

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

Milton Soares de Moraes Júnior

**ENSAIO DE LIGAÇÕES DE ESTRUTURAS DE MADEIRA  
POR CHAPAS COM DENTES ESTAMPADOS EM QUATRO  
ESPÉCIES DA FAMÍLIA LEGUMINOSAS**

Itapeva – SP

2011

Milton Soares De Moraes Júnior

**ENSAIO DE LIGAÇÕES DE ESTRUTURAS DE MADEIRA  
POR CHAPAS COM DENTES ESTAMPADOS EM QUATRO  
ESPÉCIES DA FAMÍLIA LEGUMINOSAS**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

Orientador: Profº. Drº. Alexandre Jorge Duarte de Souza  
Co-orientador: Msc. Carlito Calil Neto

Itapeva – SP

2011

M827e Moraes Júnior, Milton Soares de  
Ensaaios de ligações de estruturas de madeira por chapas com dentes estampados em quatro espécies da família leguminosas / Milton Soares de Moraes Júnior -- Itapeva, 2011.  
94 f.; il.

Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial Madeireira apresentado ao Campus Experimental de Itapeva – UNESP, 2011.

Orientador: Prof. Drº. Alexandre Jorge Duarte de Souza

Co-orientador: Msc. Carlito Calil Neto

Banca examinadora: Prof. Drº. Cristiane Inácio de Campos; Prof. Drº. Fernando de Lima Caneppele

Inclui bibliografia

1. Treliças (Construção civil). 2. Ligações. 3. Chapa com dentes estampados. I. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 624.184

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

**ENSAIO DE LIGAÇÕES DE ESTRUTURAS DE MADEIRA  
POR CHAPAS COM DENTES ESTAMPADOS EM QUATRO  
ESPÉCIES DA FAMÍLIA LEGUMINOSAS**

MILTON SOARES DE MORAES JÚNIOR

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO  
COMO PARTE REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**GRADUADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL  
MADEIREIRA

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Drº. Alexandre Jorge Duarte de Souza  
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Drª. Cristiane Inácio de Campos  
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Drº. Fernando de Lima Caneppele  
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Com muito carinho,  
à meus pais, meus irmãos,  
parentes e amigos, que  
sempre me apoiaram.

## AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me dado força e sabedoria nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, Milton e Mara, e irmãos, Mauro, Meire e Maurício pelo amor e apoio em vários momentos importantes; principalmente por confiarem e acreditarem em mim nas minhas decisões.

Aos meus maiores exemplos de vida depois de Jesus Cristo; avô Milton (em memória) e avó Hercília (em memória), que por mais que eu me esforce jamais me igualarei a eles.

Ao meu orientador, Prof<sup>o</sup>. Dr<sup>o</sup>. Alexandre Jorge Duarte de Souza, e meu coorientador, Msc. Carlito Calil Neto pelo apoio, orientação, paciência, e sobretudo amizade.

Aos meus parentes, amigos de São Carlos, do Grande ABC, Itapeva e São Paulo, que estão sempre ao meu lado, nos bons e maus momentos.

Às empresas Stamade - Projeto e Consultoria em Madeira e STMD - Montagem de Estruturas de Madeira, pelo apoio, compreensão e oportunidades de conhecimento prático e bibliográfico sobre o tema apresentado. A empresa GANG-NAIL® pela matéria-prima fornecida para a realização dos ensaios.

Ao Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, pela disponibilização dos equipamentos e materiais bibliográficos; ao Prof. Dr. Carlito Calil Junior pelas dúvidas esclarecidas, ao técnico Arnaldo e aos funcionários pelo eficaz auxílio na execução deste trabalho.

À Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”- Câmpus Experimental de Itapeva, e a todos os professores e funcionários desta instituição, os quais contribuíram para minha formação acadêmica.

*“Ainda que eu ande pelo vale da sombra da morte, não temerei mal nenhum, porque tu estás comigo; o teu bordão e o teu cajado me consolam.”*

*Salmo 23:4*



## RESUMO

Nos últimos anos, a utilização de sistemas industrializados de estruturas treliçadas de madeira como alternativa nos processos construtivos vem ganhando espaço no mercado brasileiro. O sistema industrializado de estruturas treliçadas de madeira consiste na produção de estruturas treliçadas, composta de peças de madeira onde suas ligações mecânicas são realizadas com chapas metálicas com dentes estampados (CDE). Dentre os diversos desafios para tornar este sistema competitivo, as ligações entre as peças de madeira devem apresentar em seu conjunto não apenas funcionalidade, mas também rapidez, resistência, versatilidade e economia. Referenciado na Norma Brasileira para Estruturas de Madeira, NBR 7190/1997 - Projeto de estruturas de madeira, as ligações com chapas metálicas com dentes estampados, são analisadas através de três métodos de ensaios: resistência à tração paralela às fibras, resistência à tração normal às fibras e resistência ao cisalhamento; todas elas em duas posições,  $\alpha_{CH0}=0^{\circ}$  e  $\alpha_{CH0}=90^{\circ}$  para quatro espécies de madeira: Angelim (*Vatairea heteroptera* Ducke); Angico-Vermelho *Parapiptadenia rigida* (Benth) Brenae; Garapa (*Apuleia leiocarpa* (Vog.) Macbr); Jatobá (*Hymenaea stilbocarpa* Hayne), pertencente a família das Leguminosas e encontrado em diversas regiões no Brasil. O objetivo deste manuscrito consiste em analisar as ligações mecânicas com chapas metálicas munidas de dentes estampados através de ensaios contidos na NBR7190/1997.

**Palavras-chaves:** Madeira. CDE. Ligações de madeira. Dentes estampados. Gang-Nail. Leguminosas.

## ABSTRACT

In the last years, the use of industrialized systems of lattice structures of wood as an alternative in the construction processes, is becoming more popular in Brazil, mainly for their commitment to the environment. The industrialized system of wooden lattice structures consists in a production of lattice structures, composed of pieces of wood where their mechanical connections are made with the sheet multi-toothed connectors (CDE). Among the many challenges to make this system competitive, the whole system of the connections between the pieces of wood not only must show functionality, but also speed, strength, versatility and economy. Referenced at Brazilian Standard for Wood Structures (NBR 7190/1997 - Project of timber structures) the sheet multi-toothed connectors, are analyzed using three test methods: tensile strength parallel to grain, tensile strength normal to the fibers and shear strength, all of them in two positions,  $\alpha_{CH0}=0^\circ$  e  $\alpha_{CH0}=90^\circ$  to four types of wood: Angelim (*Vatairea heteroptera* Ducke); Red-Angico (*Parapiptadenia rigida* (Benth) Brenae); Garapa (*Apuleia leiocarpa* (Vog.) Macbr) and Jatoba (*Hymenaea stilbocarpa* Hayne), belonging to the *Leguminosae* family and founded in several regions of Brazil. The purpose of this manuscript consists to analyze the mechanical connections with the sheet multi-toothed connectors through tests from NBR7190/1997.

**Keywords:** Wood. CDE. Timber connectors. Multi-toothed. Gang-Nail, *Leguminosae*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de cobertura no sistema convencional .....	25
Figura 2 - Estrutura de cobertura no sistema pré-fabricado .....	26
Figura 3 - Estrutura de cobertura no sistema intermediário.....	27
Figura 4 - Vista frontal da tesoura .....	28
Figura 5 - Geometria de tesoura típica de cobertura industrializada .....	28
Figura 6 - Geometria de tesoura (correspondente a Figura 5) definida por dados numéricos.....	29
Figura 7 - Tesoura tipo Howe (diagonais normais).....	29
Figura 8 - Tesoura tipo Pratt (diagonais invertidas).....	30
Figura 9 - Tesoura tipo Belga (diagonais invertidas) .....	30
Figura 10 - Tesoura tipo Fink (diagonais invertidas) .....	31
Figura 11 - Vigas treliçadas com diferentes posições das diagonais .....	31
Figura 12 - Meia tesoura em balanço .....	32
Figura 13 - Chapa com dentes estampados.....	34
Figura 14 - Tipos de ruptura das ligações com CDE.....	35
Figura 15 - Anisotropia da madeira nas direções longitudinal, radial e transversal ...	37
Figura 16 - Vista de uma peça de madeira indicando as direções longitudinal, transversal e radial .....	38
Figura 17 - Direções da CDE. ....	45
Figura 18 - Diagrama de carregamento para ligações por CDE.....	48
Figura 19 – Diagrama força x deformação específica da ligação por CDE .....	50
Figura 20- Prensagem tração paralela ( $\alpha_0$ $\alpha_{CH0}$ ).....	55
Figura 21 – Arranjo do corpo-de-prova para o ensaio de tração paralela com a CDE na mesma direção das fibras da madeira e das forças que vão ser aplicadas. ....	56
Figura 22 - Prensagem da CDE na prensa hidráulica com anel dinamométrico. ....	56
Figura 23 - .Prensagem do corpo-de prova para o ensaio de tração paralela.....	58
Figura 24 – Arranjo do corpo-de-prova para o ensaio de tração paralela com a CDE na direção perpendicular as fibras da madeira e as forças que vão ser aplicadas. ..	58
Figura 25 – Prensagem do corpo-de-prova para o ensaio na tração normal ( $\alpha_{90}$ $\alpha_{CH90}$ ).....	60

Figura 26 - Arranjo do corpo-de-prova na tração normal ( $\alpha_{90}$ $\alpha_{CH90}$ ) .....	60
Figura 27- Prensagem do corpo-de-prova para o ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ $\alpha_{CH0}$ ) .....	62
Figura 28 - Arranjo para o ensaio de tração norma I( $\alpha_{90}$ $\alpha_{CH0}$ ) .....	62
Figura 29 - Três diferentes modelos de corpo-de-prova para ensaio de cisalhamento. ....	64
Figura 30 - Prensagem do corpo-de-prova para o ensaio de cisalhamento( $\alpha_0$ $\alpha_{CH0}$ ) .....	65
Figura 31 - Arranjo do corpo-de-prova para o ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$ $\alpha_{CH0}$ ) ....	65
Figura 32 - Prensagem do corpo-de-prova para o ensaio de cisalhamento( $\alpha_0$ $\alpha_{CH90}$ ). .....	67
Figura 33 - Arranjo do corpo-de-prova para o ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$ $\alpha_{CH90}$ )....	67
Figura 34 - Máquina de tração <i>Metriguard 422 Tension proof tester</i> .....	69
Figura 35 - Máquina Universal de Ensaio AMSLER. ....	70
Figura 36 - Dispositivo usado para fixar o corpo de prova .....	70
Figura 37 - Máquina Universal de Ensaio AMSLER .....	71
Figura 38 - Gráfico dos resultados das forças de cravação no ensaio de tração paralela.....	73
Figura 39 - Gráfico dos resultados das forças de cravação no ensaio de tração normal. ....	74
Figura 40 - Gráfico dos resultados das forças de cravação no ensaio de cisalhamento. ....	75
Figura 41 – Gráfico de resistência x posição da CDE, em ensaio de tração paralela. .....	77
Figura 42 – Gráfico de resistência x posição da CDE, em ensaio de tração normal .	79
Figura 43 – Gráfico de rigidez x posição da CDE, em ensaio de tração normal .....	80
Figura 44 - Corpo –de- prova, porque rompeu no dispositivo. ....	81
Figura 45 – Gráfico de resistência x posição da CDE, em ensaio de tração normal .	82
Figura 46 – Gráfico de rigidez x posição da CDE, em ensaio de cisalhamento .....	83
Figura 47 - . Ruptura por arrancamento, na madeira e na CDE.....	84
Figura 48. Gráfico dos dados obtidos nos ensaios, com os dados do fabricante. ....	86
Figura 49 - Gráfico de comparação das resistências com os dados obtidos através dos dois autores. ....	88

Figura 50 - Gráfico de comparação das resistências com os dados obtidos através dos dois autores. ....88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Consumo de madeira serrada amazônica pela construção civil.....	37
Tabela 2 - Principais características da madeira Angelim. ....	39
Tabela 3 - Principais características da madeira Angico – Vermelho.....	40
Tabela 4 - Principais características da madeira Garapa. ....	41
Tabela 5 - Principais características da madeira Jatobá. ....	42
Tabela 6 – Espécie de madeiras usadas.....	44
Tabela 7- Dimensões das peças de madeira para ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH0}$ ).....	51
Tabela 8 - Dimensões das peças de madeira para ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH90}$ ).....	51
Tabela 9 - Dimensões das CDE para ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ ).....	52
Tabela 10 - Dimensões das peças de madeira para ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ ) ( $\alpha_{CH0}$ ).....	52
Tabela 11 - Dimensões das peças de madeira para ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ ) ( $\alpha_{CH90}$ ).....	53
Tabela 12 - Dimensões das CDE para ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ ).....	53
Tabela 13 - Dimensões das peças de madeira para ensaio de cisalhamento, ( $\alpha_0$ ), ( $\alpha_{CH90}$ ).....	54
Tabela 14 - Dimensões das peças de madeira para ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH90}$ ).....	54
Tabela 15 - Dimensões das CDE para ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$ ).....	55
Tabela16 – Resultados das forças de cravação no ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH0}$ ).....	57
Tabela17 – Resultados das forças de cravação no ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH90}$ ).....	59
Tabela18 – Resultados das forças de cravação no ensaio de tração normal( $\alpha_{90}$ ) ( $\alpha_{CH90}$ ).....	61
Tabela19 – Resultados das forças de cravação no ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ ) ( $\alpha_{CH0}$ ).....	63

Tabela 20 – Resultados das forças de cravação no ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH0}$ ).....	66
Tabela 21 – Resultados das forças de cravação no ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH90}$ ).....	68
Tabela 22 – Resultados das forças de cravação no ensaio de tração paralela.....	72
Tabela 23 – Resultados das forças de cravação no ensaio de tração normal .....	74
Tabela 24 – Resultados das forças de cravação no ensaio de cisalhamento .....	75
Tabela 25 – Resultados do ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH0}$ ).....	76
Tabela 26 – Resultados do ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH90}$ ) .....	77
Tabela 27 – Resultados do ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ )( $\alpha_{CH0}$ ).....	78
Tabela 28 – Resultados do ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ )( $\alpha_{CH90}$ ).....	79
Tabela 29 – Resultados do ensaio de cisalhamento, ( $\alpha_0$ ), ( $\alpha_{CH0}$ ) .....	81
Tabela 30 – Resultados do ensaio de cisalhamento, ( $\alpha_0$ ), ( $\alpha_{CH90}$ ).....	82
Tabela 31 – Corpos-de-prova que ocorreram ruptura na chapa .....	85
Tabela 32 – Corpos-de-prova que ocorreram ruptura por arrancamento .....	87
Tabela 33 – Dados de ruptura de arrancamento do autor Baraldi.....	87
Tabela 34 – Corpos-de-prova que ocorreram ruptura na madeira .....	89

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	19
2	OBJETIVOS .....	21
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	22
3.1	Histórico sistemas industrializados de estruturas treliçadas de madeira ....	22
3.1.1	Estrutura de madeira .....	24
3.2	Sistema estrutural .....	24
3.2.1	Sistema estrutural convencional .....	25
3.2.2	Sistema estrutural pré-fabricado .....	25
3.2.3	Sistema estrutural intermediário .....	26
3.3	Treliças de madeira .....	27
3.3.1	Treliça de contorno triangular .....	29
3.3.2	Treliça de contorno retangular .....	31
3.3.3	Treliça em balanço .....	31
3.3.4	Processo de industrialização das treliças .....	32
3.4	Chapa dente estampado .....	33
3.4.1	Modos de ruptura em treliças com chapas de dentes estampados .....	36
3.5	Madeira .....	36
4	MATERIAIS E MÉTODOS .....	43
4.1	Materiais Utilizados .....	43
4.1.1	Equipamentos: .....	43
4.1.2	Espécie de madeira utilizada nos ensaios .....	44
4.1.3	Chapas com dentes estampados (conectores gang-nail) .....	44
4.1.4	Características dos conectores GNA-80: .....	45
4.2	Métodos de ensaios .....	46
4.2.1	Procedimentos Experimentais .....	46
4.2.2	Procedimentos de ensaio .....	50
4.2.2.1	Preparação dos corpos-de-prova .....	50
4.2.2.2	Preparação dos corpos-de-prova para o ensaio de tração paralela	51
4.2.2.3	Preparação dos corpos-de-prova para o ensaio de tração normal	52
4.2.2.4	Preparação dos Corpos-de-Prova para o ensaio de Cisalhamento	53



4.2.3	Prensagem .....	55
4.2.3.1	Prensagem para o ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH0}$ ).....	56
4.2.3.2	Prensagem para o ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ $\alpha_{CH90}$ ).....	57
4.2.3.3	Prensagem para o ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ $\alpha_{CH90}$ ) .....	59
4.2.3.4	Prensagem para o ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ $\alpha_{CH0}$ ) .....	61
4.2.3.5	Prensagem para o ensaio de cisalhamento .....	63
4.2.3.5.1	Prensagem para o ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$ $\alpha_{CH0}$ ) .....	64
4.2.3.5.2	Prensagem para o ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$ $\alpha_{CH90}$ ).....	66
4.2.4	Ensaio.....	68
4.2.4.1	Ensaio de tração paralela.....	68
4.2.4.2	Ensaio de tração Normal.....	69
4.2.4.3	Ensaio de cisalhamento .....	71
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
5.1	Análise estatística: .....	72
5.1.1	Prensagem .....	72
5.1.1.1	Prensagem para o ensaio de tração paralela.....	72
5.1.1.2	Prensagem para o ensaio de tração normal .....	73
5.1.1.3	Prensagem para o ensaio de cisalhamento .....	75
5.1.2	Ensaio de tração paralela .....	76
5.1.3	Ensaio de tração normal .....	78
5.1.4	Ensaio de cisalhamento.....	81
5.2	Análise Visual :.....	83
5.2.1	Ruptura da chapa .....	84
5.2.2	Ruptura por arrancamento.....	86
5.2.3	Ruptura na madeira .....	89
6	CONCLUSÃO .....	90
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	92

# 1 INTRODUÇÃO

Ao longo do tempo vem ocorrendo um crescimento demográfico brasileiro. Com a conseqüente concentração populacional nos centros urbano e o crescimento da construção civil, Indústrias da construção civil e os produtores de materiais de construção vêm buscando alternativas através do desenvolvimento tecnológico de modo equilibrado e racional para atender às necessidades atuais e futuras.

Uma das alternativas encontradas são a pré-fabricação e a industrialização de estruturas de madeiras, já que os processos convencionais por serem artesanais e executados tradicionalmente por pessoas não especializadas, principalmente no dimensionamento empírico destas estruturas, têm cada vez mais se mostrados pouco eficientes.

A indústria da madeira para estruturas de cobertura desenvolveu um novo conector, que viabilizou a montagem das estruturas em escala industrial, as chapas com dentes estampados, denominadas CDE. Como o Brasil tem numerosas espécies nativas e de reflorestamento disponíveis, e a madeira tem diversas qualidades para construção de estruturas, tais como: facilidade na fabricação e montagem de fôrmas treliçadas, tradição no uso da madeira como elemento estrutural, baixa demanda de energia no seu processo produtivo e menores custos em relação a outros materiais, tornando-a ecologicamente viável; fazem com que a indústria da madeira tenha uma melhor competitividade no mercado com a indústria do concreto e aço.

Por ser um produto direto das árvores, a madeira como matéria-prima é considerada um material natural renovável de origem biológica, podendo possuir diversas formas de aplicação, é um material extremamente heterogêneo e anisotrópico, variando não apenas entre espécies, mas também dentro de seu próprio gênero interagindo com o meio em que a árvore se desenvolve; por isso as variabilidades das características físicas e mecânicas da madeira são um fator tão relevante. Do ponto de vista econômico, existe uma grande diferença entre o valor intrínseco da madeira e do seu valor como produto acabado, fomentando na escolha do tipo da madeira a ser utilizada com o produto acabado a que ela se destinará.

