguem na Tabela 23.

**Tabela 23 – Esforços críticos solicitantes nos elementos da tesoura**

ELEMENTO	BARRA	COMPOSIÇÃO CRÍTICA DE ESFORÇOS - VALORES DE CÁLCULO		ELEMENTO	BARRA	COMPOSIÇÃO CRÍTICA DE ESFORÇOS - VALORES DE CÁLCULO	
		COMPRESSÃO (-) (N)	TRAÇÃO (+) (N)			COMPRESSÃO (-) (N)	TRAÇÃO (+) (N)
BANZO SUPERIOR	AB	-4160,67	6202,83	BANZO INFERIOR	AJ	-5734,84	3911,60
	BC	-4064,41	5604,55		JK	-5710,06	3973,47
	CD	-3675,32	4796,78		KL	-4867,28	3815,68
	DE	-3272,62	4039,04		LM	-3857,30	3459,86
	EF	-3272,62	4039,04		MN	-3857,30	3459,86
	FG	-3675,32	4796,78		NO	-4867,28	3815,68
	GH	-4064,41	5604,55		OP	-5710,06	3973,47
	HI	-4160,67	6202,83		PI	-5734,84	3911,60
MONTANTES	BJ	-83,44	168,02	DIAGONAIS	BK	-211,81	847,62
	CK	-339,03	96,32		CL	-430,85	1205,09
	DL	-683,56	243,91		DM	-533,19	1375,37
	EM	-2029,62	789,65		FM	-533,19	1375,37
	FN	-683,56	243,91		GN	-430,85	1205,09
	GO	-339,03	96,32		HO	-211,81	847,62
	HP	-83,44	62,66				

Fonte: Autoria própria (2015).

De acordo com as recomendações do Boletim Técnico GNA-80 (BOLETIM..., 2015), as solicitações de esforços nas ligações com chapas de dentes estampados quanto à compressão, podem ter seus valores reduzidos a 50% devido à transferência das cargas pelo contato madeira-madeira.

Observando os valores críticos encontrados, nota-se que os valores de tração para o banzo superior são os mais críticos na tesoura. Conforme a Tabela 1 do Apêndice F, esses esforços se dão pela combinação da carga permanente da estrutura com as situações de vento, ou seja, percebe-se que a estrutura é leve a ponto de inverter os esforços devido à força do vento.

Por fim, fazendo um comparativo entre a Tabela 21, das resistências das ligações com variação do ângulo  $\beta$ , e a Tabela 23, com os esforços críticos de tração na tesoura, nota-se que a ordem de grandeza dos esforços nas ligações, para este telhado objeto de estudo, são compatíveis com os resultados experimentais obtidos. Considerando a menor das resistências obtidas nos ensaios das ligações, para a situação que se apresentou menos favorável, sendo  $\beta=90^\circ$ , tem-se o valor de tração mais crítico da tesoura atendido, mostrando a viabilidade deste sistema de ligação para o sistema de estrutura proposto.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do crescimento do mercado da construção civil e a diminuição de alguns materiais usados em grande escala, como a madeira, faz com que algumas regiões, principalmente Sul e Sudeste, enfrentem dificuldades para atender a essa demanda, necessitando cada vez mais, buscar o material em regiões mais afastadas.

Surge então, a necessidade de se adaptar a madeiras de reflorestamento como o Pinus e Eucalipto, que hoje estão presentes em grande proporção nas regiões Sul e Sudeste, tendo seu uso destinado principalmente a celulose, carvão vegetal e lenha. Visto que a oferta destas espécies é relativamente ampla, torna-se uma opção viável a sua implementação na construção civil, não apenas suprimindo a necessidade, mas trazendo garantia da origem e certificação do produto, reduzindo o impacto nas florestas nativas e contribuindo para a preservação do meio ambiente.

Uma maneira de introduzir a madeira proveniente de florestas plantadas na construção é introduzir sistemas que sejam eficazes e, onde o emprego da madeira, dentro das devidas características de manuseio, seja satisfatório.

No Brasil, o uso da madeira proveniente de florestas plantadas dentro do setor na construção civil é destinado, principalmente, as primeiras etapas de uma obra, como na fase de formas e escoramento. Porém, este uso pode ser ampliado, sendo aplicados novos sistemas que sejam eficazes e, onde o emprego da madeira, de acordo com suas características, seja satisfatório, como é o caso do sistema de tesouras leves, utilizado no sistema *wood frame*, já difundido em países norte-americanos e europeus.

Esse sistema de cobertura constitui na utilização de madeiras leves e de fácil trabalhabilidade, tendo seus elementos ligados através de chapas de dentes estampados (CDEs), implicando na rapidez de execução e aplicação e, em outros fatores, como na redução do peso da estrutura, possuindo assim, vocação para a industrialização, garantindo um maior controle de qualidade do produto.

O presente trabalho teve como propósito verificar a resistência das ligações de madeira de reflorestamento, sendo o Pinus em específico, utilizando chapas de dentes estampados e os diferentes modos de ruptura. Para obtenção dos resultados

foram ensaiados diferentes arranjos, variando o ângulo de aplicação da força em relação às fibras da madeira.

Com base nos resultados obtidos, pode-se verificar uma tendência dos valores de resistência e nos modos de ruptura da ligação, de acordo com o ângulo estabelecido. Para ângulos que tendem a  $0^\circ$ , os ensaios apresentaram resistências mais elevadas e ruptura da ligação por arrancamento da chapa, para ângulos que tendem à  $90^\circ$ , as resistências obtidas foram mais baixas, tendo como ruptura tração normal às fibras da madeira, enquanto que, para  $45^\circ$ , os valores apresentaram-se intermediários a estes, com modo de ruptura caracterizado por rompimento concomitante por tração normal às fibras da madeira e por arrancamento. Os resultados obtidos foram coerentes e satisfatórios, visto que, o coeficiente de variação de cada ensaio se demonstrou baixo, dentro da normalidade das características do material.

Ao comparar as resistências obtidas para as ligações com os esforços atuantes numa tesoura leve em madeira do sistema *wood frame*, constata-se que os resultados foram compatíveis, demonstrando a viabilidade de sua aplicação.

