

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**“Estudo das ligações por conectores de chapas com dentes  
estampados em peças estruturais de madeira”**

**ODILON MARTINS**

**Orientador:** Prof. Dr. José Antônio Matthiesen

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia –UNESP– Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Conhecimento: Estruturas

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

M386e Martins, Odilon  
Estudo das ligações por conectores de chapas com dentes estampados em peças estruturais de madeira / Odilon Martins. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2007  
117 p. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2007

Orientador: José Antônio Matthiesen  
Bibliografia: p. 101-104

1. Treliças de madeira. 2. Ligações. 3. Chapa com dentes estampados. 4. Resistência. 5. Rigidez. 6. Testes.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
Campus de Ilha Solteira

## CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Estudo das Ligações por Conectores de Chapa com Dentes Estampados em Peças Estruturais de Madeira

**AUTOR: ODILON MARTINS**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO MATTHIESEN**

**DATA DA REALIZAÇÃO: 26 DE JULHO DE 2007.**

Aprovada com parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE em ENGENHARIA CIVIL pela Comissão Examinadora:

*Prof. Dr. JOSÉ ANTONIO MATTHIESEN* - Presidente

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira

*Prof. Dr. RENATO BERTOLINO JÚNIOR*

Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira

*Prof. Dr. CARLITO CALIL JÚNIOR*

Departamento de Estruturas / Escola de Engenharia de São Carlos - USP

Perguntaram ao Monge tibetano Dalai Lama:  
“O que mais te surpreende na Humanidade?”  
E ele respondeu:  
“As pessoas... porque perdem a saúde para  
juntar dinheiro, depois perdem dinheiro  
para tentar recuperar a saúde.  
E por pensarem ansiosamente no futuro,  
esquecem o presente de tal forma que acabam  
por não viver nem o presente nem o futuro.  
E vivem como se nunca fossem morrer...  
... e morrem como se nunca tivessem vivido”

## DEDICATÓRIA

Com muito carinho,

À minha mãe, Maria José e ao meu pai,  
Antonio Carlos<sup>†</sup>.

Aos meus irmãos, Osíris, Ísis<sup>†</sup>, Hórus,  
Nívea e Orion.

À minha cunhada, Luciana e aos meus  
sobrinhos, Bruno e Vanessa.

À minha amada, companheira e amiga de  
longas jornadas, Simone Cristina Tosti.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela sua permissão de que fosse concluída mais esta etapa.

Ao Prof Dr. José Antônio Matthiesen pela sua orientação, amizade, apoio e paciência despendida durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos, João Toledo da Silva e Sueli Terezinha Ribeiro Soares Toledo da Silva pela amizade e pelo apoio, em vários momentos importantes.

Aos colegas: Ana Flávia da Silva, Ana Paula Moreno Trigo, Emerson Alexandro Bolandim, Marcela Jodas, Víctor Marcuz de Moraes e Wílson José da Silva pela amizade e pela boa convivência.

Aos técnicos: Anderson, André, Cavazano, Gílson, Mário, Ronaldo e Sílvio pelo apoio técnico. E aos Laboratórios de Engenharia da UNESP, do NEPAE e da CESP.

À instituição de fomento CAPES pela bolsa de estudo concedida.

À empresa Gang Nail do Brasil pelo fornecimento de todas as chapas metálicas necessárias para este trabalho.

Às bibliotecas do LaMEM/EESC/USP e da FEIS/UNESP pelas bibliografias.

MARTINS, O. **Estudo das ligações por conectores de chapa com dentes estampados em peças estruturais de madeira**. 2007. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Faculdade de Engenharia –UNESP– Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

## RESUMO

No Brasil, é comum o uso de estruturas treliçadas de madeira na construção de coberturas nas edificações e, que, na maioria das vezes, são feitas de forma artesanal ou empírica. Para que haja uma otimização na produção dessas estruturas, através da industrialização, é conveniente o conhecimento e o domínio dos sistemas construtivos disponíveis. A utilização dos conectores metálicos, de chapa com dentes estampados (CDE) nas ligações dos elementos estruturais das treliças, é considerada, pela literatura, uma boa opção de sistema construtivo em escala industrial. Neste trabalho foram determinadas a resistência e a rigidez das ligações por conector CDE, em peças estruturais de madeira, para as classes de resistência: C20; C30 e C40, através dos modos básicos de ruptura das peças ligadas, que são: arrancamento dos dentes na peça de madeira; cisalhamento e tração da chapa. Também foi verificada a influência da variação na umidade das peças de madeira, ao serem prensadas pelo conector CDE, na resistência e rigidez da ligação, visando com isso, contribuir com a Revisão da Norma Brasileira (NBR-7190/97).