Barros (1989), explica três motivos principais o porquê no Brasil as estruturas de madeira não atingiram um alto nível de industrialização: o primeiro é a falta de conscientização dos proprietários e construtores de obras, que raramente valorizam um projeto feito dentro de padrões de segurança e qualidade; o segundo é a falta de profissionais (arquitetos e engenheiros) interessados nas estruturas de madeira, pois tal desinteresse gera uma conseqüentemente falta de conhecimentos relativos ao assunto; e o terceiro, a não existência no país de uma política de incentivo à utilização adequada e racional de madeira, que divulgaria o material, bem como suas aplicações.

Outro fator que restringe a efetiva disseminação da tecnologia no dimensionamento das ligações por CDE's é a falta de critérios conclusivos no documento normativo nacional usado - NBR 7190/97: Projeto de Estruturas de Madeira, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

Há poucas informações tecnológicas sobre o número de espécies nativas e de reflorestamento disponíveis no país, desde as propriedades físicas, mecânicas, desempenho e aplicação. Não só a madeira, como também com CDE, a falta de estudos e dados técnicos, da NBR 7190/97: Projeto de Estruturas de Madeira, e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) dificultam o desenvolvimento destes materiais, tanto na falta de valores da resistência de cálculo quanto na garantia, que fica a critério do respectivo fabricante, de acordo a legislação brasileira.

Pesquisas e experiências práticas veem possibilitando a obtenção de informações que auxiliam no desenvolvimento de projetos e caracterização de diversas espécies, como esse presente trabalho, que busca acrescentar informações e contribuir para o desenvolvimento de novos projetos sobre ligações em estruturas de madeiras com CDE em madeiras folhosas da família *Leguminosae* (leguminosas).

## 2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em realizar e avaliar três métodos de ensaios (resistência à tração paralela às fibras, resistência à tração normal às fibras, resistência ao cisalhamento) com chapas metálicas com dentes estampados (em duas posições  $\alpha_{CH0}=0^\circ$  e  $90^\circ$ ) em quatro espécies de madeira, Angelim (*Vatairea heteroptera* Ducke), Angico-Vermelho *Parapiptadenia rigida* (Benth) Brenae, Garapa (*Apuleia leiocarpa* (Vog.) Macbr) e Jatobá (*Hymenaea stilbocarpa* Hayne), pertencentes à família das Leguminosas, de acordo a norma brasileira para estruturas de madeira, a NBR 7190/1997 - Projeto de estruturas de madeira, anotando os dados e resultados do comportamento de cada espécie com a ligação e esperando acrescentar informações à literatura brasileira, diminuir a falta de conhecimento e de normatização sobre este assunto além de auxiliar o desenvolvimento de novos projetos na área madeireira.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 Histórico sistemas industrializados de estruturas treliçadas de madeira**

A nível mundial, o desenvolvimento da indústria de estruturas de madeira ocorreu principalmente na Europa do pós-guerra, devido à necessidade de reconstrução rápida e econômica das cidades destruídas pela guerra. O desenvolvimento da indústria da madeira para estruturas de cobertura propiciou o surgimento de um novo conector, que possibilitou a montagem das estruturas em escala industrial, as chapas com dentes estampados, doravante denominados CDE (BARALDI, 1996).

No Brasil, de acordo com Barros (1991) as estruturas de madeira não atingiram um alto nível de industrialização devido principalmente aos três seguintes aspectos: o primeiro é a falta de conscientização dos proprietários e construtores de obras, que não valorizam projetos de qualquer tipo que sejam, preferindo contratar apenas a mão-de-obra mais barata e com alguma experiência prática, mas sem conhecimentos técnicos; o segundo é a falta de profissionais (arquitetos e engenheiros) interessados nas estruturas de madeira, pois tal desinteresse gera uma conseqüentemente falta de conhecimentos no assunto; e o terceiro, falta no país maior divulgação e incentivo à utilização adequada e racional de madeira, que esclareceria a coletividade técnica a respeito do material e de suas aplicações, obrigando a mesma a se manter informada e interessada no assunto.

Anteriormente ao ano de 1997 no Brasil eram poucos os trabalhos contendo informações sobre ligações, só teve avanço quando foi concluída a elaboração do novo documento normativo, denominado NBR 7190/97 - Projeto de Estruturas de Madeira. Os poucos e principais trabalhos são:

- Breuer, em (1983), apresenta um trabalho sobre os aspectos técnicos das ligações de peças estruturais de madeira através de conectores metálicos (chapa-prego) e algumas observações construtivas relacionadas com a

origem do sistema. Sugere uma rotina para cálculo da ligação com base nos ensaios de laboratório executados e apresenta um critério para determinação da carga admissível na ligação (CHEUNG, 2003); .

- Ujvari (1983) traz algumas informações introdutórias a respeito de valores estimativos da resistência das ligações por CDE's, baseados ainda em conceitos do Método das Tensões Admissíveis, para projetos de estruturas de madeira, cujos conceitos vigoravam na época (CARVALHO, 2002);
- Oliveira (1988) faz algumas avaliações sobre o comportamento da ligação por CDE's em espécies nativas com diferentes densidades aparentes, variando as dimensões das chapas utilizadas (CARVALHO, 2002);
- Barros (1991) afirma que para viabilizar o emprego das chapas metálicas de dentes estampados nas ligações de estruturas de madeira, a escolha da espécie a ser utilizada ou de suas variedades, como é o caso do eucalipto, tem uma grande importância. O ideal é que a escolha seja baseada na densidade aparente, cujo valor deve variar no intervalo de 550 a 850 Kg/m<sup>3</sup> (CHEUNG, 2003);
- Baraldi (1996) propôs um método de ensaio que é o utilizado na NBR 7190:1997 para determinação da resistência da ligação por chapas metálicas com dentes estampados, limitando a resistência da ligação a uma força aplicada ao corpo-de-prova, para uma deformação específica residual da ligação de 2<sup>0</sup>/100, medida em uma base de referência padronizada (CHEUNG, 2003).

Segundo Baraldi (1996), enquanto em outros países as pesquisas e normas foram sendo atualizadas juntamente com o avanço tecnológico, no Brasil só no início dos anos 90 iniciou-se a revisão da norma brasileira para estruturas de madeira. Neste texto (NBR 7190,1997), procurou-se suprir a deficiência apresentada em relação à utilização de conectores do tipo CDE.

Desde então surgiram vários trabalhos tendo como norma a NBR 7190/97: Projeto de Estruturas de Madeira, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como referência.

### **3.1.1 Estrutura de madeira**

De acordo Pinheiro (1996), mundialmente o processo evolutivo gerou um mercado consumidor muito exigente, propiciando o surgimento de sistemas produtivos de estruturas, com base nesta tendência, propôs-se a industrialização de estruturas com o objetivo de recolocar a madeira a nível competitivo com os demais materiais usados na construção civil.

Além disso, Pinheiro (1996) ressalta que os sistemas industrializados são destinados, na maioria das vezes, à produção de estruturas treliçadas para coberturas, e consistem basicamente na sobreposição dos conectores metálicos (chapa com dentes estampados) nas extremidades dos elementos estruturais que se pretendem unir. Tais estruturas são executadas na sua quase totalidade em indústrias, respeitando uma linha de produção. Mas mesmo assim, alguns componentes são executados “in loco”, como as emendas responsáveis pela integralização da estrutura, as terças e o sistema de contraventamento.

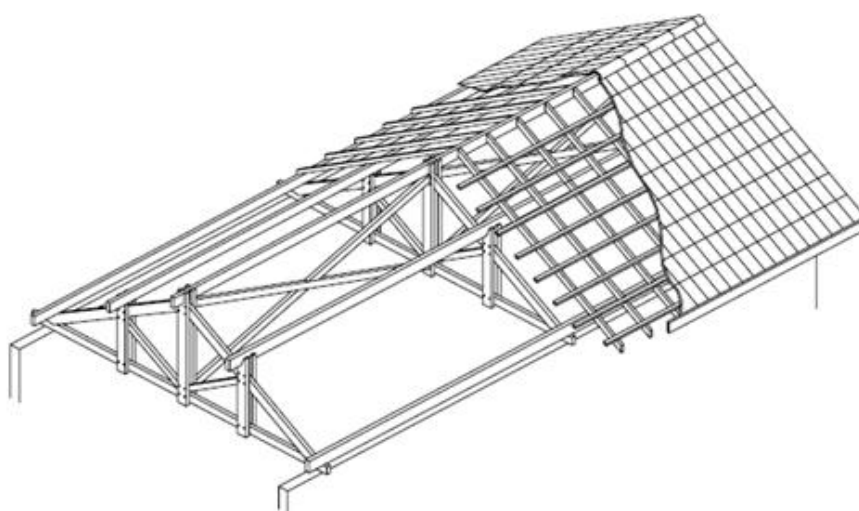
## **3.2 Sistema estrutural**

De acordo Martins (2007), o sistema estrutural de madeira para cobertura de edificações é composto basicamente pelas estruturas principais (tesouras); secundária (terças, caibros e ripas) e de contraventamento.

Segundo Barros (1991), é muito comum a resistência, por parte de todo o pessoal envolvido nas obras, à utilização de qualquer alternativa não convencional, ocasionando, portanto uma subdivisão desse sistema construtivo em sistema misto (pré-fabricado/convencional) e sistema pré-fabricado. Surge então, a necessidade de adaptação de ambos os sistemas de modo que não se perca o objetivo da racionalização da obra em questão, que são: Sistema Estrutural Convencional; Pré-Fabricado e Intermediário.

### 3.2.1 Sistema estrutural convencional

No sistema construtivo convencional (Figura 1), os elementos estruturais de madeira, tais como: tesoura; terças; caibros; ripas e contraventamentos são montadas no próprio local da obra, utilizando ligações com entalhes nas barras comprimidas e ligações com pregos ou parafusos nas barras tracionadas (MARTINS, 2007).



**Figura 1** - Estrutura de cobertura no sistema convencional

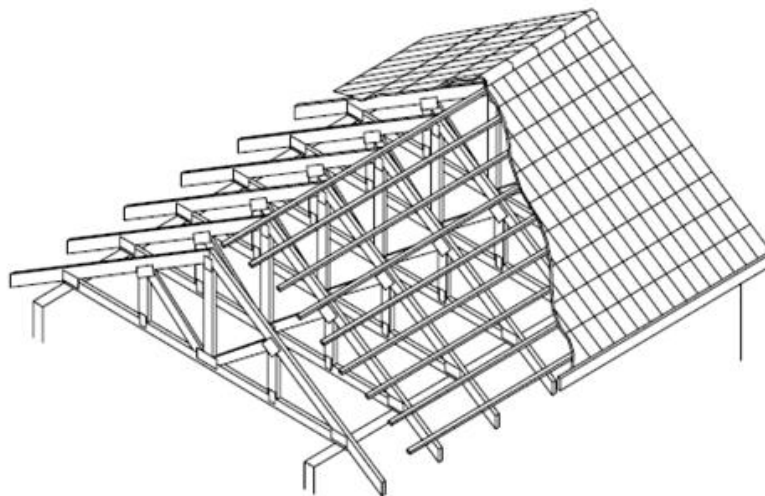
Fonte: (PARTEL, 2000).

### 3.2.2 Sistema estrutural pré-fabricado

A principal característica das estruturas pré-fabricadas é o uso de conectores metálicos com dentes estampados (CDE), nas ligações entre barras de tesoura. A utilização deste tipo de conectores exige que todas as barras da estrutura, tracionadas ou comprimidas, tenham a mesma espessura e se situem no mesmo plano de montagem, ao contrário das estruturas do sistema convencional. No



sistema pré-fabricado (Figura 2), o princípio básico é o da substituição das peças secundárias (terças, e caibros) por tesouras pré-fabricadas. (PARTEL, 2000).

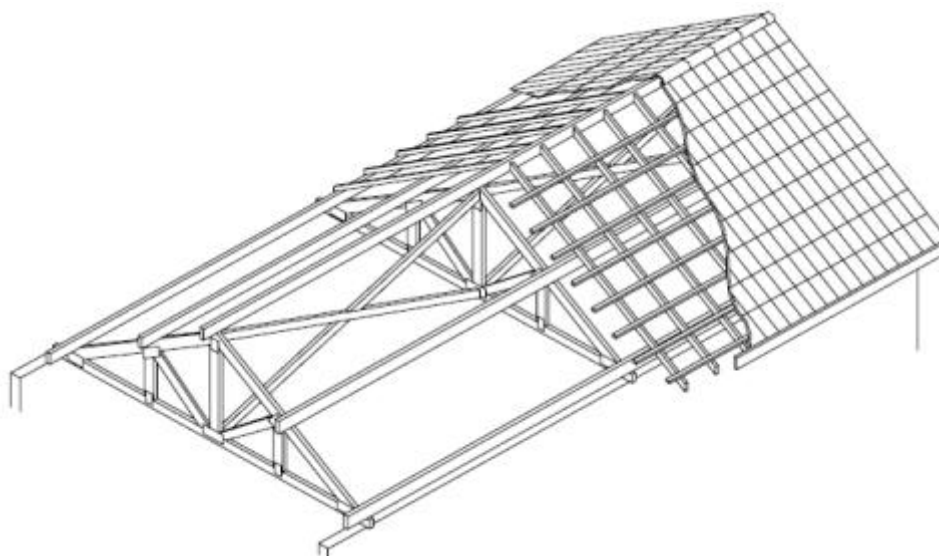


**Figura 2** - Estrutura de cobertura no sistema pré-fabricado

Fonte: (PARTEL, 2000).

### **3.2.3 Sistema estrutural intermediário**

O sistema intermediário (Figura 3) é caracterizado pela simples substituição da estrutura principal convencional pela estrutura principal pré-fabricada (tesouras pré-fabricadas), com a manutenção de todas as demais particularidades do sistema convencional, tais como espaçamento entre tesouras e componentes secundários (PARTEL, 2000).



**Figura 3** - Estrutura de cobertura no sistema intermediário

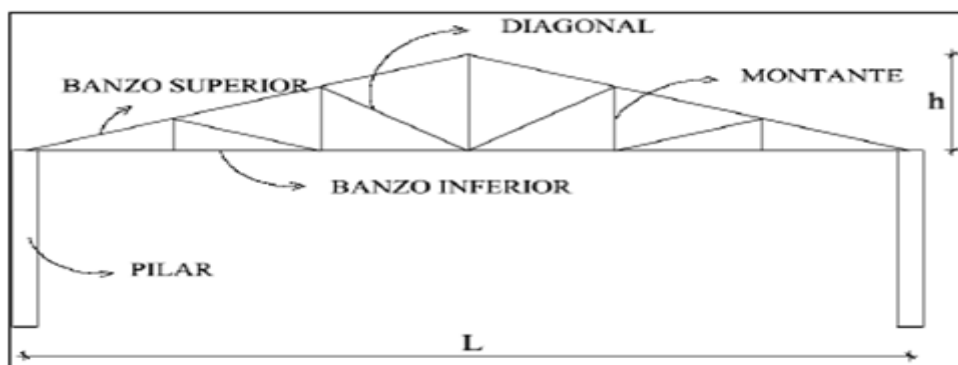
Fonte: (PARTEL, 2000).

### 3.3 Treliças de madeira

Treliça é um sistema de barras situadas num plano e articuladas umas as outras em suas extremidades, de modo a formar uma cadeia rija. As vigas e treliças são empregadas por opção dos projetistas com relação às vigas de alma cheia, principalmente nas estruturas metálicas e de madeira, dadas as vantagens práticas e econômicas em face aos vãos teóricos e cargas (MOLITERNO, 2009).

Atualmente o sistema de treliças (ou tesouras) industrializadas que utilizam CDE's vem sendo bastante utilizado, principalmente em estruturas de cobertura, por proporcionarem estruturas leves e eficientes (CALIL & MOLINA, 2010).

Segundo Martins (2007), a treliça de madeira mais utilizada na construção de coberturas é a tesoura, conforme mostra a Figura 4, podendo ser definida como viga treliçada de altura variável, que transfere as ações do telhado aos pilares da edificação.



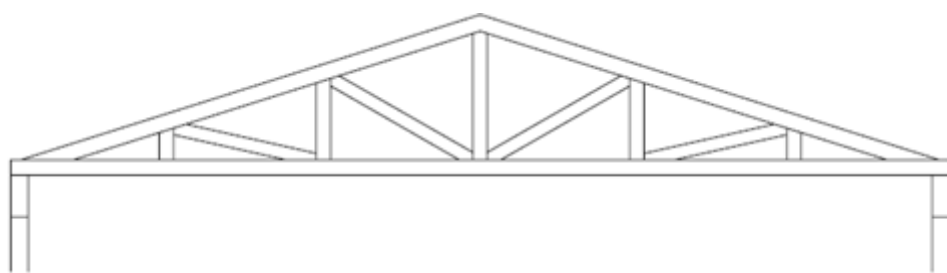
**Figura 4** - Vista frontal da tesoura

Fonte: (PARTEL, 2000).

Conforme descrito por Partel (1988) apud Partel (2000), os elementos componentes de tesouras devem ser considerados numericamente de acordo com dados que possibilitem definir cada elemento em separado, bem como a inter-relação dos elementos estruturais entre si visualizadas nas Figuras 5 e 6 e em relação às condições de contorno (restrições de apoios).

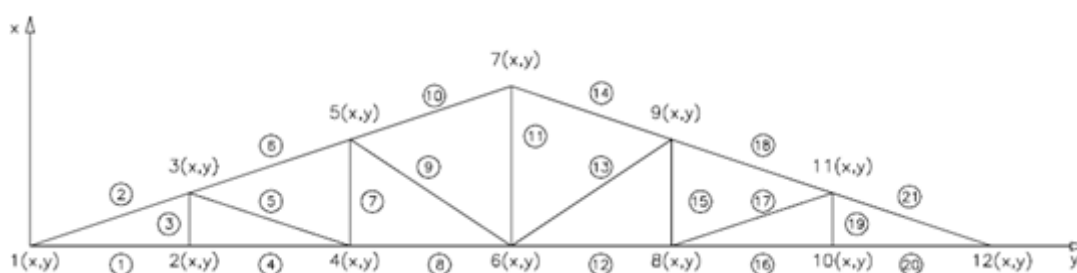
De acordo Partel (2000), são necessários os dados seguintes:

- Coordenadas dos nós de tesouras em relação à origem de um sistema de eixos cartesianos;
- Definição da incidência de barras de tesouras em relação aos nós previamente definidos (nó inicial e nó final de cada barra);
- Vinculação de nós de tesouras.



**Figura 5** - Geometria de tesoura típica de cobertura industrializada

Fonte: (PARTEL, 2000).

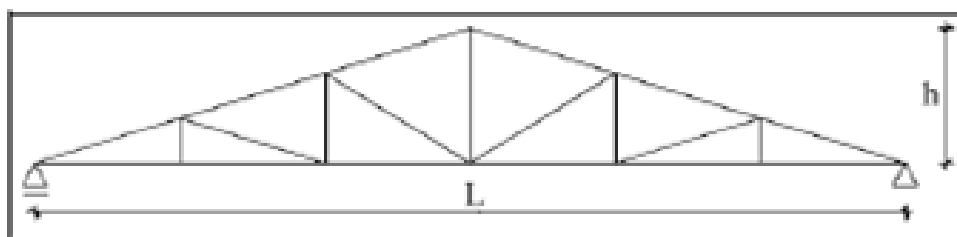


**Figura 6** - Geometria de tesoura (correspondente a Figura 5) definida por dados numéricos  
Fonte: (PARTEL, 2000).

Segundo Martins (2007), a seguir serão apresentadas algumas características dos três tipos de treliças, usualmente utilizadas nos projetos de cobertura em edificações residenciais e comerciais, que são: treliças de contorno triangular e retangular; e treliça em balanço.

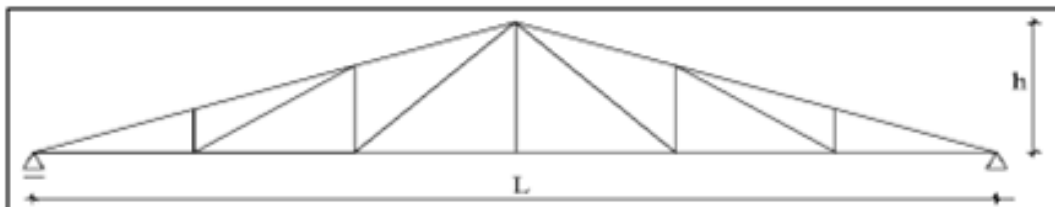
### 3.3.1 Treliça de contorno triangular

- **Treliça tipo Howe:** (Figura 7) tem como função principal, neste caso, dar sustentação às terças, às telhas e aos sistemas de contraventamento. Neste tipo de treliça, devido às ações permanentes, as diagonais e os banzos superiores são comprimidos, enquanto os montantes e os banzos inferiores são tracionados (CALIL & MOLINA, 2010).