Portanto, pode-se dizer que a implementação do sistema de cobertura de tesouras leves com ligações com CDEs, bem como a industrialização, é uma opção para a construção civil, auxiliando no suprimento da demanda por madeira de forma sustentável, eficiente e de qualidade.

## REFERÊNCIAS

ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. ABRAF. Brasília - DF. 2013. 148 p.

ALPINE EQUIPMENTS. **Ram Easy Rider**. Grand Prairie, TX. 2p. Disponível em: < [http://alpineequip.com/images/stories/pdfs/ram\\_easyrider\\_brochure.pdf](http://alpineequip.com/images/stories/pdfs/ram_easyrider_brochure.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2015.

ALPINE EQUIPMENTS. **Roller Press**. Grand Prairie, TX. 2p. Disponível em: < [http://alpineequip.com/images/stories/pdfs/roller\\_press\\_brochure.pdf](http://alpineequip.com/images/stories/pdfs/roller_press_brochure.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2015.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE / TRUSS PLATE INSTITUTE (2007). **ANSI/TPI 1 - National design standard for metal plate connected wood truss construction**. 2007. 238p.

APFP. **Associação Paulista de Produtores de Florestas Plantadas**. Pinus. Disponível em: <<http://www.floresta.org.br/index.php?interna=textos/pinus&grupo=4>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7008**: Chapas e bobinas de aço revestidas com zinco ou com liga zinco-ferro pelo processo contínuo de imersão a quente – Especificação. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

BARALDI, Lívio T. **Método de ensaio de ligações de estruturas de madeira por chapas com dentes estampados**. 1996. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

BLOG RESINA DE PINUS. **Série Pinus e Resina – Pinus elliottii var. elliottii**. 2013. Disponível em: < <http://resinadepinus.blogspot.com.br/2013/01/serie-pinus-e-resina-pinus-elliottii.html>>. Acesso em: 10 Jun. 2015.

BOLETIM TÉCNICO GNA-80: TRELIÇAS PARA TELHADOS. **Gang-Nail**. Itaquaquecetuba – São Paulo. 19 p. Mensagem recebida por representante da Gang-Nail em 18 maio, 2015.

CALIL JUNIOR, Carlito. **Estruturas de madeira no Brasil**: estudo de casos. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. p. 53-67.

CALIL JUNIOR, Carlito. **O Potencial do uso da madeira de pínus na construção civil**. 2002. PINI. Disponível em: <<http://piniweb.pini.com.br/construcao/noticias/o-potencial-do-uso-da-madeira-de-pinus-na-construcao-81480-1.aspx>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

CALIL JUNIOR, Carlito; MOLINA, Julio C. **Coberturas em estruturas de madeira**: exemplos de cálculo. São Paulo: Pini, 2010.

CALIL JUNIOR, Carlito; MOLINA, Julio C. **Sistema construtivo em wood frame para casas de madeira**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 31, n. 2, p. 143-156, jul./dez. 2010.

CANADA MORTGAGE AND HOUSING CORPORATION (CMHC). **Canadian Wood-Frame House Construction**. Canadá, 2014.

CANADIAN WOOD COUNCIL. **Wood Trusses: Strength, Economy, Versatility**. International Building series, N° 2. 12p. Disponível em: <[http://www.canadawood.cn/downloads/pdf/trusses/trusses\\_english.pdf](http://www.canadawood.cn/downloads/pdf/trusses/trusses_english.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2015.

EUROPEAN PRESTANDARD. **EUROCODE 5 – Design of timber structures – Part1-1: General rules and rules for buildings**. Brussels: [S.n], 2004. 123p.

ABIMCI. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. **Aplicação da Madeira na Construção Civil**. Artigo técnico. Agosto, 2004.

FURTADO, Marcelo; ZENID, Geraldo J. (Coord.). **Madeira**: uso sustentável na construção civil. 2 ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA, 2009.

GANG-NAIL. **GNA-80 – Conector Estrutural para Fabricação de Trelças**. Disponível em:

< [http://gangnail.com.br/index\\_interna.php?c=16&s=44&lang=16](http://gangnail.com.br/index_interna.php?c=16&s=44&lang=16)>. Acesso em: 10 Jun. 2015.

GERHARDT, Tatiana E.; SILVEIRA, Denise T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS , 2009. 120 p.

GESUALDO, Francisco. A. R. Notas de aula de estruturas de madeira. Faculdade de Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2003.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GLOBAL WOOD. **Ficha Técnica: Madeira de Pinus**. Disponível em: < <http://www.globalwood.com.br/noticias/ficha-tecnica-madeira-de-pinus/#.VX8ssvIVhBd>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

GRAVIA. **Estrutura metálica para telhados**. Disponível em: <<http://www.gravia.net.br/lojas/p/estrutura-metalica-para-telhados>>. Acesso em: 24 mai. 2015.

HAMÚ, Denise; ZENID, Geraldo J. (Coord.). **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2 ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA, 2009.

ISEAL ALLIANCE. **Para produzir e consumir com responsabilidade no Brasil**. EcosSISTEMAS. São Paulo. 2013.

IMAFLOA. **Relatório Anual 2013**. Piracicaba – SP. 2014.

IPT. Instituto de pesquisas tecnológicas. **Informações sobre madeiras: Pinus-eliote**. Disponível em: < [http://www.ipt.br/informacoes\\_madeiras3.php?madeira=7](http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=7)>. Acesso em: 23 mai. 2015.

*ITW. Illinois Tool Works, Inc. Roof truss & floor joist systems. Windsor, EN. 2011. 44p.* Disponível em: < <http://itw-industry.com/lit/Alpine/Roof-Truss-And-Floor-Joist-Systems/#/1/>> Acesso em: 10 jun. 2015.

LAKATOS, Eva M.; MARCONI, Marina de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LOGSDON, Norman. B. **Estruturas de madeira para coberturas, sob a ótica da NBR 7190/1997**. Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá, MT. 2002.

LP *Building Products*. **Beleza e 100% de estanqueidade de telhados e coberturas**. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/produtos/lp-telha-shingle.html>> Acesso em: 23 mai, 2015.

LP *Building Products*. **O melhor painel estrutural do mundo**. Disponível em: <<http://www.lpbrasil.com.br/produtos/lp-osb-home-plus-estrutural.html>> Acesso em: 01 nov, 2015.

MARTINS, Odilon. **Estudo das ligações por conectores de chapas com dentes estampados em peças estruturais de madeira**. 2007. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado de São Paulo, Ilha Solteira, 2007.

MOLITERNO, Antonio. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. **Estruturas de Madeiras**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

PRYDE. **Clicka Press**. Melbourne, VIC. 2008. 2p. Disponível em: <[file:///C:/Users/Nagian/Downloads/13\\_Clicka\\_Press.pdf](file:///C:/Users/Nagian/Downloads/13_Clicka_Press.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2015.

RACIA. **Sistema shingle GAF**. Disponível em: <<http://www.racia.com.br/telhas-shingle/>>. Acesso em: 23 mai. 2015.

RANDEK AB. **Auto Eye Truss System SF022**. Falkenberg. 8p. Disponível em: <[http://www.randek.com/fileadmin/randek/PDF/SF022\\_EN.pdf](http://www.randek.com/fileadmin/randek/PDF/SF022_EN.pdf)> Acesso em: 10 jun. 2015.

RANDEK AB. **Cut Saw SP720**. Falkenberg. 16p. Disponível em: <[http://www.randek.com/fileadmin/randek/PDF/SP720\\_EN.pdf](http://www.randek.com/fileadmin/randek/PDF/SP720_EN.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2015.

RANDEK AB. **Digital laser for house manufacturers.** Disponível em: <<http://www.randek.com/products/roof-truss-system/roof-truss-laser-system/>>. Acesso em: 10 jun. 2015.

RANDEK AB. **Truss System NT.** Falkenberg. 14p. Disponível em: <[http://www.randek.com/fileadmin/randek/PDF/NT\\_EN.pdf](http://www.randek.com/fileadmin/randek/PDF/NT_EN.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2015.

REIS, Frederico S. B. dos; SOUZA, Ubiraci E. L. de. **Coberturas com telhados:** definições, características gerais e visão analítica. Boletim técnico da escola politécnica da USP. São Paulo: EPUSP, 2007. 41 p.

SANTANA, L.C. **Análise não-linear de pórticos planos de madeira com ligações semi-rígidas.** 2002. 214f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

SEBRAE 2014. **Utilização da madeira certificada na construção civil: Um diferencial.** São Paulo. 8 p.

SOUZA, M. **Divisores de água.** Técnica, Madson, n. 16, p.16-19, 1995.

UJVARI, W.Z. **Ligações em madeira, feitas com conectores dentados “Gang-Nail”.** In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS MADEIRA 1983, São Carlos. Anais... São Carlos: IBRAMEN, 1983. v.2. p.01-25.

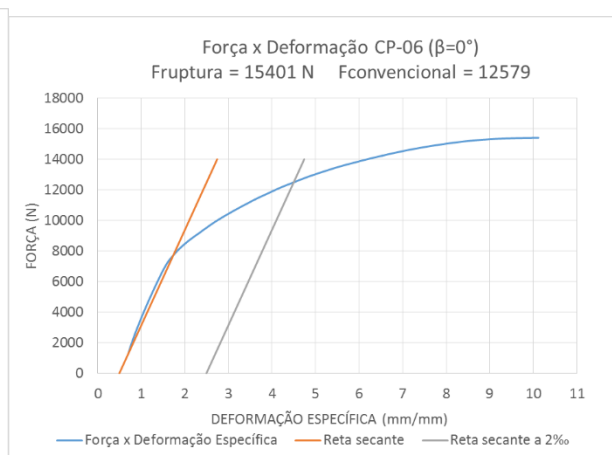
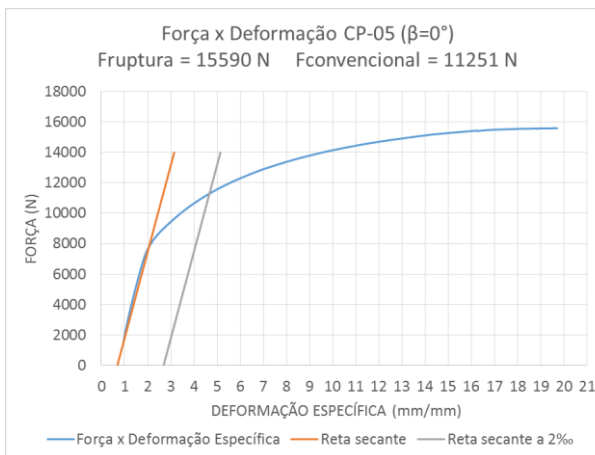
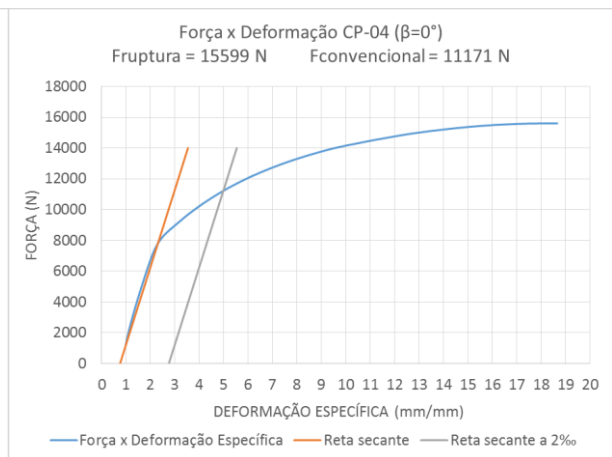
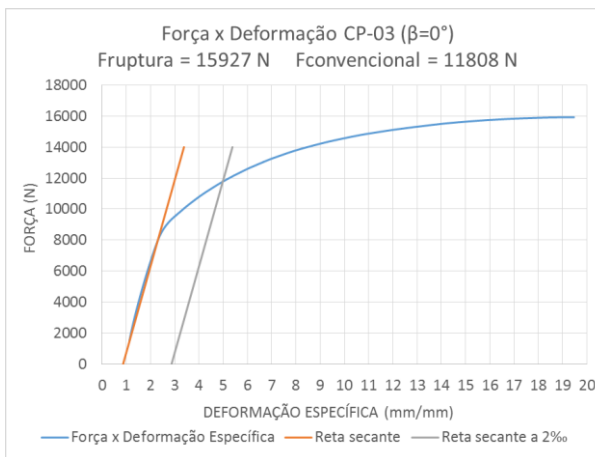
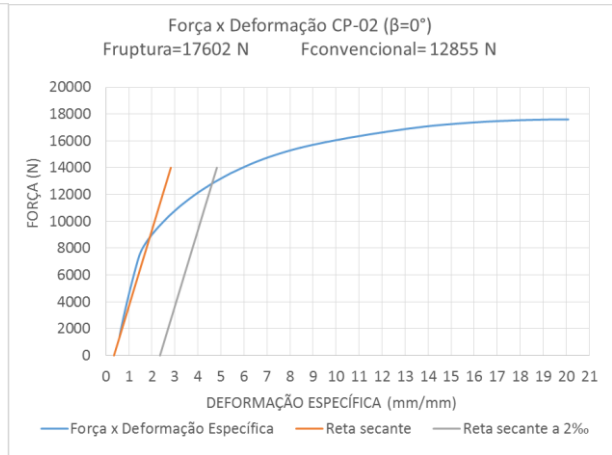
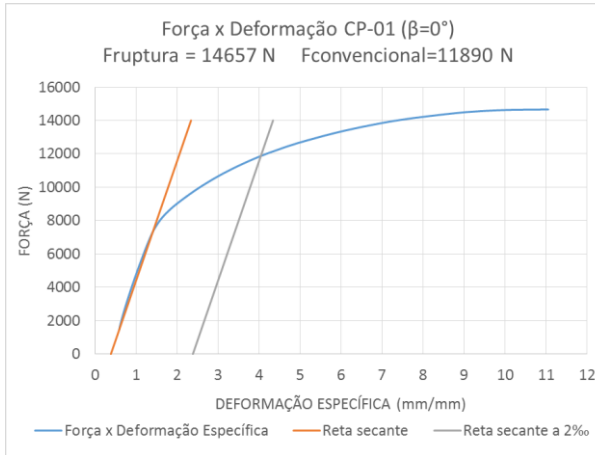
VALLE, Ivan M. R. do; INO, Akemi; SHIMBO, Ioshiaqui; GAETANI, Marcelo. **Análise da viabilidade do sistema de cobertura em painéis pré-fabricados de madeira:** produtividade e custo. estudo de caso do assentamento rural Sepé-Tiarajú, Serra Azul, SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2008, Fortaleza. **Anais...**, 2008.