**Figura 7** - Tesoura tipo Howe (diagonais normais)  
Fonte: (GESUALDO, 2003).

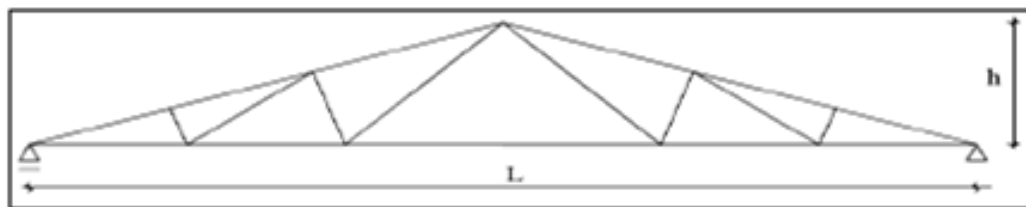
- **Treliça tipo Pratt:** (Figura 8) de acordo Pfeil & Pfeil (2007) é uma treliça cujas diagonais são tracionadas, sendo os montantes comprimidos (para cargas de gravidade), ou segundo Gesualdo (2003) a princípio as tesouras com diagonais invertidas (tipo Pratt) são convenientes para quaisquer vãos.



**Figura 8** - Tesoura tipo Pratt (diagonais invertidas)

Fonte: (GESUALDO, 2003).

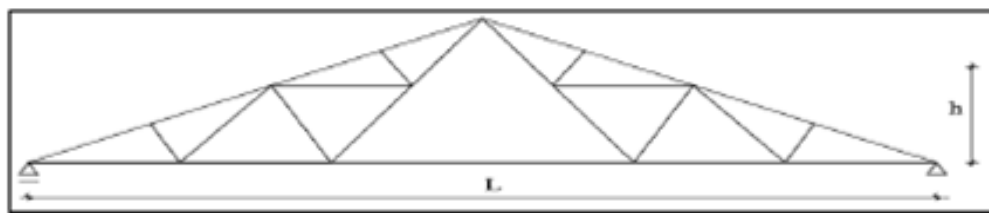
- **Treliça tipo Belga:** (Figura 9) de acordo Pfeil & Pfeil (2007), os montantes comprimidos são perpendiculares ao banzo superior, sendo as diagonais tracionadas (sob as cargas de gravidade). Observe-se que os montantes são mais curtos que as diagonais.



**Figura 9** - Tesoura tipo Belga (diagonais invertidas)

Fonte: (GESUALDO, 2003).

- **Treliça tipo Fink:** (Figura 10) de acordo Gesualdo (2003), é uma variante da treliça Belga. Para vãos maiores possui a conveniência de reduzir o comprimento das barras das diagonais e montantes mais centrais.

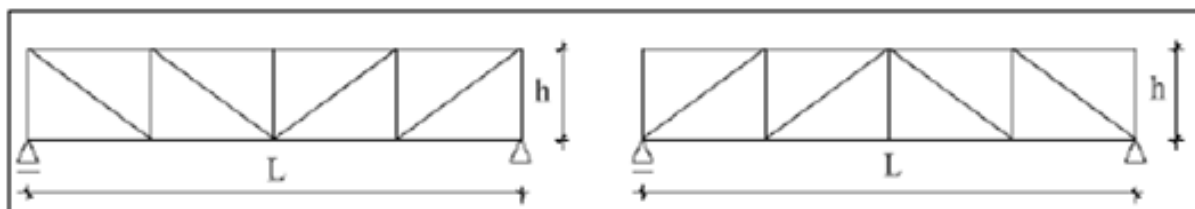


**Figura 10** - Tesoura tipo Fink (diagonais invertidas)

Fonte: (GESUALDO, 2003).

### 3.3.2 Treliça de contorno retangular

Segundo Gesualdo (2003), são as chamadas vigas treliçadas ou vigas mestras dos telhados tipo Shed, usado nas coberturas com características especiais, que exigem obrigatoriamente o formato retangular. Em geral apresentam grandes flechas e as seções transversais são mais robustas que as das outras estruturas. Os dois tipos básicos são mostrados na Figura 11.

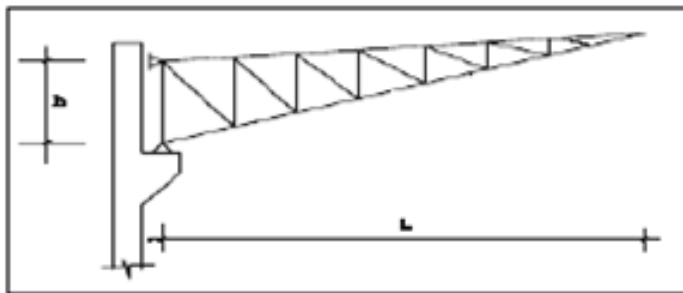


**Figura 11** - Vigas treliçadas com diferentes posições das diagonais

Fonte: (GESUALDO, 2003).

### 3.3.3 Treliça em balanço

As meias tesouras em balanço (Figura 12) são também usualmente chamadas de meias tesouras para arquibancadas, cujas vinculações correspondem a um apoio fixo e outro móvel sobre um mesmo pilar (GESUALDO, 2003).



**Figura 12** - Meia tesoura em balanço

Fonte: (GESUALDO, 2003).

### 3.3.4 Processo de industrialização das treliças

Segundo Calil & Molina (2010), o processo de fabricação pode ser dividido em quatro etapas:

- Usinagem das peças de madeira nas dimensões especificadas;
- Posicionamento das peças sobre uma mesa gabarito;
- Prensagem dos conectores;
- Armazenamento.

Inicialmente, nessas talas metálicas, os pregos eram colocados um a um, em trabalho mais demorado e artesanal. Na continuação, surgiu a chapa com pregos já estampados segundo ângulos retos em relação a seu plano. O processo de ligação consiste basicamente em se colocar as peças a serem ligadas, em posicionar as chapas e proceder à respectiva prensagem. Isto possibilita a produção em larga escala, contribuindo para justificar a idéia da industrialização das estruturas de madeira. (CARVALHO, 2002).

### 3.4 Chapa dente estampado

De acordo Pfeil & Pfeil (2007), em estrutura de treliças-fabricadas, são freqüentemente utilizadas chapas com dentes estampados ou providas de pregos. Essas chapas são prensadas contra as peças de madeira, resultando uma ligação equivalente a talas de chapa metálica com múltiplos pregos.

Já Martins (2007) diz que esse conector funciona como verdadeira “solda” de madeira e permite obter uniões de elevada resistência quando prensado, sempre aos pares, contra duas ou mais peças da treliça e todas no mesmo plano, eliminando detalhes complicados, tais como entalhes, cavilhas, pregos e parafusos na ligação.

Após anos de minuciosas pesquisas, a ABC (*Automated Building Components Inc.*) desenvolveu uma "chapa de aço dentada" a partir de um processo de estampagem que produzia a peça num só corpo. Encontrada essa forma básica, os esforços foram concentrados na tecnologia de fabricação dos "dentes" para aprimorar a fixação da chapa, como também para proteger a madeira, conservando sua estrutura e resistência após o cravamento. Era o último passo para se chegar à solução de um produto único, com a eliminação de todo o conjunto de componentes dos processos de fixação tradicionais. (CALIL & MOLINA, 2010).

Tal sistema foi originalmente desenvolvido em 1955 nos Estados Unidos por J. Calvin Jureit, Gang-Nail (1975) apud Barros (1991), um sistema de ligações e fixações de elementos de madeira através de cobrejuntas metálicas, projetadas então para maximizar sua resistência em função das condições de trabalho (tração, compressão, flexão e cisalhamento), dando o nome de sistema Gang-Nail a tal inovação e criando ainda uma empresa (*Automated Building Components, Inc.*), que passou a fabricar e distribuir tal conector, inicialmente nos Estados Unidos, e atualmente em países como o Brasil, boa parte da América Latina, Europa e África, sendo a sua primeira patente outorgada em 1959.

Este conector está normalizado no Brasil com o nome de Chapas com Dentes Estampados (CDE).

GNA-80 – Conector Estrutural para Fabricação de treliças foi concebido em 1.954 pela *Automated de Treliças Building Components, Inc.* (ABC) GNA-80 foi



desenvolvido para reduzir o alto custo e a complexidade da montagem de estruturas de madeira. Esta “chapa de aço dentado” foi à precursora da tecnologia *GANG-NAIL® Systems*: um novo conceito de projeto, produção e fixação de qualquer estrutura de madeira, de alta performance e confiabilidade (GANG-NAIL DO BRASIL, 2011).

O Sistema Gang-Nail permite o desenvolvimento das mais variadas geometrias de estruturas em madeira, ampliando a versatilidade na criação dos projetos e reduzindo consideravelmente seu custo em relação às construídas utilizando-se o método convencional. Outras qualidades do sistema são a eficiência, a rapidez na montagem, otimização do tempo, espaço e a eliminação da perda do material. Pode ser adaptado em qualquer espécie de madeira, inclusive nas de reflorestamento. Com a mesma performance, o GNA-80 (Figura 13) é fabricado em aço especial zincado a quente, garantindo ligações rígidas sem causar o enfraquecimento da madeira (GANG-NAIL DO BRASIL, 2011).



Figura 13 - Chapa com dentes estampados  
Fonte: (GANG-NAIL DO BRASIL, 2011).

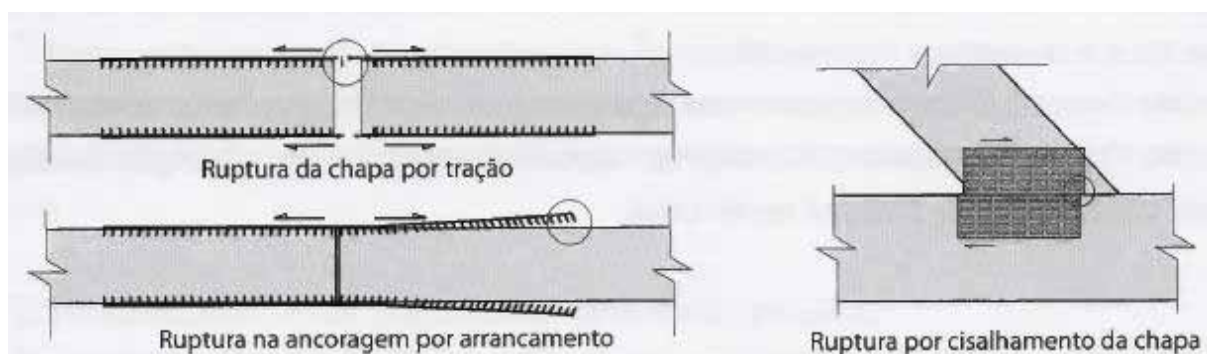
Segundo Baraldi (1996), dentre as principais características das estruturas de coberturas executadas com CDE, destacam-se:

- Redução do peso da estrutura em até 40% com relação ao Sistema tradicional (vigas de 6 x 12 e 6 x 16 cm) sem projetos elaborados por profissionais da 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 de instalação de equipamentos em função do menor espaçamento das treliças;
- Melhor aproveitamento do 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. A falta de indústrias de telhados pelo Brasil encarecendo a execução destas estruturas em certas regiões;
- Não trabalha com peças de seção transversais robustas aparentes.

Segundo a ANSI/TPI (1995) apud Calil & Molina (2010), a resistência das ligações por chapas metálicas com dentes estampados é definida pelo escoamento da chapa metálica ou pelo início de arrancamento os critérios de verificação dos conectores a resistência das ligações por chapas metálicas com dentes estampados dos dentes, ou qualquer fenômeno de ruptura da madeira. A ruptura na madeira ocorre, de maneira geral, por três fatores principais: anatômicos, ambientais e de utilização. Já a ruptura na chapa metálica está relacionada ao embutimento da mesma na madeira, bem como à resistência da chapa. O estado limite último de uma ligação é atingido por deficiência de resistência da madeira e/ou do elemento de ligação.

Na Figura 14, observam-se os três tipos mais frequentes de ruptura, sendo por arrancamento, escoamento da chapa (tração ou compressão) e cisalhamento da chapa.



**Figura 14** - Tipos de ruptura das ligações com CDE

Fonte: (CALIL & MOLINA, 2010).

### **3.4.1 Modos de ruptura em treliças com chapas de dentes estampados**

Segundo Baraldi (1996), os modos de ruptura que ocorrem nas ligações por CDE são:

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

## **3.5 Madeira**

De acordo Pfiel & Pfiel (2007), a madeira é proveniente, o material de construção mais antigo dado a sua disponibilidade na natureza e sua relativa facilidade de manuseio.

A madeira é um material não homogêneo com muitas variações. Além disto, existem diversas espécies com diferentes propriedades. Sendo assim, é necessário o conhecimento de todas estas características para um melhor aproveitamento do material (GESUALDO, 2003).

Segundo o IPT (2003), na construção civil, a madeira é utilizada de diversas formas em usos temporários, como: fôrmas para concreto, andaimes e escoramentos. De forma definitiva, é utilizada nas estruturas de cobertura, nas esquadrias (portas e janelas), nos forros e pisos. Para se avaliar comparativamente esses usos é apresentado na Tabela 1, o consumo de madeira serrada amazônica pela construção civil, no Estado de São Paulo, em 2001.

**Tabela 1** - Consumo de madeira serrada amazônica pela construção civil.

Uso na construção civil	Consumo	
	1000m <sup>3</sup>	%
Estruturas de cobertura	891,7	50
Andaimes e fôrmas para concreto	594,4	33
Forros, pisos e esquadrias	233,5	13
Casas pré-fabricadas	63,7	4
<b>Total</b>	<b>1783,3</b>	<b>100</b>

Fonte: (IPT, 2003)

Segundo Pfeil & Pfeil (2007), devido à orientação das células, a madeira é um material anisotrópico, apresentando três direções principais conforme mostram as Figuras 15 e 16. A diferença de propriedades entre as direções radiais e tangenciais raramente tem importância prática, bastando diferenciar as propriedades na direção das fibras principais (direção longitudinal) e na direção perpendicular às mesmas fibras.

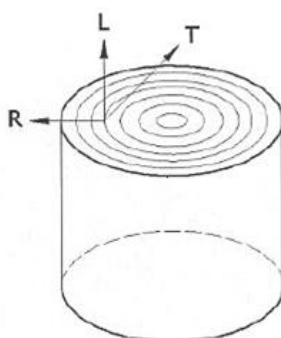


Figura 15 - Anisotropia da madeira nas direções longitudinal, radial e transversal

Fonte: (PFEIL & PFEIL, 2007).

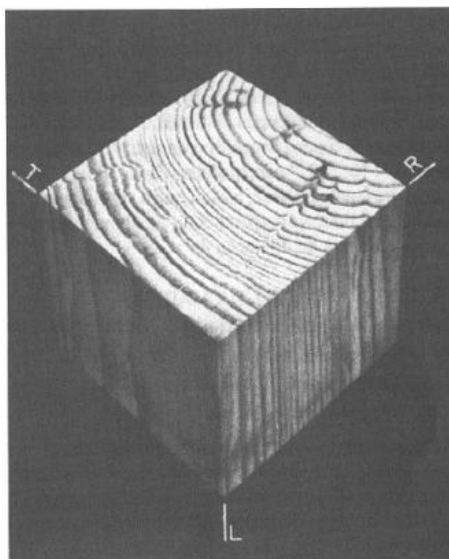


Figura 16 - Vista de uma peça de madeira indicando as direções longitudinal, transversal e radial  
Fonte: (PFEIL & PFEIL, 2007).

Segundo Gonzaga (2006), as madeiras utilizadas neste trabalho são da família Leguminosas, sendo a maioria das boas espécies produtoras de madeira encontradas no Brasil. É dividida em três subfamílias: *Caesalpinioideae*, *Mimosoideae* e *Papilionoideae* (também chamada Fabaceae).

As características principais de madeiras utilizadas nesse trabalho foram descritas por Mainieri & Chimelo (1989), conforme apresentadas nas Tabelas 2, 3, 4 e 5, sendo as madeiras utilizadas: Angelim, Angico-Vermelho, Garapa e Jatobá.

**Tabela 2** - Principais características da madeira Angelim.

<b>Dados</b>	<b>Descrição</b>
Nome Popular	Angelim
Nome Científico	<i>Vatairea heteroptera</i> Ducke
Família	Fabaceae
Zonas de Maior Ocorrência	A área de dispersão do Angelim abrange o sul da Bahia e o norte do Estado do Espírito Santo, em matas pluviais costeiras.
Características Gerais	Madeira pesada e dura ao corte; cerne de cor castanho-amarelado quando recém-póldo, escurecendo para castanho-escuro-amarelado com exposição ao ar, diferenciando do alburno de cor branco-rosado, com aproximadamente 4,0 cm de largura; textura grossa, grã irregular; superfície áspera ao tato; cheiro imperceptível; gosto fortemente amargo; aspecto fibroso acentuado.
Durabilidade Natural	A madeira de Angelim, em ensaios de laboratório, demonstrou ser de alta resistência ao ataque de organismos xilófagos.
Tratamento Preservante	A madeira de Angelim, em ensaios de laboratório, em tratamentos sob pressão, demonstrou ser moderadamente permeável às soluções preservantes.
Principais aplicações	A madeira de Angelim, por ser pesada e de propriedades mecânicas altas, pode ser usada para acabamentos internos, construções externas, esquadrias, folhas faqueadas, tacos e tábuas para assoalhos, vagões, carrocerias, dormentes, etc.

Fonte: (Mainieri & Chimelo, 1989).

**Tabela 3** - Principais características da madeira Angico – Vermelho.

<b>Dados</b>	<b>Descrição</b>
Nome Popular	Angico-Vermelho
Nome Científico	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenae
Família	Mimosaceae
Zonas de Maior Ocorrência	<p>A espécie <i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenae ocorre em florestas pluviais, desde o vale do rio Paranapanema, estado de São Paulo, norte e oeste do estado do Paraná até o Rio Grande do Sul, regiões norte e nordeste; aparece com certa frequência no vale do rio Xapecó, estado de Santa Catarina. Além do nome Angico-Vermelho, recebe os nomes de Angico-Cedro, Angico-Rosa, Angico-de-Cortume, etc. Eventualmente recebe, nos estados de São Paulo e Paraná, o nome Guarucaia, que deve prevalecer para espécie <i>Peltophorum vogelianum</i> Walp., Caesalpiniaceae.</p> <p>Ocorre, também na Argentina, Província de Misiones, e na região do Paraguai, onde é conhecida por Anchico-Colorado, Curupay-Ra, Curupay-Na, etc.</p>
Características Gerais	Madeira pesada, cerne de cor uniforme, castanho ou castanho amarelado, escurecendo para castanho-avermelhado, alburno distinto, branco-amarelado, textura média, grã direita a irregular, superfície irregularmente lustrosa, cheiro imperceptível, gosto levemente adstringente.
Durabilidade Natural	A madeira de Angico-Vermelho, em condições favoráveis ao apodrecimento é considerada de alta durabilidade material, segundo observações práticas a respeito de sua utilização.
Tratamento Preservante	A madeira de angico-vermelho, com fibras de lume reduzido e poros obstruídos por óleo-resina e tilos, em tratamentos experimentais sob pressão. Demonstrou ter baixa permeabilidade às soluções preservantes.
Principais aplicações	A madeira de Angico-Vermelho, sendo de durabilidade natural alta e resistência mecânica média, é indicada para construção de estruturas externas, estacas, esteios, postes, cruzetas, mourões, dormentes, em construção civil, como vigas, caibros, ripas, marcos de portas e janelas, tacos e tábuas para assoalhos, peças torneadas, etc.

Fonte: (Mainieri & Chimelo, 1989).

Tabela 4 - Principais características da madeira Garapa.