WWF. **Aquisição responsável de madeira na construção civil: guia prático para as construtoras.** WWF, 2011. 67 p.

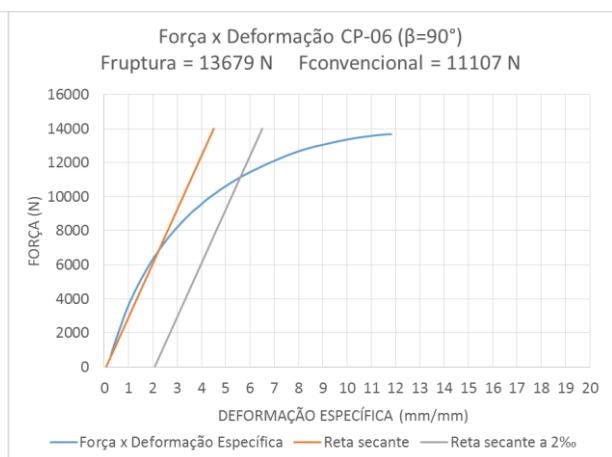
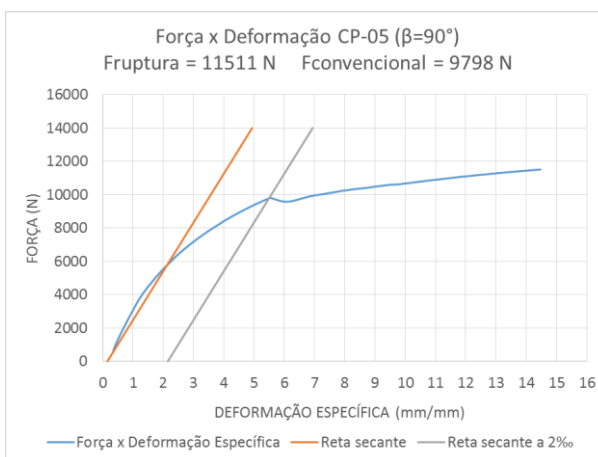
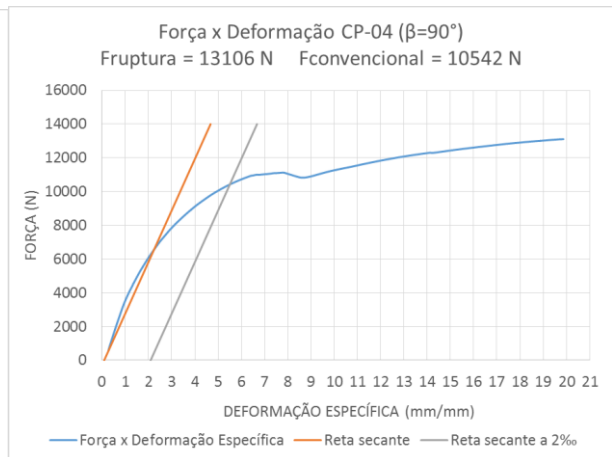
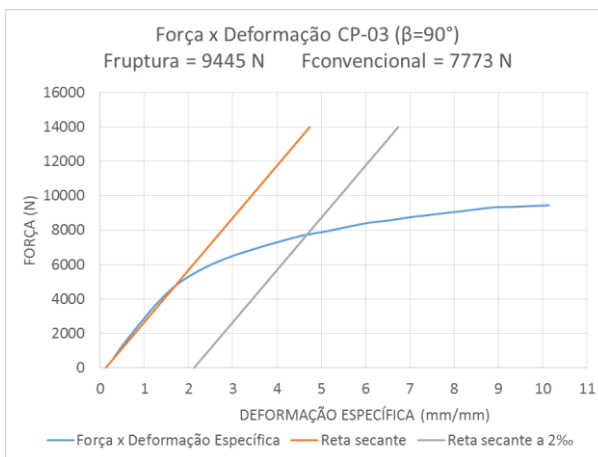
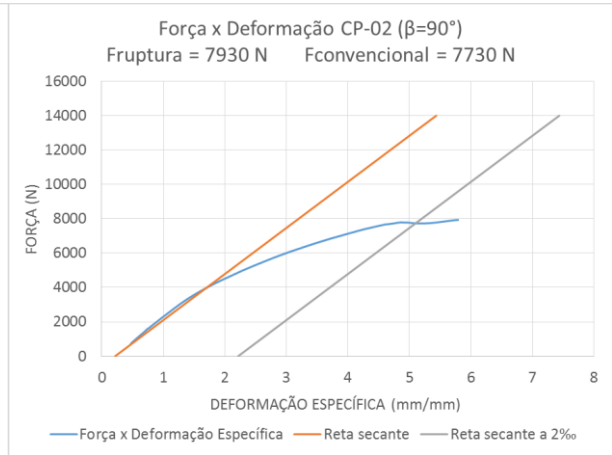
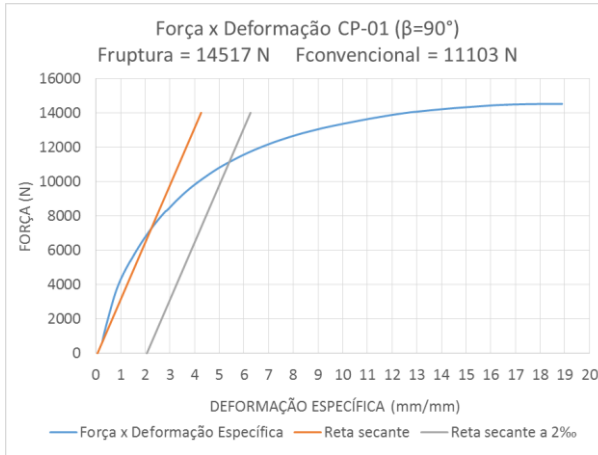
ZERBINI, Fabíola. **Madeira certificada FSC na construção civil: Panorama e tendências.** Forest Stewardship Council. 2013.

## APÊNDICES

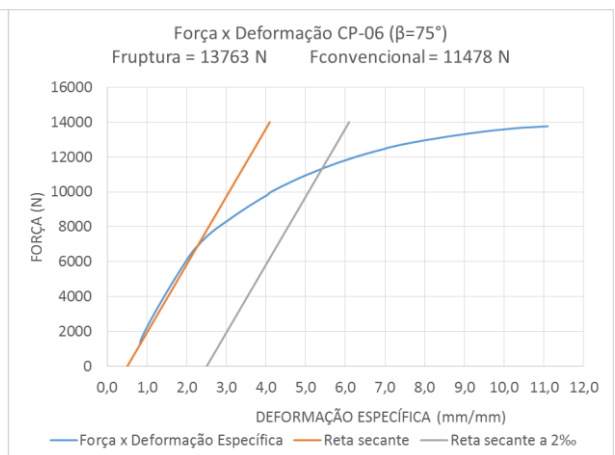
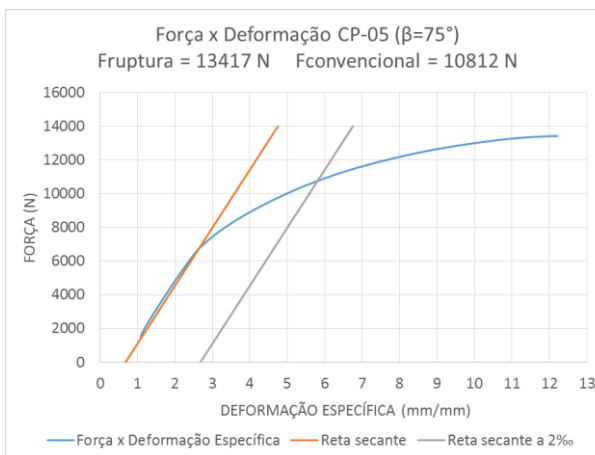
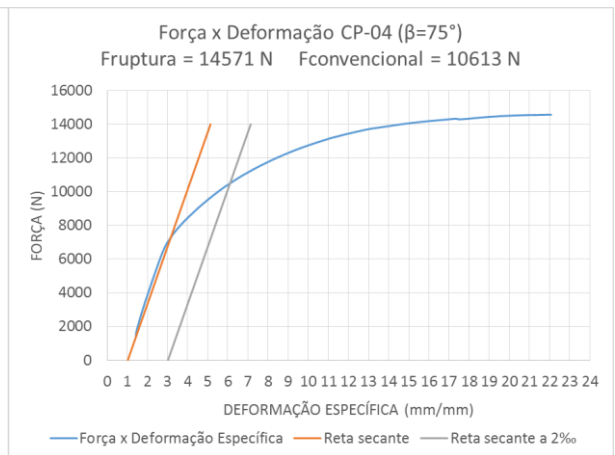
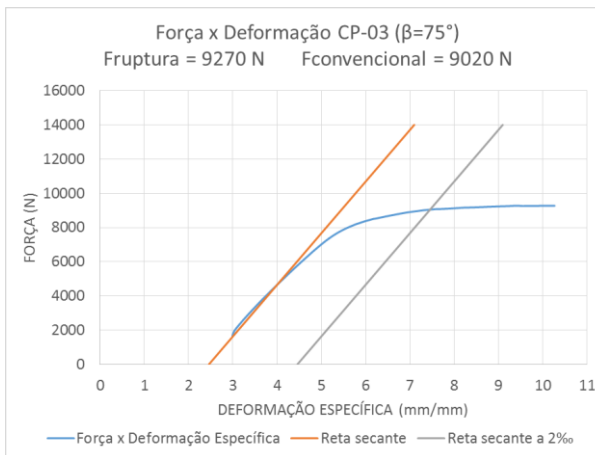
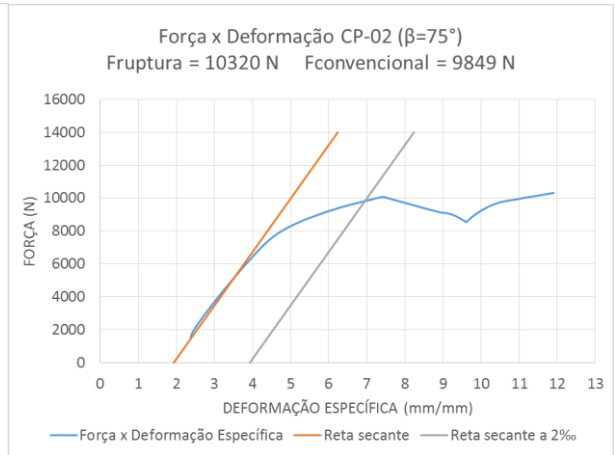
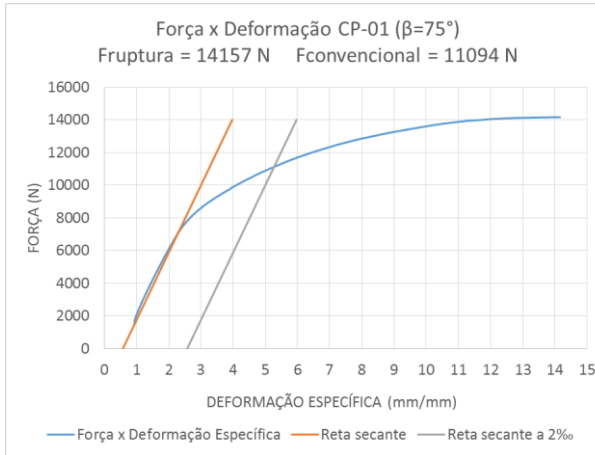
## APENDICE A – GRÁFICOS FORÇA X DEFORMAÇÃO DAS LIGAÇÕES $\beta=0^\circ$