Dados	Descrição
Nome Popular	Garapa
Nome Científico	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vog.) Macbr.
Família	Caesalpiaceae
Zonas de Maior Ocorrência	A espécie <i>Apuleia leiocarpa</i> (Vog.) Macbr., segundo alguns autores, é representada, em toda mata brasileira, desde a Amazônia até o Rio Grande do Sul, pelas espécies <i>Amolaris Spruce</i> , que ocorre na Amazônia, principalmente no Estado do Pará, onde é conhecida por Muirajuba, Barajuba, Muiratauí, etc e <i>A. leiocarapa</i> (vog) Macbr, ocorrendo na região sul do país com maior frequência, desde o sul do estado da Bahia, em matas litoraneas até o Rio Grande do Sul, recebendo os nomes vulgares de Amarelinho, Gema-de-ovo, Grápia, Játai-amarelo, etc. É encontrada, ainda no estado do Mato Grosso Sul, Mato Grosso, Rondônia, Goiás, norte do estado do Paraná, vale do rio Xapecó, estado de Santa Catarina, assim como no Uruguai, Argentina e Paraguai.
Características Gerais	Madeira pesada, cerne variando do bege-amarelado ou amarelo levemente rosado, até ao róseo-acastanhado, uniforme, albarno diferenciado, branco-amarelado, textura média, grã-irregular para revessa, superfície lustrosa e lisa ao tato, cheiro e gosto imperceptíveis.
Durabilidade Natural	A madeira de Garapa, em ensaios de laboratório, demonstrou ter resistência moderada ao apodrecimento e baixa resistência ao ataque de cupins de madeira seca.
Tratamento Preservante	A madeira de Garapa, em ensaios de laboratório, quando submetida à impregnação sob pressão, demonstrou ser de baixa permeabilidade às soluções preservantes.
Principais aplicações	A madeira de Garapa, por ser pesada, de durabilidade natural moderada, de resistência mecânica entre média e alta, é indicada para construção de estruturas externas, dormentes, postes, estacas, mourões, carrocerias; em construção civil, como vigas, caibros, ripas, tábuas e tacos para assoalhos, marcos de portas e janelas etc.; barris de cerveja, cabos de ferramentas; construções navais, como estruturas, quilhas etc.

Fonte: (Mainieri & Chimelo, 1989)



Tabela 5 - Principais características da madeira Jatobá.

Dados	Descrição
Nome Popular	Jatobá
Nome Científico	<i>Hymenaea stilbocarpa</i> Hayne
Família	Caesalpiniaceae
Zonas de Maior Ocorrência	<p>O gênero <i>Hymenaea</i>, representado por 13 espécies, ocorre em todo País, tanto em matas pluviais como em matas secas. Ocorre, também desde o México até a Bolívia e Paraguai, onde as suas espécies são conhecidas mais comumente por Guapinol, Jatayvá e Timbary-Avatí. A maioria das espécies fornece madeira de valor comercial, sendo muito apreciada tanto no âmbito nacional como no internacional.</p> <p>A espécie <i>Hymenaea stilbocarpa</i> Hayne, que ocorre desde o estado do Piauí até Paraná, além de receber os nomes de Jatobá e Jataí é conhecida ainda por Jataíba, Farinheira, Burandã, etc.</p> <p>A espécie mais comum na Amazônia é <i>H. courbaril</i> L. que juntamente com as demais espécies dessa região, é conhecida por Jutaí, Jutaí-açu, Jutaí Mirim, Jutaí-vermelho etc, e no comércio internacional, por Courbaril e Locust-tree, indistintamente.</p>
Características Gerais	Madeira muito pesada e muito dura ao corte, cerne variável quanto à cor, de castanho-claro-rosado ao castanho avermelhado, com tonalidades mais ou menos intensas, alburno espesso, nitidamente diferenciado, branco ligeiramente amarelado, textura média, uniforme, grã regular a irregular, superfície pouco lustrosa e ligeiramente ásperera, cheiro e gosto imperceptíveis.
Durabilidade Natural	A madeira de Jatobá, em ensaios de laboratório, demonstrou ser de resistência média a alta ao ataque de organismos xilófagos
Tratamento Preservante	A madeira de Jatobá em ensaios de laboratório, quando submetida à impregnação sob pressão, demonstrou ser um pouco permeável às soluções preservantes.
Principais aplicações	A madeira de Jatobá pode ser muito pesada e de propriedades mecânicas altas, pode ser usada para acabamentos internos, como vigas, caibros, ripas, marcos de portas, tacos e tábuas para assoalhos, artigos de esporte, cabos de ferramentas e implementos agrícolas, construções externas, como dormentes e cruzetas, esquadrias, folhas faqueadas decorativas, móveis, peças torneadas, carrocerias, vagões, etc.

Fonte: (Mainieri & Chimelo, 1989)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os ensaios deste trabalho foram realizados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) do Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

### 4.1 Materiais Utilizados

Os equipamentos e amostras utilizados foram disponibilizados e concedidos pelo LaMEN, obedecendo os modelos de amostragem de acordo com o Anexo C da norma brasileira para estruturas de madeira (NBR 7190/1997).

#### 4.1.1 Equipamentos:

- Paquímetro digital;
- Trena;
- Relógios comparadores com precisão de 0,01mm;
- Gabaritos e dispositivos para os ensaios;
- Prensa hidráulica com anel dinamométrico;
- Máquina Universal de Ensaios AMSLER;
- Máquina de tração *Metriguard 422 Tension proof tester*.

### 4.1.2 Espécie de madeira utilizada nos ensaios

Todas as madeiras ensaiadas pertencem a família Leguminosae, as quais apresentam as seguintes características:

**Tabela 6** – Espécie de madeiras usadas

<b>Espécie</b>	<b>Nome científico</b>	<b>Classe</b>
Angelim	<i>Vatairea heteroptera</i> Ducke	40
Angico - Vermelho	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenae	40
Garapa	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vog.) Macbr.	40
Jatobá	<i>Hymenaea stilbocarpa</i> Hayne	60

Fonte: Manieri & Chimelo, 1989 (modificada pelo autor).

### 4.1.3 Chapas com dentes estampados (conectores gang-nail)

Foram selecionados aleatoriamente de um lote de produção normal os conectores metálicos fabricados pela empresa Gang-Nail do Brasil, com as seguintes especificações fornecidas pelo fabricante:

- Fabricado em aço especial zincado a quente, com chapa de aço 18;
- Obedece aos requisitos da ASTM A446-72 Grau A;
- Tensão admissível à tração: 14 kN/cm<sup>2</sup>;
- Cisalhamento admissível: 9,8 kN/cm<sup>2</sup>;
- Limite de escoamento: 23,2 kN/cm<sup>2</sup>;
- Alongamento em 5 cm : 20% (mínimo);
- Limite de resistência à tração: 31,64 kN/cm<sup>2</sup>.

#### 4.1.4 Características dos conectores GNA-80:

- Espessura: 1,20mm até 1,38mm;
- Número de dentes: 1,5 dentes/cm<sup>2</sup>;
- Peso: 1,05g/cm<sup>2</sup>;
- Comprimento dos dentes: 7,8mm;
- Aço efetivo longitudinal: 32,7%;
- Aço efetivo transversal: 70,2%.

A Figura 17 apresenta as direções longitudinais e transversais da CDE.

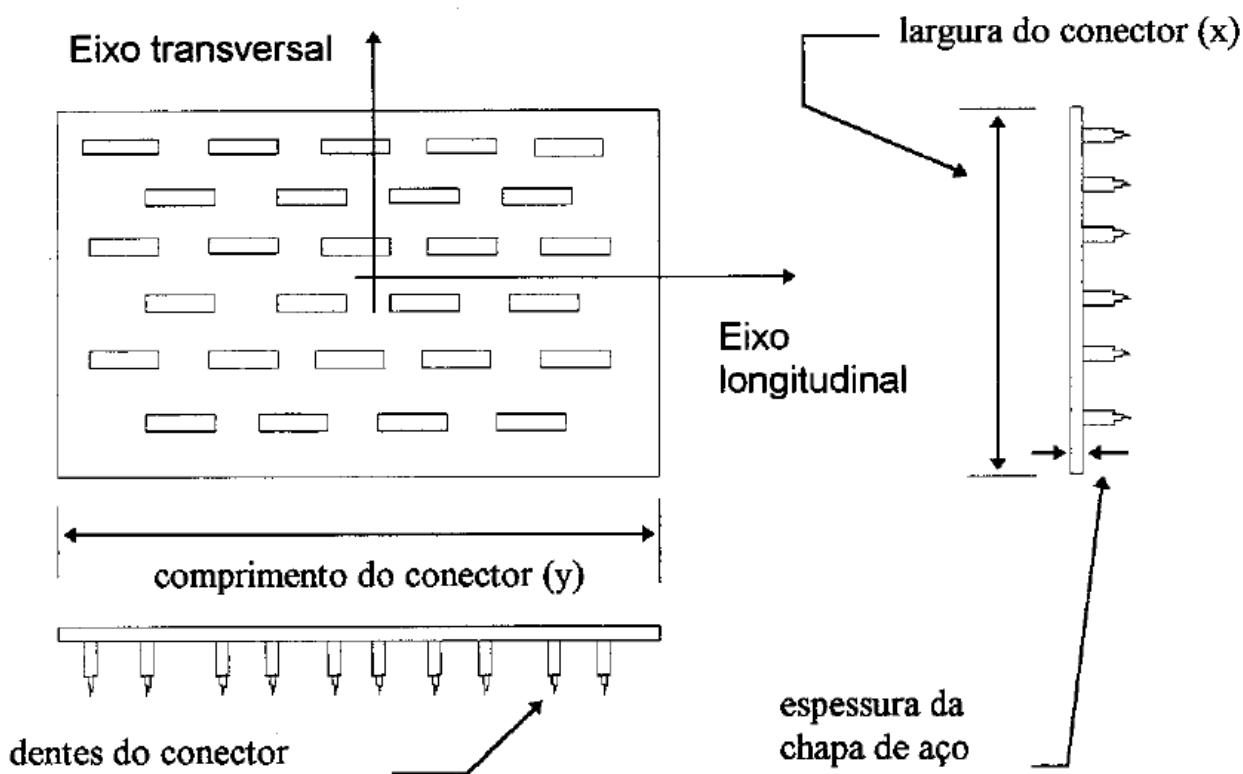


Figura 17 - Direções da CDE.

Fonte: Martins (2007).

## 4.2 Métodos de ensaios

Os ensaios realizados foram baseados na NBR 7190/97: Projeto de Estruturas de Madeira.

- Resistência à tração paralela às fibras, com o ângulo do eixo longitudinal da chapa ( $\alpha_{CH0}$ ) na mesma direção das forças e direção das fibras da madeira ( $\alpha_0$ );
- Resistência à tração paralela às fibras, com o ângulo do eixo longitudinal da chapa ( $\alpha_{CH90}$ ) na direção perpendicular a direção das forças e das fibras da madeira ( $\alpha_0$ );
- Resistência à tração normal às fibras, com o ângulo do eixo longitudinal da chapa ( $\alpha_{CH0}$ ) na mesma direção das forças e perpendicular da direção das fibras da madeira ( $\alpha_{90}$ );
- Resistência à tração normal às fibras, com o ângulo do eixo longitudinal da chapa ( $\alpha_{CH90}$ ) na mesma direção das fibras da madeira ( $\alpha_{90}$ ) e perpendicular da direção das forças;
- Resistência ao cisalhamento, com o ângulo do eixo longitudinal da chapa ( $\alpha_{CH0}$ ) na mesma direção das forças e direção das fibras da madeira ( $\alpha_0$ );
- Resistência ao cisalhamento, com o ângulo do eixo longitudinal da chapa ( $\alpha_{CH90}$ ) na direção perpendicular a direção das forças e das fibras da madeira ( $\alpha_0$ ).

### 4.2.1 Procedimentos Experimentais

Para a determinação da deformação específica residual da ligação, foram feitas medidas de deformações nas duas faces opostas do corpo-de-prova através de relógios comparadores, com precisão de 0,01mm. Mas antes, para determinar a deformação em um teste, é necessário fazer um ensaio inicial estimativo onde uma amostra de qualquer espécie foi levada a sua ruptura, assim adotada essa força de

ruptura como a resistência estimada ( $R_{est.}$ ) para todas as outras amostras. Caso houver uma diferença maior que 20% em relação à resistência estimada  $R_{est.}$  determinada na primeira amostra, para mais de dois corpos-de-prova, a resistência deve ser ajustada pela realização de um novo ensaio de resistência. A equação 1 encontra-se a fórmula para se obter a resistência:

$$f_u = \frac{F_{rup}}{A_{chapa}} \quad (1)$$

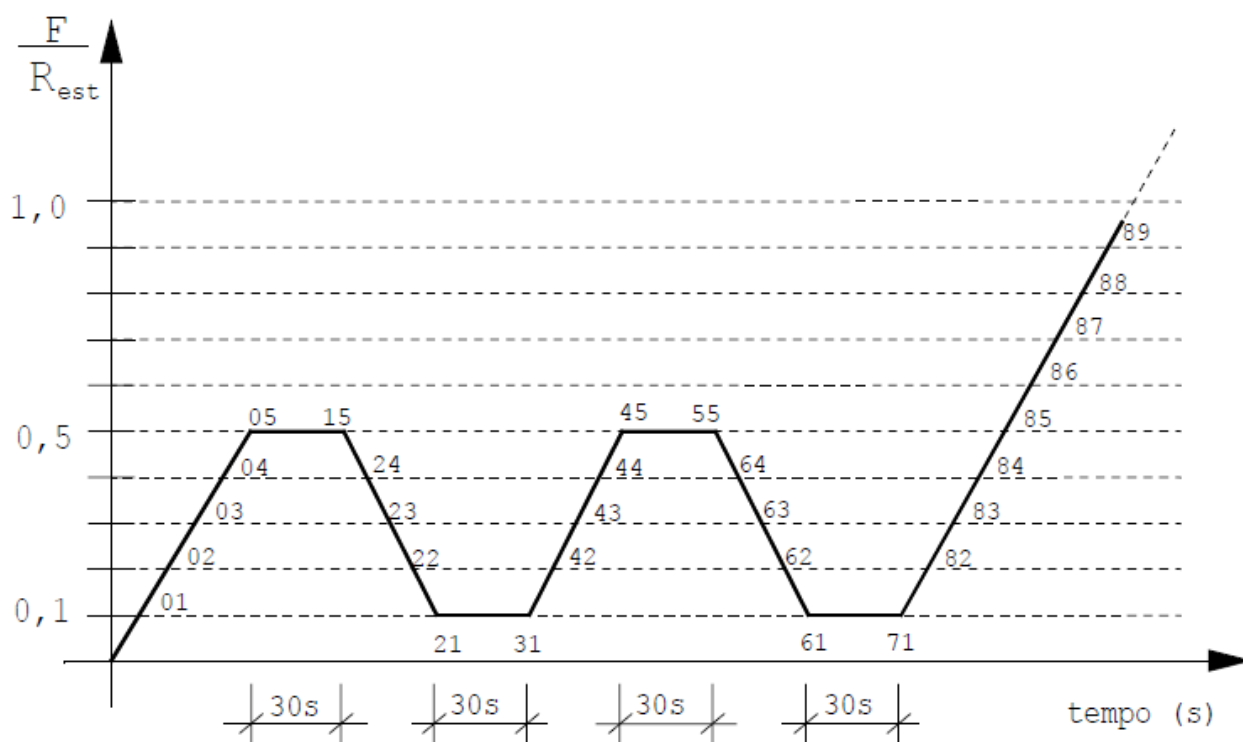
Onde:

$f_u$  = Resistência última da ligação (KN/cm<sup>2</sup>);

$F_{rup}$  = Força de ruptura (KN);

$A_{chapa}$  = Área da seção de ruptura da chapa (cm<sup>2</sup>).

Conhecida a resistência estimada ( $R_{est.}$ ) do ensaio, o carregamento deve ser aplicado com um ou dois ciclos de carga e descarga, de acordo a Figura 18, que ilustra o diagrama de carregamento:



**Figura 18** - Diagrama de carregamento para ligações por CDE

Fonte: NBR 7190/1997

As deformações devem ser registradas para cada ponto do diagrama de carregamento, até 70% da força estimada. Em seguida deve-se retirar a instrumentação e elevar o carregamento até a ruptura do corpo-de-prova. Para o cálculo da rigidez é utilizado a equação 2:

$$K = \frac{F_{est.50\%} - F_{est.10\%}}{\epsilon_{50\%} - \epsilon_{10\%}} \quad (2)$$

Onde:

$K$  = Rigidez da ligação (KN/mm);

$F_{est.10\%}$  =Força estimada de 10% da Força de ruptura estimada (KN);

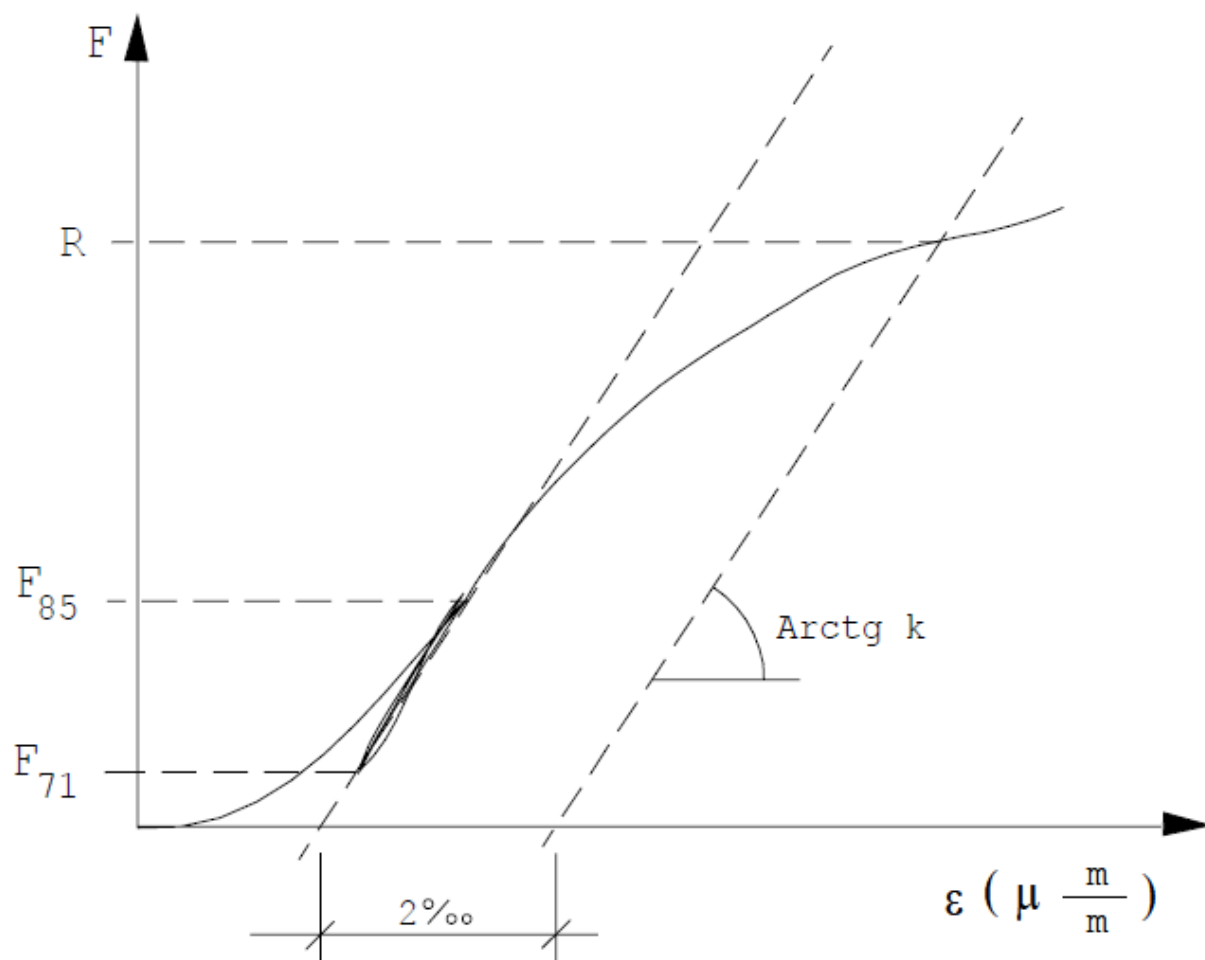
$F_{est.50\%}$  =Força estimada de 50% da Força de ruptura estimada (KN);

$\varepsilon_{10\%}$  = Deslocamento quando aplicada  $F_{est.10\%}$  (mm);

$\varepsilon_{50\%}$  = Deslocamento quando aplicada  $F_{est.50\%}$  (mm).

De acordo com a NBR 7190 (1997), a resistência das ligações por chapas metálicas com dentes estampados é definida pelo escoamento da chapa metálica, ou pelo início de arrancamento da chapa metálica, ou por qualquer fenômeno de ruptura da madeira, não se tomando valor maior que a carga aplicada ao corpo-de-prova, para uma deformação específica residual da ligação de 2‰, medida em uma base de referência padronizada, igual ao comprimento da chapa metálica na direção do esforço aplicado, como mostra o diagrama da Figura 18. Para esta finalidade a deformação específica residual da ligação é medida a partir da intersecção da reta secante, definida pelos pontos (F71;  $\varepsilon_{71}$ ) e (F85;  $\varepsilon_{85}$ ) do diagrama força deformação específica, representados pelos pontos 71 e 85 do diagrama de carregamento da figura 19, com o eixo das deformações. A partir desta intersecção constrói-se uma reta paralela afastada de 2‰ até a intersecção do diagrama força x deformação específica da ligação. A força correspondente é definida como a resistência da ligação **R**.





**Figura 19** – Diagrama força x deformação específica da ligação por CDE

Fonte: (NBR-7190/97).

## 4.2.2 Procedimentos de ensaio

### 4.2.2.1 Preparação dos corpos-de-prova

As peças de madeira foram cortadas conforme o anexo C da (NBR 7190/1997), para cada modelo de amostragem nas dimensões de cada ensaio a ser realizado, como também foram selecionadas as chapas nas suas respectivas dimensões.

#### 4.2.2.2 Preparação dos corpos-de-prova para o ensaio de tração paralela

Foram produzidos quatro corpos-de-prova de cada espécie e selecionadas dois tipos de CDE de dimensões diferentes. As dimensões das peças de madeira estão apresentadas nas Tabelas 7 e 8.

**Tabela 7-** Dimensões das peças de madeira para ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH0}$ )

CP	Espécie	Lado					
		A			B		
		Comp (cm)	Larg (cm)	Esp (cm)	Comp (cm)	Larg (cm)	Esp (cm)
1	Angelim	152,80	7,11	3,83	152,20	7,15	3,80
2	Angelim	152,40	6,98	3,81	152,00	7,03	3,82
1	Angico	158,10	7,34	3,59	157,70	7,37	3,58
2	Angico	157,40	7,44	3,51	158,20	7,48	3,49
1	Garapa	154,90	6,86	3,73	154,10	6,90	3,72
2	Garapa	155,50	6,92	3,86	154,80	6,97	3,84
1	Jatobá	157,90	7,15	3,85	157,30	7,19	3,84
2	Jatobá	157,00	6,45	3,79	157,90	6,49	3,76

**Tabela 8 -** Dimensões das peças de madeira para ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH90}$ )

CP	Espécie	Lado					
		A			B		
		Comp (cm)	Larg (cm)	Esp (cm)	Comp (cm)	Larg (cm)	Esp (cm)
1	Angelim	158	7,04	3,88	157,5	7,08	3,91
2	Angelim	157,2	6,97	3,85	156,6	6,94	3,84
1	Angico	151,8	7,38	3,67	152,2	7,32	3,65
2	Angico	152	7,37	3,51	152,6	7,36	3,54
1	Garapa	157,5	6,92	3,79	157,1	6,91	3,8
2	Garapa	158	6,85	3,74	157,5	6,9	3,72
1	Jatobá	157,4	6,93	3,83	157	6,96	3,8
2	Jatobá	153,3	7,01	3,86	153	7,06	3,86

As dimensões das CDE estão apresentadas na Tabela 9.

**Tabela 9** - Dimensões das CDE para ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ )

Ângulo da chapa	Comp (cm)	Larg (cm)	Esp (cm)	Nº dentes	L <sub>rup</sub> (cm)
Chapa ( $\alpha_{CH0}$ )	13,96	7,31	0,12	140	7,31
Chapa ( $\alpha_{CH90}$ )	10,74	7,94	0,125	120	7,94

#### 4.2.2.3 Preparação dos corpos-de-prova para o ensaio de tração normal

Foram produzidos doze corpos-de-prova de duas espécies (Angelim e Garapa), quatorze corpos-de-prova de outras duas espécies (Angico e Jatobá) e selecionadas três tipos de CDE de dimensões diferentes. As dimensões das peças de madeira estão apresentadas nas Tabelas 10 e 11. A razão do uso de um corpo-de-prova a mais para Angico e Jatobá, deve-se ao fato dos resultados obtidos a partir dos ensaios realizados.

**Tabela 10** - Dimensões das peças de madeira para ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ ) ( $\alpha_{CH0}$ )

CP	Espécie	Lado					
		A			B		
		Comp (cm)	Larg (cm)	Esp (cm)	Comp (cm)	Larg (cm)	Esp (cm)
1	Angelim	39,6	7,06	3,85	24,7	7,02	3,82
2	Angelim	40,1	6,96	3,83	25,1	6,93	3,8
3	Angelim	39,8	6,92	3,79	24,6	6,89	3,82
1	Angico	40,1	7,36	3,7	25,5	7,42	3,69
2	Angico	40,3	7,44	3,65	25,4	7,5	3,66
3	Angico	40,5	7,18	3,75	25,2	7,19	3,77
4	Angico	39,8	7,47	3,71	24,9	7,45	3,73
1	Garapa	40	6,9	3,91	25,3	6,92	3,89
2	Garapa	40	7,01	3,85	25,5	6,99	3,84
3	Garapa	39,8	6,85	3,87	24,7	6,84	3,86
1	Jatobá	39,5	7,05	3,86	25,8	7,04	3,87
2	Jatobá	40	6,89	3,84	25	6,94	3,84
3	Jatobá	40,4	6,63	3,85	24,9	6,69	3,88

**Tabela 11** - Dimensões das peças de madeira para ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ ) ( $\alpha_{CH90}$ )

CP	Espécie	Lado					
		A			B		
		Comp (cm)	Larg (cm)	Esp (cm)	Comp (cm)	Larg (cm)	Esp (cm)
1	Angelim	40	7,05	3,81	24,7	7,07	3,82
2	Angelim	40,1	6,93	3,78	25,1	6,92	3,78
3	Angelim	40,4	7,01	3,74	25,2	7,05	3,75
1	Angico	40,1	7,36	3,71	25,5	7,31	3,73
2	Angico	40	7,45	3,66	25,5	7,42	3,64
3	Angico	40,7	7,28	3,4	24,8	7,27	3,42
1	Garapa	40	6,9	3,9	25,3	6,86	3,87
2	Garapa	40	6,96	3,83	25,5	7	3,83
3	Garapa	40,5	6,95	3,88	25,8	6,96	3,86
1	Jatobá	39,5	7,02	3,88	25,8	7,01	3,86
2	Jatobá	40	6,97	3,81	25	6,92	3,84
3	Jatobá	40,3	6,79	3,85	24,2	6,78	3,83
4	Jatobá	39,8	6,99	3,88	25,1	7	3,9

As dimensões das CDE apresentam na tabela 12.

**Tabela 12** - Dimensões das CDE para ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ )

Espécies	Ângulo da chapa	Comp (cm)	Larg (cm)	Esp (cm)	Nº dentes	Lrup (cm)
1 e 2	Chapa ( $\alpha_{CH0}$ )	10,74	7,94	0,125	120	7,94
3 e 4	Chapa ( $\alpha_{CH0}$ )	10,77	9,98	0,13	150	9,98
Todas	Chapa ( $\alpha_{CH90}$ )	13,96	7,31	0,12	140	7,31

#### 4.2.2.4 Preparação dos Corpos-de-Prova para o ensaio de Cisalhamento

Foram produzidos quatro corpos-de-prova de cada espécie e selecionadas dois tipos de CDE. As Tabelas 13 e 14 apresentam as dimensões das peças de madeira.

**Tabela 13** - Dimensões das peças de madeira para ensaio de cisalhamento, ( $\alpha_0$ ), ( $\alpha_{CH90}$ )

CP	Espécie	Lado					
		A			B		
		Comp (cm)	Larg (cm)	Esp (cm)	Comp (cm)	Larg (cm)	Esp (cm)
1	Angelim	25,2	7,33	3,83	24,9	7,3	3,84
2	Angelim	25,5	6,91	3,88	25,1	6,93	3,89
1	Angico	24,9	7,39	3,68	25,4	7,38	3,65
2	Angico	25,3	7,41	3,6	25,1	7,44	3,62
1	Garapa	25,7	7,02	3,83	26,1	7,04	3,81
2	Garapa	24,9	6,13	3,8	25,1	6,11	3,79
1	Jatobá	24,7	6,89	3,92	25	6,84	3,89
2	Jatobá	25,1	6,92	3,89	25,6	6,97	3,87

**Tabela 14** - Dimensões das peças de madeira para ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH90}$ )

CP	Espécie	Lado					
		A			B		
		Comp (cm)	Larg (cm)	Esp (cm)	Comp (cm)	Larg (cm)	Esp (cm)
1	Angelim	25	7,01	3,71	25,1	6,97	3,69
2	Angelim	25,1	6,89	3,83	25,1	6,87	3,82
1	Angico	25,3	7,34	3,53	24,7	7,3	3,52
2	Angico	24,9	7,35	3,66	25,3	7,38	3,64
1	Garapa	25,1	6,83	3,77	25	6,85	3,8
2	Garapa	25	7,11	3,87	25,3	7,09	3,85
1	Jatobá	25,2	6,97	3,82	25	6,95	3,79
2	Jatobá	25,1	6,91	3,7	24,8	6,89	3,68

A Tabela 15 apresenta as dimensões dos dois tipos de CDE.

**Tabela 15** - Dimensões das CDE para ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$ )

Ângulo da chapa	Comp (cm)	Larg (cm)	Esp (cm)	Nº dentes	Lrup (cm)
Chapa ( $\alpha_{CH0}$ )	13,96	7,31	0,12	140	13,96
Chapa ( $\alpha_{CH90}$ )	10,77	9,98	0,13	150	10,77

### 4.2.3 Prensagem

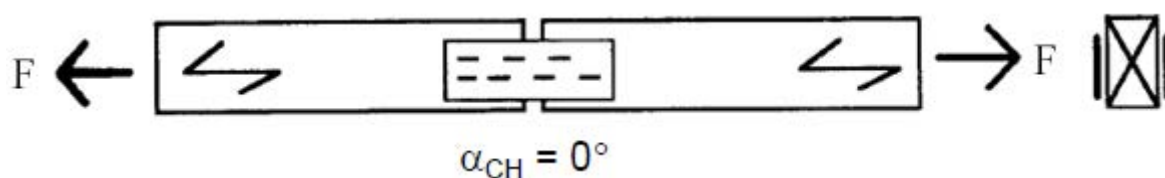
Todos os corpos-de-prova foram prensados em prensa hidráulica com anel dinamométrico, como apresentada na Figura (20), com o objetivo de se obter valores para a força de cravação, e assim, anotados os dados. A prensagem tem que ser cuidadosa para a chapa não sair do esquadro e nem entortar os dentes, e as peças de madeira tem que ter uma diferença muito pequena de espessura para evitar uma instabilidade do conector.



Figura 20- Prensagem tração paralela ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH0}$ )

#### 4.2.3.1 Prensagem para o ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH0}$ )

A prensagem foi feita com a CDE ( $\alpha_{CH0}$ ) e a fibra da madeira ( $\alpha_0$ ) na mesma direção das forças aplicadas no ensaio ( $\alpha=0^\circ$  e  $\alpha_{CH} = 0^\circ$ ), conforme a Figura 21 e 22.



**Figura 21** – Arranjo do corpo-de-prova para o ensaio de tração paralela com a CDE na mesma direção das fibras da madeira e das forças que vão ser aplicadas.

Fonte: BARALDI (1996), modificado pelo autor.



**Figura 22** - Prensagem da CDE na prensa hidráulica com anel dinâmométrico.

Os dados da prensagem para o ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH0}$ ), estão apresentados na Tabela 16.

**Tabela16** – Resultados das forças de cravação no ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH0}$ )

CP	Espécie	Lado		Média	N° dentes
		A	B		
		Força de cravação (Kgf)	Força de cravação (Kgf)	Força de cravação (Kgf)	
1	Angelim	7279,58	8603,14	7941,36	138
2	Angelim	9926,70	9926,70	9926,70	138
1	Angico	8272,25	8272,25	8272,25	137
2	Angico	5294,24	7941,36	6617,80	136
1	Garapa	8934,03	8934,03	8934,03	138
2	Garapa	9926,70	9926,70	9926,70	136
1	Jatobá	9926,70	9926,70	9926,70	138
2	Jatobá	11912,04	10588,48	11250,26	139
Desvio padrão		2008,84	952,46	1458,49	1
Média		8934,03	9264,92	9099,48	138

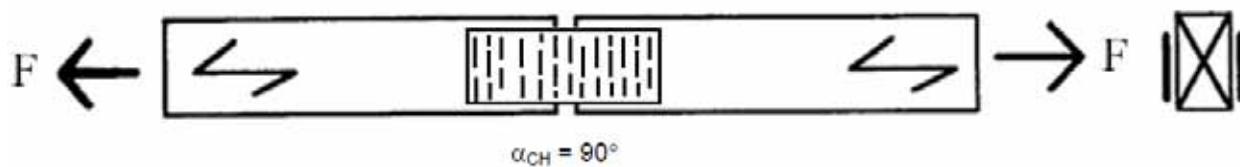
#### 4.2.3.2 Prensagem para o ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ $\alpha_{CH90}$ )

A prensagem de tração paralela ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH90}$ ) apresentada na Figura 23 é semelhante à tração paralela ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH0}$ ), mudando apenas a direção da CDE para a posição perpendicular as fibras da madeira ( $\alpha_{CH90}$ ), e as forças que vão atuar no ensaio ( $\alpha=0^\circ$  e  $\alpha_{CH} = 90^\circ$ ), esse arranjo pode ser visto na Figura 24.





**Figura 23** - .Prensagem do corpo-de prova para o ensaio de tração paralela.



**Figura 24** – Arranjo do corpo-de-prova para o ensaio de tração paralela com a CDE na direção perpendicular as fibras da madeira e as forças que vão ser aplicadas.

Fonte: BARALDI (1996), modificado pelo autor.

Os dados da prensagem para o ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH90}$ ) são apresentados na tabela 17.

**Tabela17** – Resultados das forças de cravação no ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH90}$ )

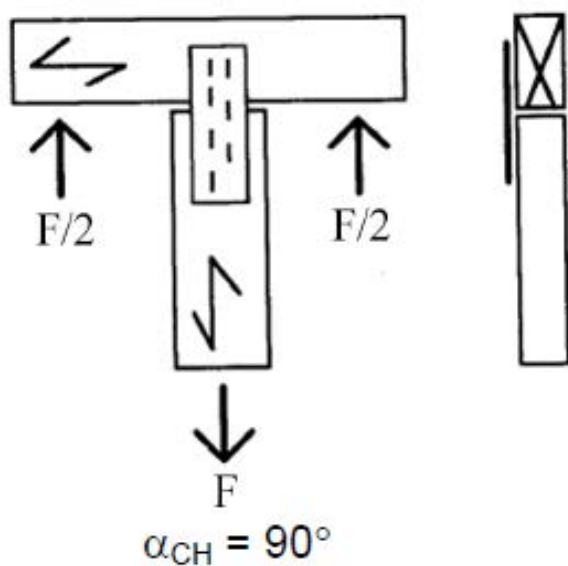
CP	Espécie	Lado		Média	N° dentes
		A	B		
		Força de cravação (Kgf)	Força de cravação (Kgf)		
1	Angelim	8272,25	8272,25	8272,25	93
2	Angelim	6617,80	6617,80	6617,80	94
1	Angico	7941,36	7941,36	7941,36	103
2	Angico	7941,36	7941,36	7941,36	102
1	Garapa	7775,92	7941,36	7858,64	91
2	Garapa	9926,70	7941,36	8934,03	92
1	Jatobá	9926,70	9926,70	9926,70	93
2	Jatobá	8272,25	9926,70	9099,48	91
Desvio padrão		1111,38	1110,72	997,52	5
Média		8334,29	8313,61	8323,95	95

#### 4.2.3.3 Prensagem para o ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ $\alpha_{CH90}$ )

A prensagem das amostras para o ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$   $\alpha_{CH90}$ ) é composta por duas peças de madeira unidas pela CDE formando um T apresentada na Figura 25. O ângulo da chapa e as fibras da madeira da peça transversal do corpo-de-prova são perpendiculares a aplicação da forças que serão aplicadas no ensaio ( $\alpha=90^\circ$  e  $\alpha_{CH} = 90^\circ$ ), esse arranjo pode ser visto na Figura 26.



**Figura 25** – Prensagem do corpo-de-prova para o ensaio na tração normal ( $\alpha_{90}$   $\alpha_{CH90}$ ).



**Figura 26** - Arranjo do corpo-de-prova na tração normal ( $\alpha_{90}$   $\alpha_{CH90}$ )

Fonte: BARALDI (1996), modificado pelo autor.

Os dados da prensagem das amostras utilizadas para o ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$   $\alpha_{CH90}$ ) apresentam na tabela abaixo 18.

**Tabela18** – Resultados das forças de cravação no ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ ) ( $\alpha_{CH90}$ )

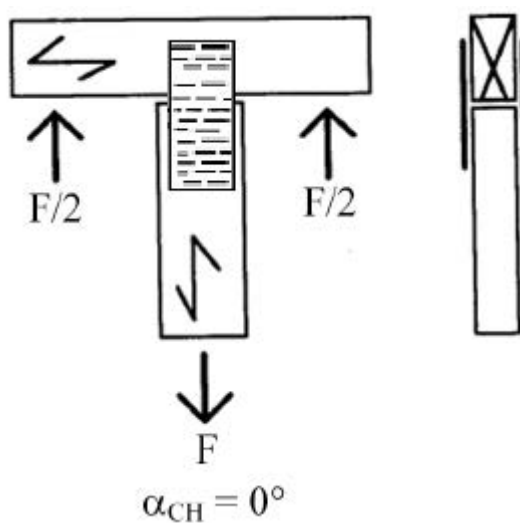
CP	Espécie	Lado		Média	N° dentes
		A	B		
		Força de cravação (Kgf)	Força de cravação (Kgf)	Força de cravação (Kgf)	
1	Angelim	9926,70	9926,70	9926,70	140
2	Angelim	9926,70	9926,70	9926,70	140
3	Angelim	9264,92	10257,59	9761,26	130
1	Angico	9926,70	9926,70	9926,70	140
2	Angico	8272,25	8272,25	8272,25	140
3	Angico	9264,92	9595,81	9430,37	140
1	Garapa	8603,14	8603,14	8603,14	140
2	Garapa	8934,03	8934,03	8934,03	140
3	Garapa	9595,81	10257,59	9926,70	135
1	Jatobá	9926,70	9264,92	9595,81	140
2	Jatobá	9926,70	9926,70	9926,70	140
3	Jatobá	10257,59	10257,59	10257,59	128
4	Jatobá	12242,93	11581,15	11912,04	140
Desvio padrão		968,33	850,24	883,63	4
Média		9697,62	9748,53	9723,08	138

#### 4.2.3.4 Prensagem para o ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ $\alpha_{CH0}$ )

A prensagem para o ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$   $\alpha_{CH0}$ ), é semelhante ao ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$   $\alpha_{CH90}$ ), mudando apenas a direção do ângulo da chapa ( $\alpha_{CH}$ ) de  $0^\circ$  para  $90^\circ$  que formava com as fibras da madeira da peça transversal do corpo-de-prova como observado na Figura 27, assim o ângulo da chapa fique paralela as fibras da madeira da peça transversal do corpo-de-prova e perpendicular as forças que vão atuarem no ensaio ( $\alpha=90^\circ$  e  $\alpha_{CH} = 0^\circ$ ), esse arranjo pode ser visto na Figura 28.