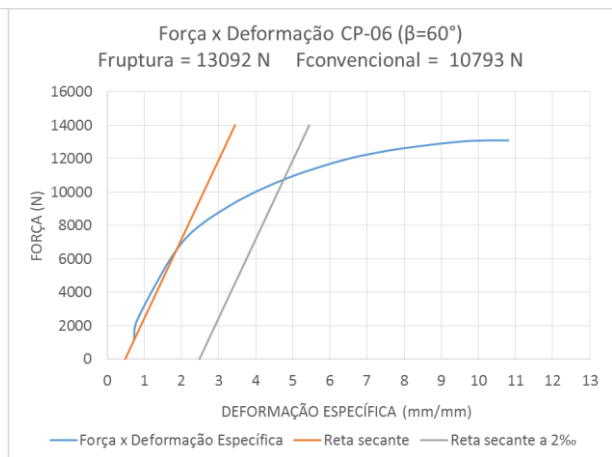
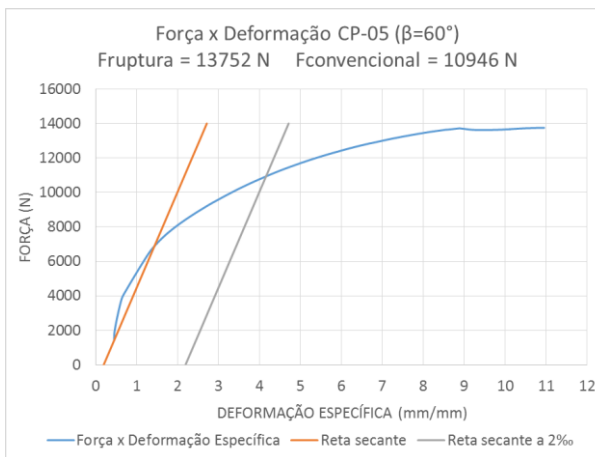
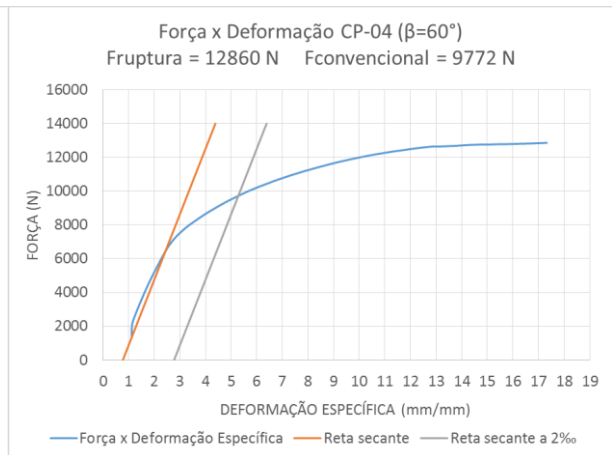
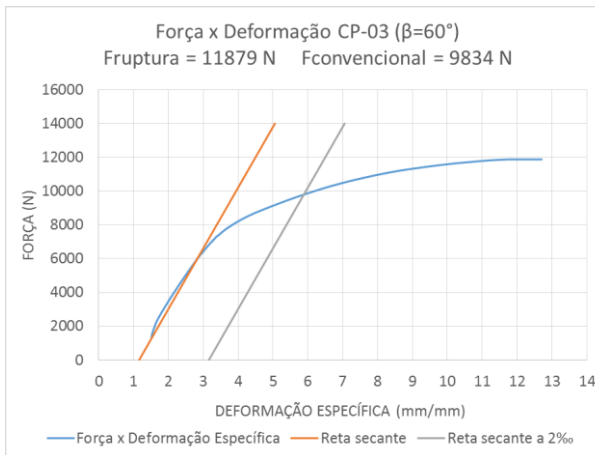
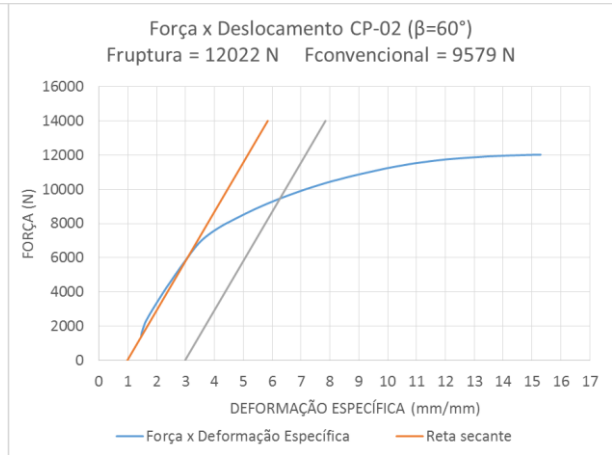
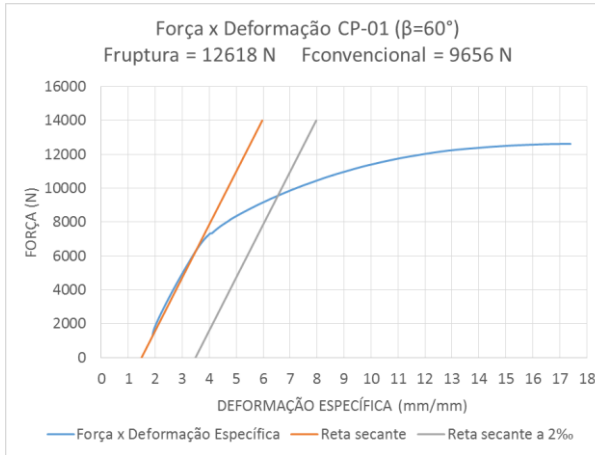
## APÊNDICE B – GRÁFICOS FORÇA X DEFORMAÇÃO DAS LIGAÇÕES $\beta=90^\circ$