**Figura 27-** Prensagem do corpo-de-prova para o ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$   $\alpha_{CH0}$ )



**Figura 28** - Arranjo para o ensaio de tração normal I ( $\alpha_{90}$   $\alpha_{CH0}$ )

Fonte: BARALDI (1996), modificado pelo autor.

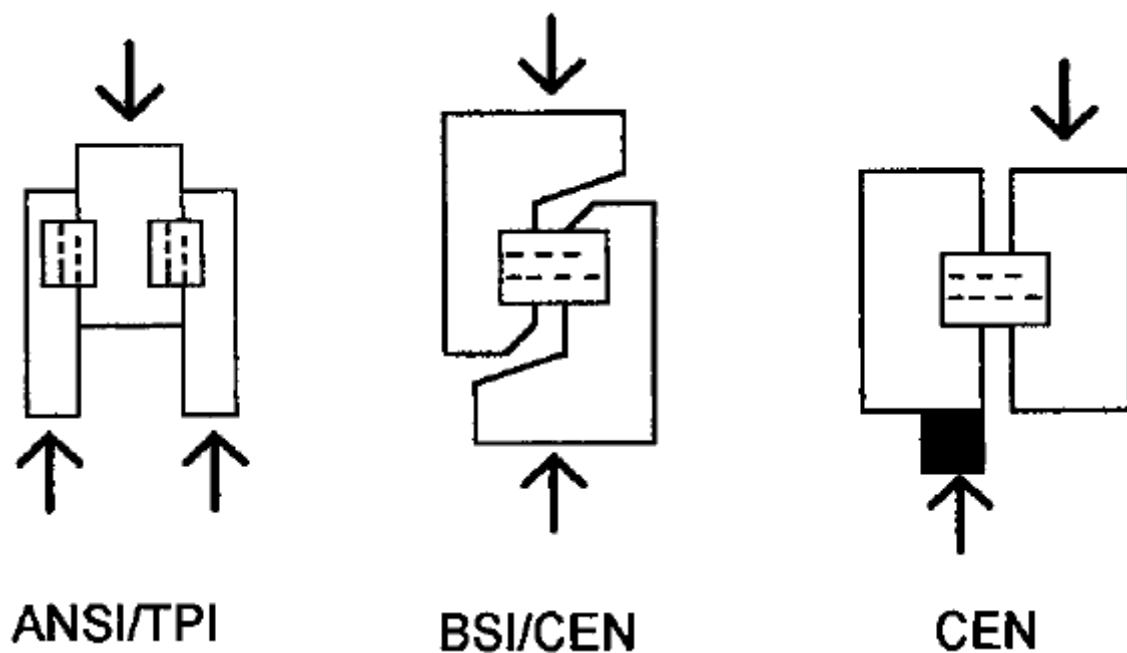
Os dados da prensagem para o ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$   $\alpha_{CH0}$ ) apresentam na tabela 19.

**Tabela19** – Resultados das forças de cravação no ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ ) ( $\alpha_{CH0}$ )

CP	Espécie	Lado		Média	N° dentes
		A	B		
		Força de cravação (Kgf)	Força de cravação (Kgf)		
1	Angelim	7941,36	8272,25	8106,81	92
2	Angelim	7941,36	7941,36	7941,36	90
3	Angelim	10257,59	10257,59	10257,59	93
1	Angico	8603,14	8603,14	8603,14	99
2	Angico	8768,59	8934,03	8851,31	105
3	Angico	8934,03	9595,81	9264,92	112
4	Angico	8272,25	10257,59	9264,92	112
1	Garapa	8272,25	8272,25	8272,25	95
2	Garapa	8272,25	8272,25	8272,25	95
3	Garapa	10753,93	10257,59	10505,76	92
1	Jatobá	8272,25	8603,14	8437,70	95
2	Jatobá	8272,25	8272,25	8272,25	94
3	Jatobá	9926,70	11581,15	10753,93	90
Desvio padrão		919,06	1117,09	960,28	8
Média		8806,76	9163,11	8984,94	97

#### 4.2.3.5 Prensagem para o ensaio de cisalhamento

Para fazer o ensaio de cisalhamento Baraldi (1996), cita três diferentes modelos de corpos-de-prova. O primeiro modelo da norma americana (ANSI/TPI 1, 1995), o segundo modelo da norma inglesa (BS 6948, 1989), e o outro modelo pela norma europeia (prEN 1075, 1995), conforme mostrado na Figura 29.



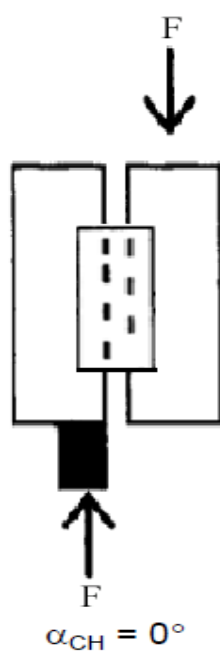
**Figura 29** - Três diferentes modelos de corpo-de-prova para ensaio de cisalhamento.  
[Fonte: BARALDI (1996)].

#### **4.2.3.5.1 Prensagem para o ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$ $\alpha_{CH0}$ )**

A amostra produzida para o ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH0}$ ), foi baseada pelo modelo proposto pela norma europeia (prEN 1075,19950), como visto na Figura 30, onde fixou se a chapa na direção paralelas às fibras da madeira e às forças a serem aplicadas no ensaio, esse arranjo apresenta na Figura 31.



**Figura 30** - Prensagem do corpo-de-prova para o ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH0}$ )



**Figura 31** - Arranjo do corpo-de-prova para o ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH0}$ )  
Fonte: BARALDI (1996), modificado pelo autor.



Os dados da prensagem para o ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH0}$ ) apresentam na Tabela 20.

**Tabela 20** – Resultados das forças de cravação no ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH0}$ )

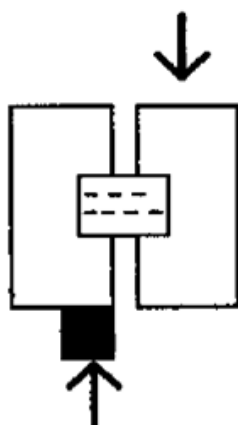
CP	Espécie	Lado		Média	N° dentes
		A	B		
		Força de cravação (Kgf)	Força de cravação (Kgf)		
1	Angelim	12242,93	8272,25	10257,59	126
2	Angelim	10919,37	12573,82	11746,60	126
1	Angico	8272,25	7941,36	8106,81	126
2	Angico	9264,92	9926,70	9595,81	126
1	Garapa	7610,47	8437,70	8024,08	126
2	Garapa	8272,25	8272,25	8272,25	126
3	Garapa	8934,03	8272,25	8603,14	126
1	Jatobá	9926,70	11250,26	10588,48	126
2	Jatobá	9264,92	9926,70	9595,81	126
Desvio padrão		1443,37	1616,80	1284,49	0
Média		9411,98	9430,37	9421,17	126

#### 4.2.3.5.2 Prensagem para o ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$ $\alpha_{CH90}$ )

A prensagem para o ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH90}$ ), é semelhante a de cisalhamento ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH0}$ ), mudando apenas a posição da chapa, como visto na Figura 32, ficando perpendicular as fibras da madeira e as forças que vão atuar no ensaio. ( $\alpha=0^\circ$  e  $\alpha_{CH} = 90^\circ$ ), esse arranjo pode ser visto na Figura 33.



**Figura 32** - Prensagem do corpo-de-prova para o ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH90}$ ).



**Figura 33** - Arranjo do corpo-de-prova para o ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH90}$ )

Fonte: BARALDI (1996), modificado pelo autor.

Os dados da prensagem para o ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH90}$ ) apresentam na Tabela 21.

**Tabela 21** – Resultados das forças de cravação no ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH90}$ )

CP	Espécie	Lado		Média	N° dentes
		A	B		
		Força de cravação (Kgf)	Força de cravação (Kgf)		
1	Angelim	10588,48	11581,15	11084,82	150
2	Angelim	15551,83	12573,82	14062,83	150
1	Angico	11581,15	10919,37	11250,26	150
2	Angico	10257,59	10588,48	10423,04	150
1	Garapa	10919,37	11581,15	11250,26	150
2	Garapa	10919,37	12573,82	11746,60	150
3	Garapa	8603,14	9926,70	9264,92	150
1	Jatobá	12904,71	11581,15	12242,93	150
2	Jatobá	12573,82	19191,62	15882,72	150
Desvio padrão		1967,64	2730,82	1978,43	0
Média		11544,38	12279,70	11912,04	150

## 4.2.4 Ensaio

### 4.2.4.1 Ensaio de tração paralela

Os ensaios de tração paralela com a CDE fixada nos dois ângulos ( $\alpha=90^\circ$  e  $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) foram feitos na máquina de tração *Metriguard 422 Tension proof tester* com capacidade de 890 KN e velocidade de carregamento recomendada pela NBR 7190:1997, apresentada na Figura 34.



**Figura 34** - Máquina de tração *Metriguard 422 Tension proof tester*.

#### **4.2.4.2 Ensaio de tração Normal**

Os ensaios de tração normal foram feitos na máquina Universal de Ensaios AMSLER Figura 35, com o auxílio de um dispositivo usado para deixar o corpo-de-prova posicionado corretamente, Figura 36. Foram feitos os ensaios com 16 corpos-de-prova sem relógio comparador, mais 10 corpos-de-prova com o relógio comparador. A força de ruptura do primeiro corpo-de-prova foi de 3500Kgf, adotando-se a resistência estimada ( $R_{est.}$ ) de 3500 Kgf.

Todos os ensaios foram seguindo o diagrama de carregamento conforme recomendado a norma NBR 7190/1997. O ensaio de duas espécies foi refeitos, porque os corpos-de-prova anteriores foram detectados problemas.



**Figura 35** - Máquina Universal de Ensaio AMSLER.



**Figura 36** - Dispositivo usado para fixar o corpo de prova  
[Fonte: BARALDI (1996)].

#### 4.2.4.3 Ensaio de cisalhamento

Os ensaios de cisalhamento foram feitos na máquina Universal de Ensaio AMSLER Figura 37, com duas cargas máximas estimadas seguindo o diagrama de carregamento. A primeira foi a resistência estimada  $R_{est}$  de 3080Kgf, como houve dois corpos-de-prova com uma diferença maior que 20% em relação a resistência estimada  $R_{est}$ , então conforme as normas norma NBR 7190/1997 foi ajustado a segunda resistência estimada  $R_{est}$  para 3500Kgf.



**Figura 37** - Máquina Universal de Ensaio AMSLER

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise estatística:

#### 5.1.1 Prensagem

A prensagem quando foi feita, só parava de aplicar a força quando a CDE encostava-se à peça de madeira, e através do anel dinamométrico foram feitas as leituras de força de cravação.

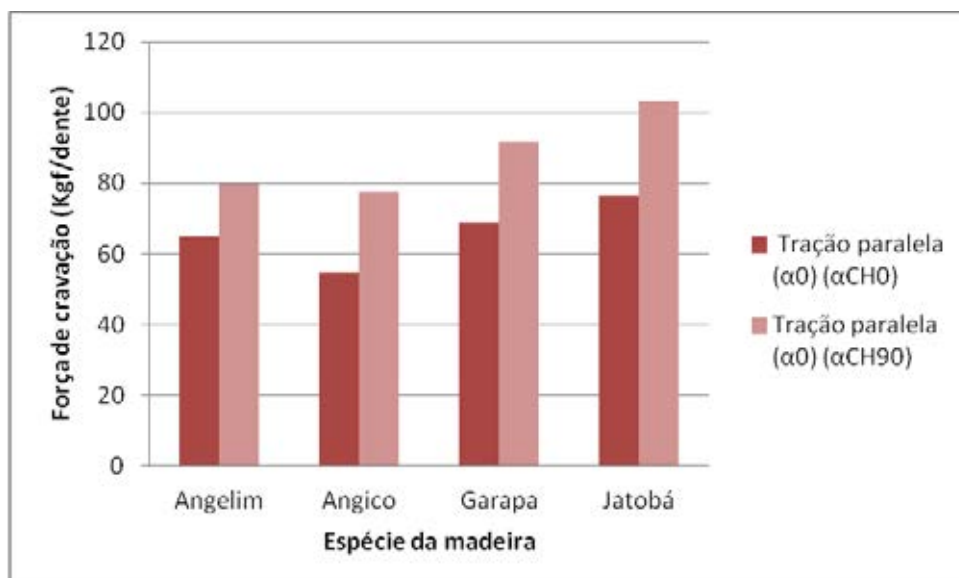
##### 5.1.1.1 Prensagem para o ensaio de tração paralela

Na Tabela 22 apresenta os resultados da média da forças de cravação de cada espécie, ocorrida para fazer os corpos-de-prova para o ensaio de tração paralela.

**Tabela 22** – Resultados das forças de cravação no ensaio de tração paralela

Espécie de madeira utilizada	Tração paralela ( $\alpha 0$ ) ( $\alpha CH0$ )	Tração paralela ( $\alpha 0$ ) ( $\alpha CH90$ )
	Força de cravação (Kgf/dente)	Força de cravação (Kgf/dente)
Angelim	64,74	79,63
Angico	54,54	77,48
Garapa	68,83	91,76
Jatobá	76,45	103,40

Na Figura 38 mostra o gráfico dos resultados das forças de cravação no ensaio de tração paralela.



**Figura 38** - Gráfico dos resultados das forças de cravação no ensaio de tração paralela.

Observou-se que o corpo-de-prova para o ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH90}$ ) a força de cravação foi maior, pelo fato da direção dos dentes da CDE em relação as fibras da madeira, e a força de cravação foi maior na madeira de Jatobá por ela ser de classe 60 sendo mais dura e mais densa.

### 5.1.1.2 Prensagem para o ensaio de tração normal

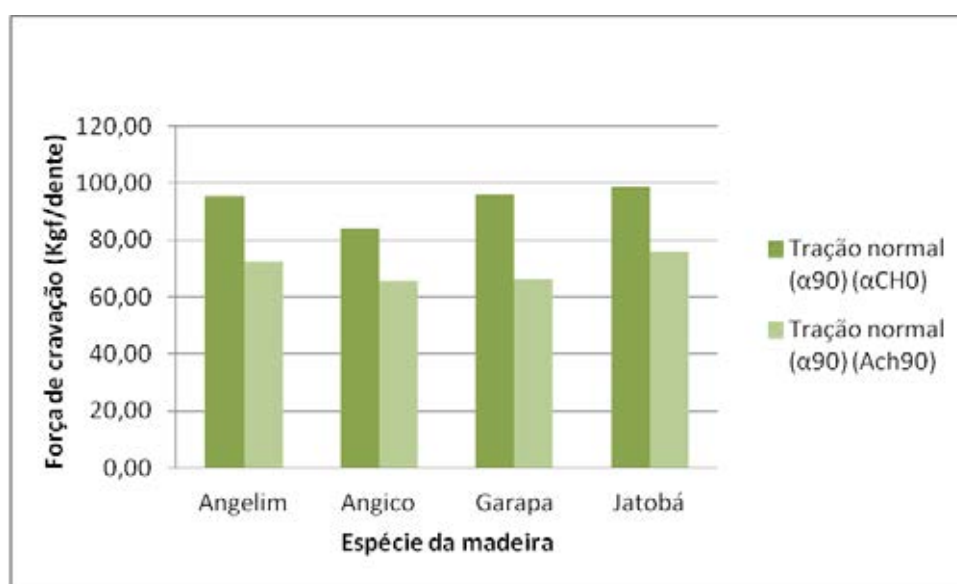
Na Tabela 23 apresenta os resultados da média da forças de cravação de cada espécie, ocorrida para fazer os corpos-de-prova para o ensaio de tração normal.



**Tabela 23** – Resultados das forças de cravação no ensaio de tração normal

Espécie de madeira utilizada	Tração normal ( $\alpha_{90}$ ) ( $\alpha_{CH0}$ )	Tração normal ( $\alpha_{90}$ ) ( $\alpha_{CH90}$ )
	Força de cravação (Kgf/dente)	Força de cravação (Kgf/dente)
Angelim	95,66	72,23
Angico	84,08	65,78
Garapa	95,92	66,18
Jatobá	98,44	76,08

Na Figura 39 apresenta o gráfico dos resultados das forças de cravação no ensaio de tração normal.

**Figura 39** - Gráfico dos resultados das forças de cravação no ensaio de tração normal.

Observou-se que o corpo-de-prova para o ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$   $\alpha_{CH0}$ ) a força de cravação foi maior, independente da direção dos dentes da CDE, pois a CDE fica nas duas posições em relação às fibras da madeira, uma em cada peça da madeira, podendo ser a causa a área da CDE, e a força de cravação foi maior na madeira de Jatobá por ela ser de classe 60 sendo mais dura e mais densa.

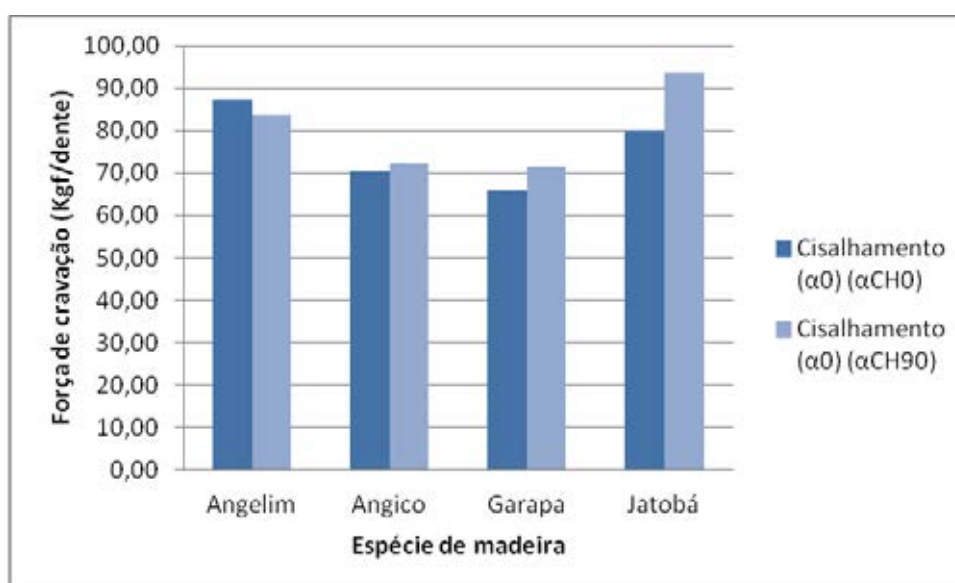
### 5.1.1.3 Prensagem para o ensaio de cisalhamento

Na Tabela 24 apresenta os resultados da média da forças de cravação de cada espécie, ocorrida para fazer os corpos-de-prova para o ensaio de cisalhamento.

**Tabela 24** – Resultados das forças de cravação no ensaio de cisalhamento

Espécie de madeira utilizada	Cisalhamento ( $\alpha 0$ ) ( $\alpha CH0$ )	Cisalhamento ( $\alpha 0$ ) ( $\alpha CH90$ )
	Força de cravação (Kgf/dente)	Força de cravação (Kgf/dente)
Angelim	87,32	83,83
Angico	70,25	72,24
Garapa	65,87	71,69
Jatobá	80,10	93,75

Na Figura 40 apresenta o gráfico dos resultados das forças de cravação no ensaio de cisalhamento.



**Figura 40** - Gráfico dos resultados das forças de cravação no ensaio de cisalhamento.

Observou-se que no ensaio de cisalhamento pode ter ocorrido um descuido, quando estava sendo feita a prensagem do corpo-de-prova da madeira Angelim na posição paralela as fibras da madeira, ocorrendo uma força de cravação maior pelo fato da CDE já ter sido fixada e não foi notada. Se descartá-la, a força de cravação vai ser maior para o ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH90}$ ), por causa da direção dos dentes da CDE em relação as fibras da madeira, e a força de cravação vai ser maior na madeira de Jatobá por ela ser de classe 60 sendo mais dura e mais densa.

### 5.1.2 Ensaio de tração paralela

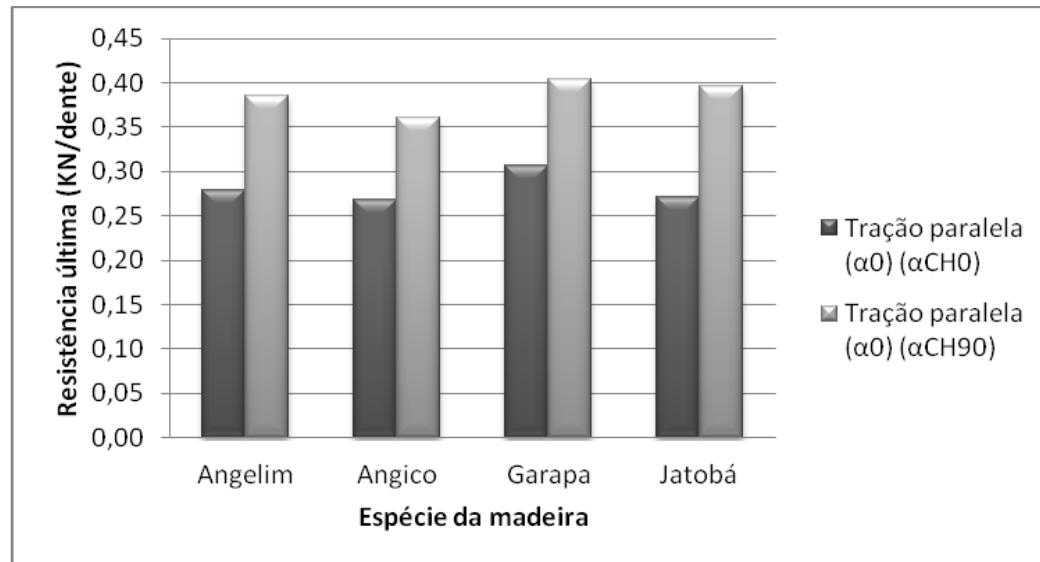
Os resultados obtidos são do ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH0}$ ), e do ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH90}$ ), onde poderão ser observados e analisadas as resistência x posição da chapa de cada espécies nas Tabelas 25 e 26 e Figura 41.

**Tabela 25** – Resultados do ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH0}$ )

CP	Espécie	Fu (KN)	A (cm <sup>2</sup> )	f u (KN/cm <sup>2</sup> )	f u (KN/dentes)	N <sup>o</sup> dentes	Modo de ruptura
1	Angelim	35,00	1,23	28,42	0,25	138	chapa
2	Angelim	42,00	1,23	34,10	0,30	138	chapa
1	Angico	35,00	1,23	28,42	0,26	137	Arrancamento
2	Angico	38,00	1,23	30,85	0,28	136	chapa
1	Garapa	41,00	1,23	33,29	0,30	138	chapa
2	Garapa	43,00	1,23	34,91	0,32	136	chapa
1	Jatobá	40,00	1,23	32,48	0,29	138	chapa
2	Jatobá	35,00	1,23	28,42	0,25	139	chapa
<b>Desvio padrão</b>		3,34	0,00	2,71	0,03	1,07	
<b>Média</b>		38,63	1,23	31,36	0,28	137,50	

**Tabela 26** – Resultados do ensaio de tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH90}$ )

CP	Espécie	Fu (KN)	A (cm <sup>2</sup> )	f u (KN/cm <sup>2</sup> )	f u (KN/dentes)	N <sup>o</sup> dentes	Modo de ruptura
1	Angelim	37,00	0,65	57,00	0,40	93	chapa
2	Angelim	35,00	0,65	53,92	0,37	94	Arrancamento
1	Angico	37,00	0,65	57,00	0,36	103	chapa
2	Angico	37,00	0,65	57,00	0,36	102	chapa
1	Garapa	37,00	0,65	57,00	0,41	91	chapa
2	Garapa	37,00	0,65	57,00	0,40	92	chapa
1	Jatobá	38,00	0,65	58,54	0,41	93	chapa
2	Jatobá	35,00	0,65	53,92	0,38	91	chapa
<b>Desvio padrão</b>		1,06	0,00	1,63	0,02	4,82	
<b>Média</b>		36,63	0,65	56,42	0,39	94,88	

**Figura 41** – Gráfico de resistência x posição da CDE, em ensaio de tração paralela.

Observou-se uma variação de 24,17 a 31,71% de diferença de valores de resistência entre as espécies. Percebe-se que a resistência é maior com a CDE perpendicular às fibras da madeira devido à menor área resistente de aço nesta direção, e a Garapa foi a madeira que atingiu maior e o Angico a menor resistência à

tração paralela com o ângulo da CDE em ambas as posições, comparando com as outras espécies de madeira.

### 5.1.3 Ensaio de tração normal

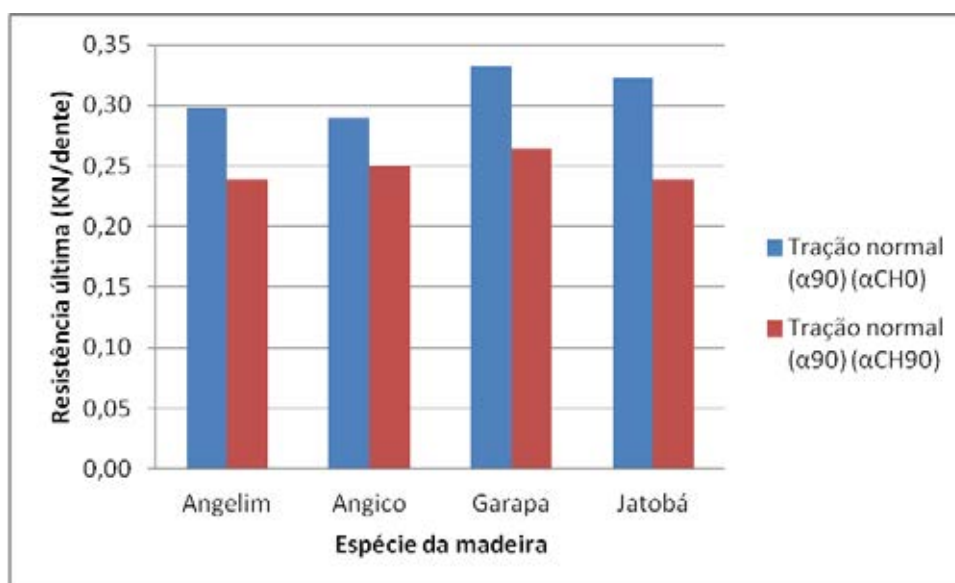
Os resultados obtidos apresentados a seguir são referentes ao ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$   $\alpha_{CH90}$ ), e tração normal ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH90}$ ), onde poderão ser observados e analisadas as resistência x posição da chapa de cada espécie na Tabela 27 e Figura 42, e a rigidez x posição da chapa de cada espécie na Tabela 28 e Figura 43.

**Tabela 27** – Resultados do ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ )( $\alpha_{CH0}$ )

CP	Espécie	Fu (KN)	A (cm <sup>2</sup> )	K (KN/mm)	f u (KN/cm <sup>2</sup> )	f u (KN/dentes)	N° dentes	Modo de ruptura
1	Angelim	30,89	0,65		47,59	0,34	92	chapa
2	Angelim	23,73	0,65		36,56	0,26	90	Arrancamento
3	Angelim	27,46	0,85	28,31	32,36	0,30	93	Arrancamento
1	Angico	31,38	0,65		48,35	0,32	99	Madeira
2	Angico	28,44	0,65		43,81	0,27	105	Falha no corpo-de-prova
3	Angico	30,89	0,85		36,41	0,28	112	Arrancamento
4	Angico	30,89	0,85	29,21	36,41	0,28	112	Arrancamento
1	Garapa	32,36	0,65		49,86	0,34	95	chapa
2	Garapa	31,38	0,65		48,35	0,33	95	chapa
3	Garapa	30,01	0,85	39,80	35,37	0,33	92	Madeira
1	Jatobá	28,44	0,65		43,81	0,30	95	chapa
2	Jatobá	30,60	0,65		47,14	0,33	94	Arrancamento
3	Jatobá	30,89	0,85	38,14	36,41	0,34	90	Madeira
<b>Desvio padrão</b>		2,36	0,10	5,94	6,47	0,03	7,61	
<b>Média</b>		29,91	0,73	33,86	41,55	0,31	96,58	

**Tabela 28** – Resultados do ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ )( $\alpha_{CH90}$ )

CP	Espécie	Fu (KN)	A (cm <sup>2</sup> )	K (KN/mm)	f u (KN/cm <sup>2</sup> )	f u (KN/dentes)	N <sup>o</sup> dentes	Modo de ruptura
1	Angelim	28,64	1,23		23,25	0,20	140	Arrancamento
2	Angelim	31,28	1,23		25,40	0,22	140	Arrancamento
3	Angelim	37,56	1,23	47,34	30,50	0,29	130	Arrancamento
1	Angico	36,09	1,23		29,30	0,26	140	chapa
2	Angico	34,32	1,23		27,87	0,25	140	chapa
3	Angico	34,23	1,23	36,13	27,79	0,24	140	chapa
1	Garapa	33,64	1,23		27,31	0,24	140	chapa
2	Garapa	39,32	1,23		31,93	0,28	140	Madeira
3	Garapa	36,77	1,23	39,23	29,86	0,27	135	chapa
1	Jatobá	32,56	1,23		26,44	0,23	140	chapa
2	Jatobá	11,18	1,23		9,08	0,08	140	Falha no corpo-de-prova
3	Jatobá	36,28	1,23	45,76	29,46	0,28	128	chapa
4	Jatobá	27,65	1,23		22,45	0,20	140	Arrancamento
<b>Desvio padrão</b>		3,53	0,00	5,32	2,87	0,03	4,35	
<b>Média</b>		34,03	1,23	42,12	27,63	0,25	137,75	

**Figura 42** – Gráfico de resistência x posição da CDE, em ensaio de tração normal

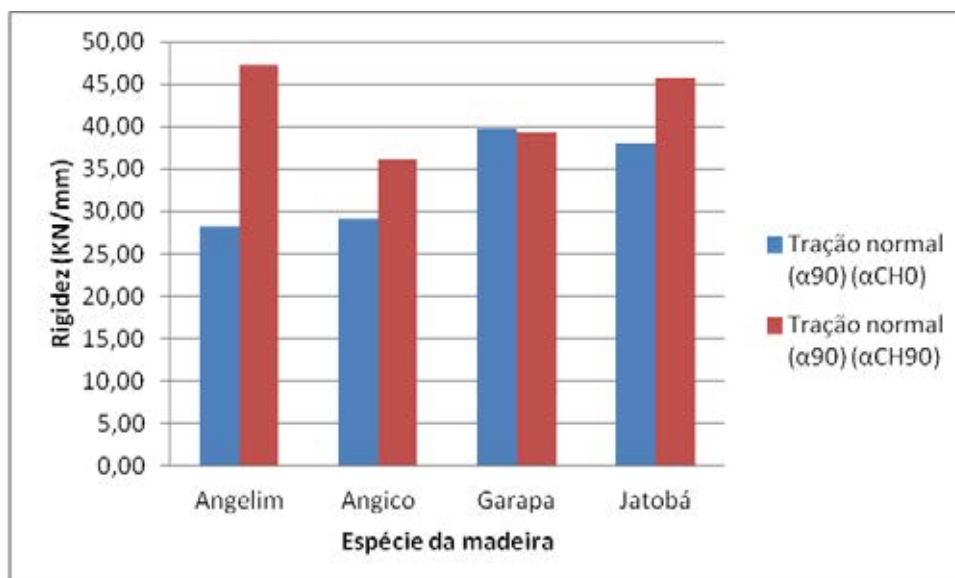


Figura 43 – Gráfico de rigidez x posição da CDE, em ensaio de tração normal

O corpo-de-prova 2 do Jatobá foi descartado e substituído porque o resultado dos dados estavam discrepantes em relação aos outros corpo-de-prova, O corpo-de-prova 2 do Angico no ensaio rompeu na fixação do dispositivo como visto na Figura 44, então ele foi substituído. Observou na Tabela 27 e na Figura 42 uma diferença dos valores da resistência de 13,95 a 26,04% e a CDE na posição perpendicular às fibras da madeira da peça transversal do corpo-de-prova com uma resistência maior do que a CDE na outra posição. Neste ensaio a Garapa novamente foi a madeira que teve maior resistência à tração normal com o ângulo da CDE nas duas posições, já na Tabela 28 e Figura 43 uma diferença dos valores da rigidez da CDE de 1,43 a 40,21% e a CDE na posição paralela às fibras da madeira da peça transversal do corpo-de-prova com uma rigidez maior do que a CDE na outra posição, só não ocorreu na Garapa, mais a diferença não variaram significativamente por ser de 1,43%. Neste ensaio o Angelim da posição CDE na posição paralela às fibras da madeira da peça transversal do corpo-de-prova com uma rigidez maior do que as outras espécies.



Figura 44 - Corpo –de- prova, porque rompeu no dispositivo.

#### 5.1.4 Ensaio de cisalhamento

Os resultados obtidos são do ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH0}$ ), e do ensaio de cisalhamento ( $\alpha_0$   $\alpha_{CH90}$ ), poderão ser observados e analisadas as resistência x posição, e rigidez x posição da chapa de cada espécies nas Figuras 45 e 46 e Tabelas 29 e 30.

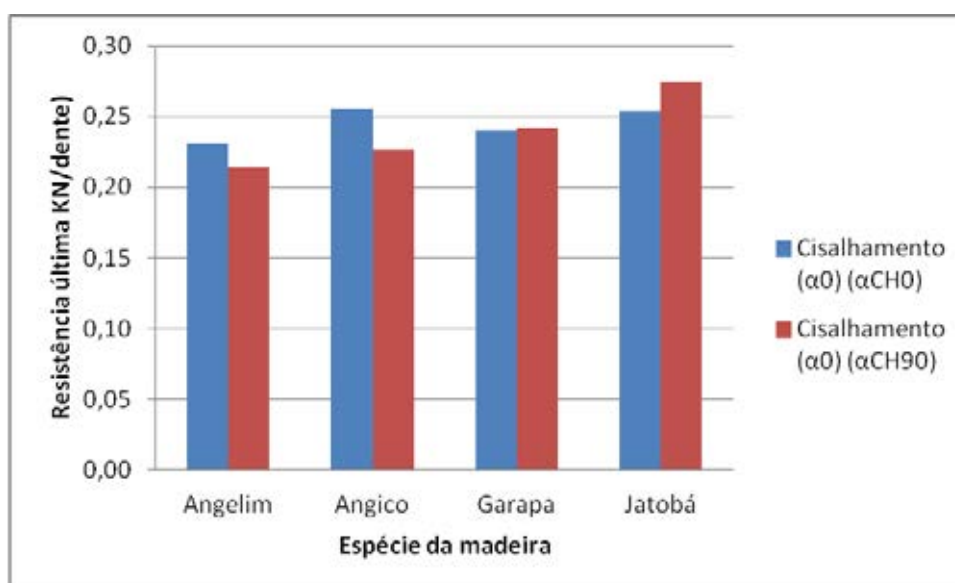
Tabela 29 – Resultados do ensaio de cisalhamento, ( $\alpha_0$ ), ( $\alpha_{CH0}$ )

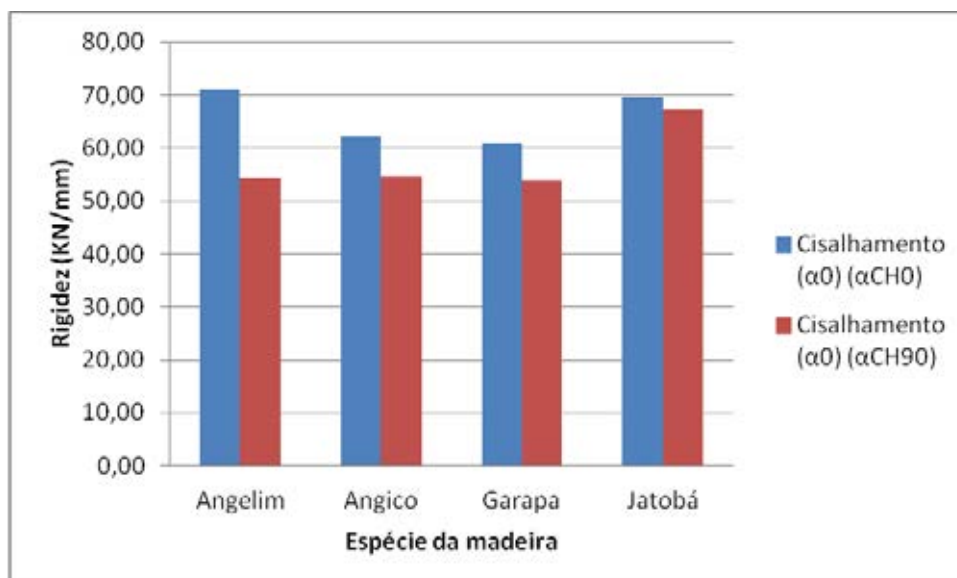
CP	Espécie	Fu (KN)	A (cm <sup>2</sup> )	K (KN/mm)	f u (KN/cm <sup>2</sup> )	f u (KN/dentes)	N° dentes	Modo de ruptura
1	Angelim	27,56	1,10	63,86	25,15	0,22	126	chapa
2	Angelim	30,60	1,10	78,45	27,93	0,24	126	chapa
1	Angico	30,99	1,10	66,97	28,29	0,25	126	chapa
2	Angico	33,34	1,10	57,21	30,43	0,26	126	chapa
1	Garapa	30,20	1,10		27,57	0,24	126	chapa
2	Garapa	30,40	1,10	61,02	27,75	0,24	126	chapa
1	Jatobá	31,58	1,10	70,41	28,82	0,25	126	chapa
2	Jatobá	32,36	1,10	68,65	29,54	0,26	126	chapa
<b>Desvio padrão</b>		1,71	0,00	6,91	1,56	0,01	0	
<b>Média</b>		30,88	1,10	66,65	28,18	0,25	126	



**Tabela 30** – Resultados do ensaio de cisalhamento, ( $\alpha_0$ ), ( $\alpha_{CH90}$ )

CP	Espécie	Fu (KN)	A (cm <sup>2</sup> )	K (KN/mm)	f u (KN/cm <sup>2</sup> )	f u (KN/dentes)	N <sup>o</sup> dentes	Modo de ruptura
1	Angelim	27,46	1,97	52,53	13,97	0,18	150	chapa
2	Angelim	36,77	1,97	56,19	18,71	0,25	150	chapa
1	Angico	32,66	1,97	61,96	16,61	0,22	150	chapa
2	Angico	35,30	1,97	47,38	17,96	0,24	150	chapa
1	Garapa	42,17	1,97	46,54	21,45	0,28	150	chapa
2	Garapa	30,40062	1,97	61,01916	15,47	0,20	150	chapa
1	Jatobá	41,67826	1,97	63,86	21,20	0,28	150	chapa
2	Jatobá	40,6976	1,97	70,41	20,70	0,27	150	chapa
<b>Desvio padrão</b>		5,46	0,00	8,35	2,78	0,04	0	
<b>Média</b>		35,89	1,97	57,49	18,26	0,24	150	

**Figura 45** – Gráfico de resistência x posição da CDE, em ensaio de tração normal



**Figura 46** – Gráfico de rigidez x posição da CDE, em ensaio de cisalhamento

Só tem um corpo-de-prova da madeira Garapa com o resultado de rigidez, porque o outro corpo-de-prova (1) foi utilizado para achar a força estimada ( $R_{est}$ ). A diferença dos valores da resistência foi muito pequena de 0,58 a 11,26%, tanto que a posição da CDE em relação às fibras é indiferente. Já no caso da rigidez a CDE na posição paralela as fibras da madeira possuem uma rigidez maior do que a CDE na outra posição mesmo assim sendo muito pouca, variando de 3,44 a 23,60%.