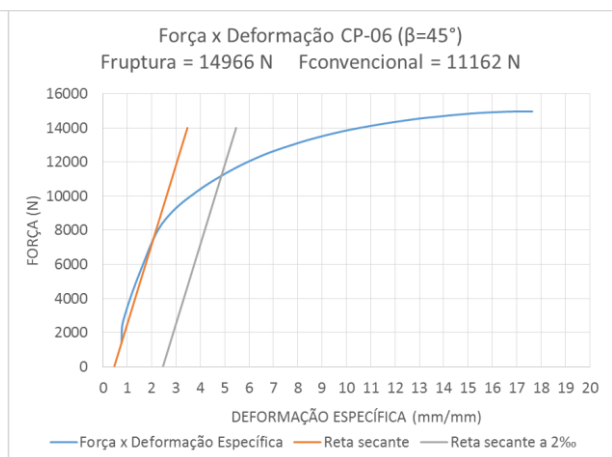
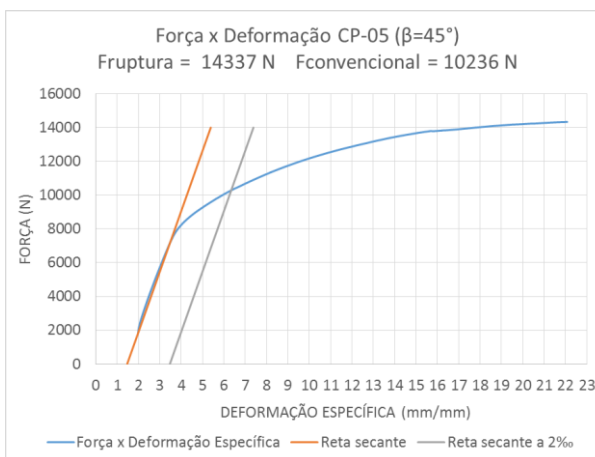
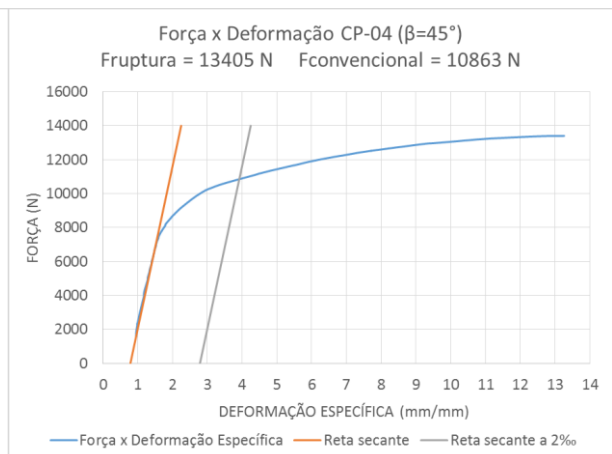
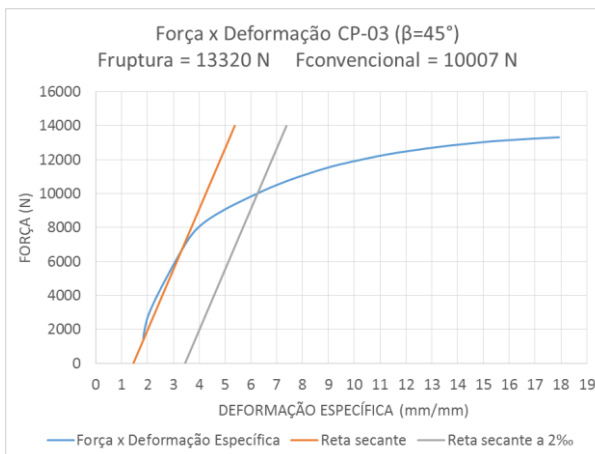
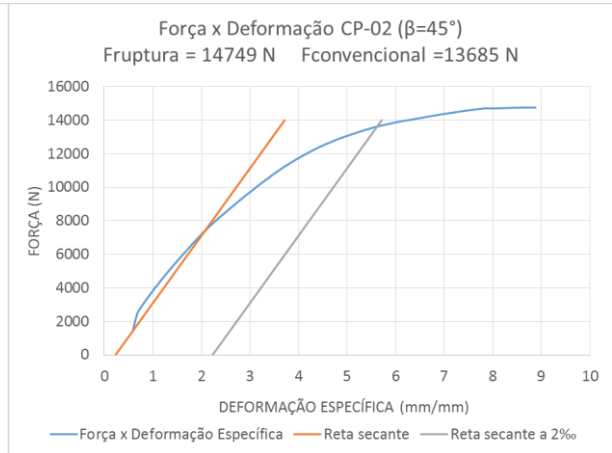
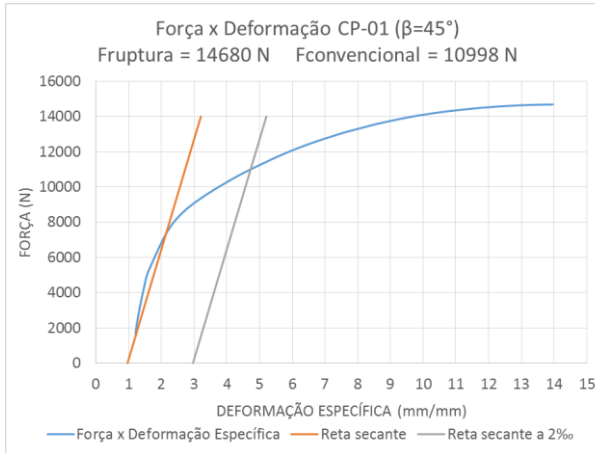
## APÊNDICE C – GRÁFICOS FORÇA X DEFORMAÇÃO DAS LIGAÇÕES $\beta=75^\circ$



## APÊNDICE D – GRÁFICOS FORÇA X DEFORMAÇÃO DAS LIGAÇÕES $\beta=60^\circ$



## APÊNDICE E – GRÁFICOS FORÇA X DEFORMAÇÃO DAS LIGAÇÕES $\beta=45^\circ$



**APÊNDICE F – TABELA DE COMBINAÇÕES DOS ESFORÇOS PARA TESOURA  
LEVE**

ELE MEN TO	BARRA	ESFORÇOS						COMBINAÇÕES DE ESFORÇOS						COMPOSIÇÃO CRÍTICA DE ESFORÇOS - VALORES DE CÁLCULO	
		CARGAS PERMANENTES (kN)	VENTO-SIT.1 (kN)	VENTO-SIT.2 (kN)	VENTO-SIT.3 (kN)	SOBREC. MAN. (kN)	PERM (kN)	PERM + SIT.1 (kN)	PERM + SIT.3 PERM + SIT.4 (kN)	SOBREC. MAN. (kN)	COMPRESSÃO (-) (kN)	TRAÇÃO (+) (kN)			
BANZO SUPERIOR	AB	-1909,47	7544,15	4359,80	1615,91	-1855,90	-2673,26	6202,83	2859,26	-21,82	-4621,96	6202,83			
	BC	-1774,51	6858,67	4352,73	1500,14	-1696,47	-2484,31	5604,55	2973,31	-21,91	-4265,61	5604,55			
	CD	-1493,99	5848,92	3774,73	1283,74	-1413,01	-2091,59	4796,78	2618,88	3,34	-3575,25	4796,78			
	DE	-1204,83	4879,41	3176,50	1072,26	-1134,38	-1686,76	4039,04	2250,98	41,52	-2877,86	4039,04			
	EF	-1204,83	4879,41	3176,60	1072,26	-1134,38	-1686,76	4039,04	2251,08	41,52	-2877,86	4039,04			
	FG	-1493,99	5848,92	3820,49	1283,74	-1413,01	-2091,59	4796,78	2666,92	3,34	-3575,25	4796,78			
	GH	-1774,51	6858,67	4488,29	1500,14	-1696,47	-2484,31	5604,55	3115,65	-21,91	-4265,61	5604,55			
	HI	-1909,47	7544,15	4924,18	1615,91	-1855,90	-2673,26	6202,83	3451,87	-21,82	-4621,96	6202,83			
	AJ	1795,09	-7000,40	-3984,10	-1478,71	1744,70	2513,13	-5734,84	-2567,72	62,94	4345,06	4345,06			
	JK	1818,71	-6997,04	-4168,93	-1493,65	1766,10	2546,19	-5710,06	-2740,54	68,51	4400,60	4400,60			
BANZO INFERIOR	KL	1663,25	-6061,14	-3824,92	-1308,14	1589,46	2328,55	-4867,28	-2519,24	123,38	3997,48	3997,48			
	LM	1404,27	-4877,28	-3123,63	-1052,34	1328,04	1965,98	-3857,30	-2015,97	158,89	3360,43	3360,43			
	MN	1404,27	-4877,28	-3166,12	-1052,34	1328,04	1965,98	-3857,30	-2060,58	158,89	3360,43	3360,43			
	NO	1663,25	-6061,14	-3950,43	-1308,14	1589,46	2328,55	-4867,28	-2651,03	123,38	3997,48	3997,48			
	OP	1818,71	-6997,04	-4561,56	-1493,65	1766,10	2546,19	-5710,06	-3152,80	68,51	4400,60	4400,60			
	PI	1795,09	-7000,40	-4554,27	-1478,71	1744,70	2513,13	-5734,84	-3166,40	62,94	4345,06	4345,06			
	BK	-151,29	936,94	331,53	184,87	-173,56	-211,81	847,62	211,94	57,95	-394,04	847,62			
	CL	-307,75	1411,49	835,41	305,00	-310,96	-430,85	1205,09	600,20	43,27	-757,36	1205,09			
	DM	-380,85	1636,32	1027,17	358,50	-367,01	-533,19	1375,37	735,76	33,66	-918,55	1375,37			
	FM	-380,85	1636,32	1088,33	358,50	-367,01	-533,19	1375,37	799,98	33,66	-918,55	1375,37			
DIAGONAIS	GN	-307,75	1411,49	935,34	305,00	-310,96	-430,85	1205,09	705,13	43,27	-757,36	1205,09			
	HO	-151,29	936,94	611,57	184,87	-173,56	-211,81	847,62	505,98	57,95	-394,04	847,62			
	BJ	-39,70	93,70	194,04	31,48	-39,06	-55,57	62,66	168,02	-2,68	-96,58	168,02			
	CK	68,80	-381,86	-161,48	-77,23	76,37	96,32	-339,03	-107,63	-19,17	176,51	176,51			
	DL	174,22	-800,34	-471,97	-172,80	176,15	243,91	-683,56	-338,77	-24,64	428,87	428,87			
	EM	584,04	-2416,43	-1561,99	-529,31	543,54	789,65	-2029,62	-1132,46	-48,14	1360,36	1360,36			
	FN	174,22	-800,34	-530,32	-172,80	176,15	243,91	-683,56	-400,04	-24,64	428,87	428,87			
	GO	68,80	-381,86	-249,85	-77,23	76,37	96,32	-339,03	-200,42	-19,17	176,51	176,51			
	HP	-39,70	93,70	68,58	31,48	-39,06	-55,57	62,66	36,29	-2,68	-96,58	62,66			
	MONTANTES	BP	-39,70	93,70	68,58	31,48	-39,06	-55,57	62,66	36,29	-2,68	-96,58	62,66		