## 5.2 Análise Visual :

Dos ensaios realizados ocorreram os seguintes modos de ruptura:

- Ruptura da chapa;
- Ruptura por arrancamento;
- Ruptura da madeira.

Os modos de rupturas que ocorreram são mostrados na Figura 47.



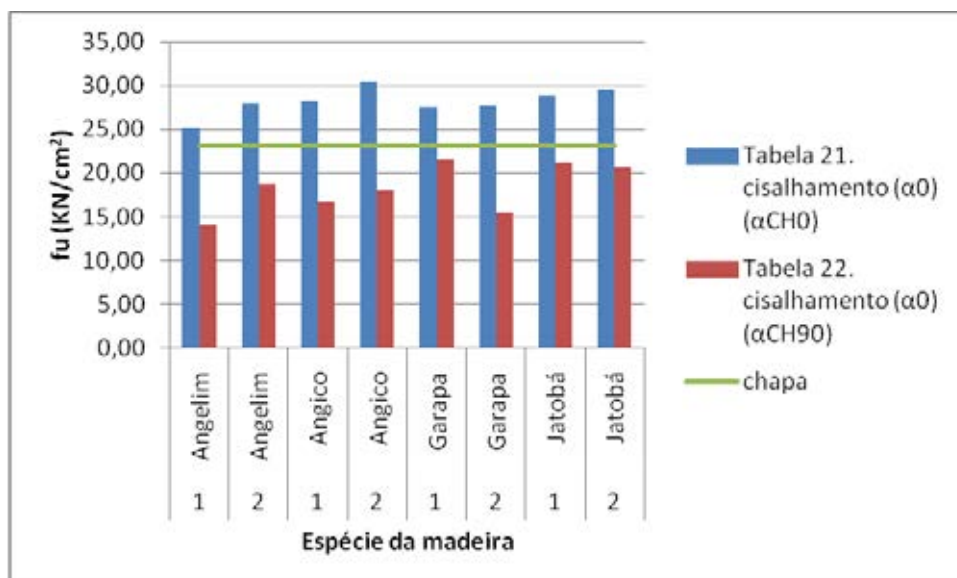
**Figura 47** - Ruptura por arrancamento, na madeira e na CDE.

### 5.2.1 Ruptura da chapa

Quando há ruptura na chapa, estima-se que o CDE fez sua função de ligação, cabe agora verificar se o CDE esta com as garantias especificadas pelo fabricante, como limite de escoamento da CDE igual a  $23,2 \text{ KN/cm}^2$ . Na Tabela 31 apresenta os corpos-de-prova que ocorreram ruptura na chapa e as suas respectivas resistências. Na Figura 48 apresenta o gráfico onde mostra os resultados dos ensaios comparados com o limite de escoamento fornecido pelo fabricante da CDE.

Tabela 31 – Corpos-de-prova que ocorreram ruptura na chapa

<b>Ensaio de tração paralela</b>					
<b>Tração paralela (<math>\alpha_0</math>) (<math>\alpha_{CH0}</math>)</b>			<b>Tração paralela (<math>\alpha_0</math>) (<math>\alpha_{CH90}</math>)</b>		
<b>CP</b>	<b>Espécie</b>	<b>f u (KN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>CP</b>	<b>Espécie</b>	<b>f u (KN/cm<sup>2</sup>)</b>
1	Angelim	28,42	1	Angelim	57,00
2	Angelim	34,10	1	Angico	57,00
2	Angico	30,85	2	Angico	57,00
1	Garapa	33,29	1	Garapa	57,00
2	Garapa	34,91	2	Garapa	57,00
1	Jatobá	32,48	1	Jatobá	58,54
2	Jatobá	28,42	2	Jatobá	53,92
<b>Ensaio de tração normal</b>					
<b>Tração normal (<math>\alpha_{90}</math>) (<math>\alpha_{CH0}</math>)</b>			<b>Tração normal (<math>\alpha_{90}</math>) (<math>\alpha_{CH90}</math>)</b>		
<b>CP</b>	<b>Espécie</b>	<b>f u (KN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>CP</b>	<b>Espécie</b>	<b>f u (KN/cm<sup>2</sup>)</b>
1	Angelim	47,59	1	Angico	29,30
1	Garapa	49,86	2	Angico	27,87
2	Garapa	48,35	3	Angico	27,79
1	Jatobá	43,81	1	Garapa	27,31
			3	Garapa	29,86
			1	Jatobá	26,44
			3	Jatobá	29,46
<b>Ensaio de Cisalhamento</b>					
<b>Cisalhamento (<math>\alpha_0</math>) (<math>\alpha_{CH0}</math>)</b>			<b>Cisalhamento (<math>\alpha_0</math>) (<math>\alpha_{CH90}</math>)</b>		
<b>CP</b>	<b>Espécie</b>	<b>f u (KN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>CP</b>	<b>Espécie</b>	<b>f u (KN/cm<sup>2</sup>)</b>
1	Angelim	25,15	1	Angelim	13,97
2	Angelim	27,93	2	Angelim	18,71
1	Angico	28,29	1	Angico	16,61
2	Angico	30,43	2	Angico	17,96
1	Garapa	27,57	1	Garapa	21,45
2	Garapa	27,75	2	Garapa	15,47
1	Jatobá	28,82	1	Jatobá	21,20
2	Jatobá	29,54	2	Jatobá	20,70



**Figura 48.** Gráfico dos dados obtidos nos ensaios, com os dados do fabricante.

Observou-se que a CDE só não atendeu as especificações do fabricante no ensaio de cisalhamento com a posição do CDE perpendicular às fibras da madeira, obtendo uma pequena variação de aproximadamente 21%.

## 5.2.2 Ruptura por arrancamento

Quando há a ruptura no arrancamento, tem-se que analisar se a madeira é apropriada para ser conectada com CDE, porque é onde verifica-se se o CDE fixou adequadamente com a madeira. Na Tabela 32 apresenta os corpos-de-prova que ocorreram ruptura por arrancamento e seus resultados, na Tabela 33 apresenta os dados de três madeiras de classe 20, 40 e 60 do autor Baraldi (1996) para ser comparado com os dados obtidos. Na Figura 49 mostra a comparação dos resultados.

Tabela 32 – Corpos-de-prova que ocorreram ruptura por arrancamento

<b>Ensaio de tração paralela</b>					
<b>Tração paralela (<math>\alpha_0</math>) (<math>\alpha_{CH0}</math>)</b>			<b>Tração paralela (<math>\alpha_0</math>) (<math>\alpha_{CH90}</math>)</b>		
CP	Espécie	f u (KN/dentes)	CP	Espécie	f u (KN/dentes)
1	Angico	0,26	2	Angelim	0,37

<b>Ensaio de tração normal</b>					
<b>Tração normal (<math>\alpha_{90}</math>) (<math>\alpha_{CH0}</math>)</b>			<b>Tração normal (<math>\alpha_{90}</math>) (<math>\alpha_{CH90}</math>)</b>		
CP	Espécie	K (KN/mm)	CP	Espécie	K (KN/mm)
2	Angelim		1	Angelim	
3	Angelim	28,31	2	Angelim	
3	Angico		3	Angelim	47,34
4	Angico	29,21	4	Jatobá	
2	Jatobá				

Tabela 33 – Dados de ruptura de arrancamento do autor Baraldi

Espécie	Classe	Tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH0}$ )	Tração paralela ( $\alpha_0$ ) ( $\alpha_{CH90}$ )	Tração normal ( $\alpha_{90}$ ) ( $\alpha_{CH0}$ )	Tração normal ( $\alpha_{90}$ ) ( $\alpha_{CH90}$ )	
Pinus	20	Chapa	7x8	7x8	7x14	7x8
		Nº dentes	160	160	80	80
		f u (KN/dentes)	0,007	0,08		
		K (KN/mm)			36,8	28,7
Garapa	40	Chapa	7x8	7x8	7x16	7x8
		Nº dentes	160	160	80	60
		f u (KN/dentes)	0,23	0,19		
		K (KN/mm)			57,3	30,1
Jatobá	60	Chapa	7x8	7x8	7x14	7x8
		Nº dentes	160	160	80	80
		f u (KN/dentes)	0,24	0,18		
		K (KN/mm)			116,2	73,2

[Fonte: BARALDI (1996)].

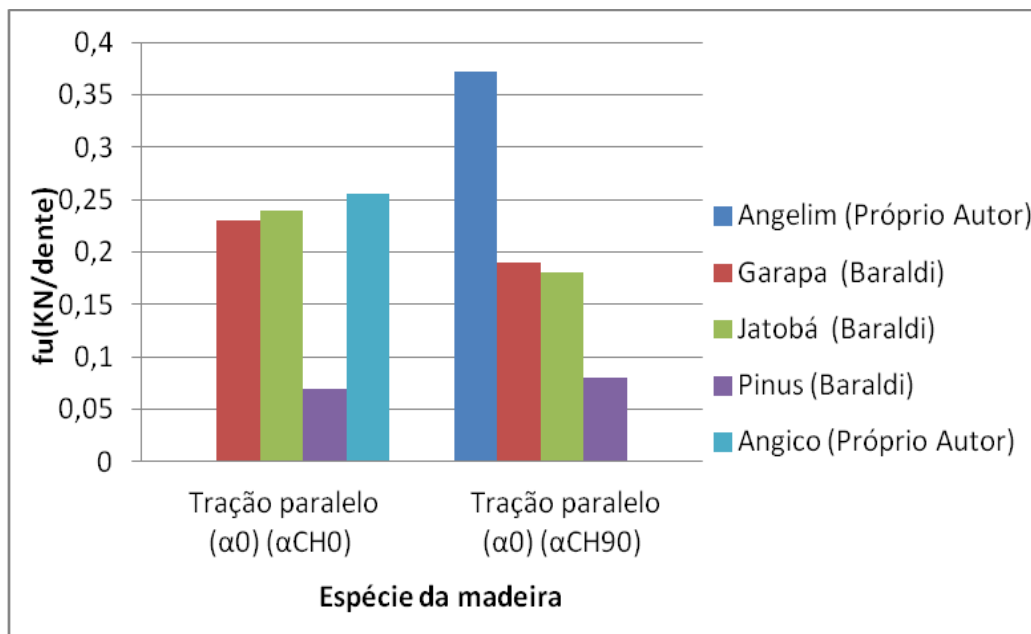


Figura 49 - Gráfico de comparação das resistências com os dados obtidos através dos dois autores.

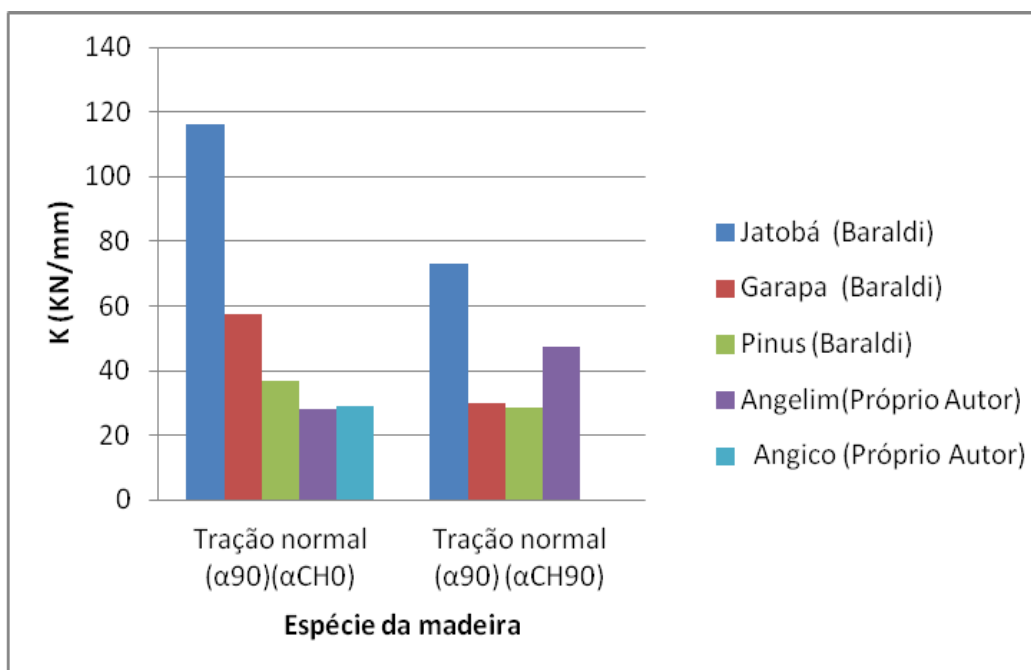


Figura 50 - Gráfico de comparação das resistências com os dados obtidos através dos dois autores.

Nos resultados obtidos nos ensaios, não teve ruptura de arrancamento com a Garapa nem com o Jatobá, mas mesmos assim da para fazer uma comparação com as espécies usadas por Baraldi (1996). Nota se que as resistências do Pinus é muito abaixo em relação às outras espécies por ser uma madeira de classe 20, sendo

mais mole, já no caso de rigidez, o Jatobá teve uma rigidez muito maior em relação às outras espécies, uma diferença dos valores de rigidez de 35,32 a 60,79% no ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ ) ( $\alpha_{CH90}$ ), e uma diferença dos valores de rigidez de 50,69 a 75,64% no ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ )( $\alpha_{CH0}$ ), provavelmente por ser de classe 60 e uma madeira mais dura.

### 5.2.3 Ruptura na madeira

Houve poucos corpos-de-prova com rupturas na madeira, como pode ser visto na Tabela 34.

**Tabela 34** – Corpos-de-prova que ocorreram ruptura na madeira

<b>Tração normal (<math>\alpha_{90}</math>) (<math>\alpha_{CH0}</math>)</b>		
CP	Espécie	f u (KN/cm <sup>2</sup> )
1	Angico	48,35
3	Garapa	35,37
3	Jatobá	36,41
<b>Tração normal (<math>\alpha_{90}</math>) (<math>\alpha_{CH90}</math>)</b>		
CP	Espécie	f u (KN/cm <sup>2</sup> )
2	Garapa	31,93

Quando ocorre a ruptura na madeira, a resistência do corpo de prova passa ser somente dependente da madeira, sendo assim eficaz a ligação da CDE. Mesmo assim os resultados obtidos das resistências são maiores do que o limite de escoamento da CDE igual a 23,2 KN/cm<sup>2</sup> tendo uma diferença dos valores da resistência de 27,34 a 52,01%.



## 6 CONCLUSÃO

Mesmo havendo poucas informações nas normas da NBR 7190/97: Projeto de Estruturas de Madeira, e da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), foi possível a realização dos ensaios: resistência à tração paralela às fibras, resistência à tração normal às fibras e resistência ao cisalhamento; todas elas em duas posições,  $\alpha_{CH}=0^\circ$  e  $\alpha_{CH}=90^\circ$  para quatro espécies de madeira, obtendo consideráveis resultados.

Na prensagem, a espécie de madeira Jatobá foi a que obteve a maior força de cravação em relação as outras espécies, devido ela ser de classe 60 sendo assim mais dura, pois a força de cravação é influenciada pela direção dos dentes da CDE em relação às fibras da madeira.

No ensaio de tração paralela a CDE perpendicular as fibras da madeira possui uma resistência maior do que a CDE paralela as fibras da madeira, devido à menor área resistente de aço nesta direção, com uma variação de 24,17% a 31,71% de diferença nos valores de resistência entre as espécies. No ensaio de tração normal a CDE na posição perpendicular as fibras da madeira possui uma resistência maior do que a CDE na posição paralela as fibras da madeira da peça transversal do corpo-de-prova com uma diferença dos valores da resistência de 13,95% a 26,04%. No mesmo ensaio de tração normal a CDE na posição paralela às fibras da madeira da peça transversal do corpo-de-prova obteve uma rigidez maior do que a CDE na posição perpendicular às fibras da madeira da peça transversal do corpo-de-prova, com uma diferença dos valores da rigidez da CDE de 1,43% a 40,21%.

No ensaio de cisalhamento foi equilibrado as posições da CDE, independente das posições da CDE, cada espécie de madeira adequou-se a uma posição. A diferença dos valores da resistência foi muito pequena de 0,58% a 11,26%, tanto que a posição da CDE em relação às fibras é indiferente. Já no caso da rigidez a CDE na posição paralela as fibras da madeira possui um valor maior do que a CDE na posição perpendicular as fibras da madeira, ainda considerada pequena, variando de 3,44% a 23,60%.

Dos ensaios realizados, ocorreram três tipos de ruptura, ruptura arrancamento, ruptura na chapa e ruptura na madeira, sendo a que obteve maior ocorrência foi a ruptura na CDE, neste ensaio a CDE só não atendeu as

especificações do fabricante no que se refere ao ensaio de cisalhamento com a posição do CDE perpendicular as fibras da madeira, mas a variação foi pequena, aproximadamente 21% em relação ao limite de escoamento da CDE especificado pelo fabricante.

Quando a ruptura foi por arrancamento os dados foram comparados com os dados obtidos pelo autor Baraldi (1996) e percebeu-se que a resistência do Pinus é muito baixa em relação às outras espécies por ser uma madeira mole de classe 20, já no caso de rigidez, o Jatobá por ser uma madeira pesada e mais dura de classe 60, teve uma rigidez com variação de 35,32% a 60,79%, sendo muito maior em relação as outras espécies, também foi alto o resultado no ensaio de tração normal ( $\alpha_{90}$ )( $\alpha_{CH0}$ ) com diferença dos valores de rigidez de 50,69% a 75,64%.

A ruptura quando ocorre na madeira, faz com que a função principal do CDE ocorra, isto é, o papel de ligação entre as peças de madeira é efetiva e a resistência obtida passa a ser a da madeira. Com esses dados obtidos, as espécies utilizadas nos ensaios poderão ser usadas em estruturas de madeira, porque tiveram poucas rupturas por arrancamento, tendo eficiência com a ligação de CDE.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190/97** – Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro: 1997. 107p.

BARALDI, L. T. **Método de ensaio de ligações de estruturas de madeira por chapas com dentes estampados**. 1996. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Carlos – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 1996.

BARROS, J.O.; HELLMEISTER, J.C. Industrialização de estruturas de madeira para coberturas. In: III ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3 , 1989, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EBRAMEM, 1989. v.4. p.131-145.

BARROS, J.O. **Algumas considerações sobre a pré-fabricação das estruturas de madeira para coberturas**. 1991. 143p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Carlos – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 1991.

CALIL, C. J.;MOLINA, J. C. **Coberturas e estruturas de madeira: exemplos de cálculo**. 1 ed. São Paulo: Pini Ltda., 2010. 207 p.

CARVALHO, J. S. **Contribuição para a defenição de critérios para o dimensionamento da ligação entre peças estruturais de madeira por chapas metálicas com dentes estampados**. 2002. 70p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Carlos – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 2002.

CHEUNG, A. B. **Tabuleiro ortótropo treliçado protendido transversalmente para aplicação em pontes de madeira**. 2003. 167p. Dissertação (Mestrado em

Engenharia de Estruturas). – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Carlos – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 2003.

Conectores GNA – 80. Gang-Nail, 2011. 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: 01 set.  
2011.

GESUALDO, R, A, F. **Estruturas de Madeira**. Uberlândia: UFU, 2003. 93p. (Notas de aula).

GONZAGA, A. L. **Madeira Uso e conservação**. Cadernos Tecnicos 6 ed. Brasília, DF: Iphan/Monumenta, 2006. 246p.

MANIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de Características de Madeira Brasileira**. 2 ed. São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológica. IPT, 1989.

MARTINS, O. **Estudo das ligações por conectores de chapas com dentes estampados em peças estruturais de madeira**. 2007. 117p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, UNESP, Ilha Solteira, 2007.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 3 ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2009. 269 p.

PARTEL, H. Sistema **informatizado para projeto de estruturas industrializadas de madeira para telhados**. 2000. 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 2000.

PINHEIRO, R.V. **Emprego da madeira do gênero pinus na construção de estruturas de cobertura**. 1996. 163p. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Carlos – Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 1996.

PFEIL, W.; PFEIL, M.,. **Estruturas de Madeira**.6 ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007. 223 p.

SÃO PAULO, Madeira: **Uso Sustentável na Construção Civil**. Intituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT . 2003. 59 p.