Palavras-chaves: Treliças de madeira. Ligações. Chapa com dentes estampados. Resistência. Rigidez. Ensaios.

MARTINS, O. **Study of the connections by connectors of metal connectors plates in structural pieces of wood.** 2007. 117f. Dissertation (Mastering degree in Engineering of the Structures) - University of Engineering - UNESP - Campus of Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

## **ABSTRACT**

The usage of wood trusses is common in the construction of roofs in Brazil, the most of the times are built in way craft or empiric. Obtaining an optimization in the production of these structures, through the industrialization, it is convenient the knowledge and the domain of the available constructive systems. The usage of the metallic connectors, as the metal connectors plates (MCP) in the connections of the structural elements of the truss is considered, for the literature, a nice option of constructive system in industrial scale. In this work, the resistance and the rigidity of the connections for connector MCP, in structural pieces of wood, for the resistance classes C20; C30 and C40, were certained through the basic manners of rupture of the linked pieces are: pull-out of the teeth in the wood piece; cut and traction of the connector. The influence of the variation in the humidity of the wood pieces as they are pressed by the connector MCP, in the resistance and the rigidity of the connections was verified as well, seeking with that, to contribute with Brazilian Code (NBR-7190/97) Revision.

Keywords: Wood truss. Connections. Metal connectors plates. Strenght. Rigidity. Essay.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Conector metálico de chapa com dentes estampados.....	20
Figura 2 – Aplicação industrial do conector CDE em estruturas de madeira .....	20
Figura 3 – Estrutura de cobertura no sistema convencional .....	24
Figura 4 – Estrutura de cobertura no sistema pré-fabricado .....	25
Figura 5 – Estrutura de cobertura no sistema intermediário.....	26
Figura 6 – Elementos básicos constituintes em uma tesoura .....	27
Figura 7 – Tesoura tipo Howe (diagonais normais).....	28
Figura 8 – Tesoura tipo Pratt (diagonais invertidas).....	28
Figura 9 – Tesoura tipo Belga (diagonais invertidas) .....	28
Figura 10 – Tesoura tipo Fink (diagonais invertidas) .....	29
Figura 11 – Vigas treliçadas com diferentes posições das diagonais .....	29
Figura 12 – Meia tesoura em balanço .....	29
Figura 13 – Estruturas de cobertura produzidas industrialmente com o uso de CDE .....	31
Figura 14 – Madeira pinus com vista longitudinal e transversal .....	38
Figura 15 – Madeira eucalipto com vista longitudinal e transversal .....	38
Figura 16 – Madeira cupiúba com vista longitudinal e transversal .....	39
Figura 17 – Direções do conector CDE em relação a direção da força aplicada .....	41
Figura 18 – Dimensões das peças (mm): ensaio de arrancamento paralelo às fibras.....	44
Figura 19 – Dimensões das peças (mm): ensaio de arrancamento normal às fibras.....	44
Figura 20 – Dimensões das peças (mm): ensaio de cisalhamento da chapa ....	45
Figura 21 – Dimensões das peças (mm): ensaio de tração da chapa .....	45
Figura 22 – Prensagem da CDE no modelo de arrancamento normal às fibras .....	46
Figura 23 – Direções do conector CDE ou da fibra da madeira, em relação à direção da aplicação da força, através dos ângulos $\alpha$ e $\beta$ , respectivamente .....	47
Figura 24 – Dispositivo para o ensaio de arrancamento normal às fibras.....	48

Figura 25 – Diagrama de carregamento para ensaio de ligação por CDE.....	49
Figura 26 – Gráfico: Força x Deformação para a determinação da resistência (R) .....	50
Figura 27 – Ensaio de arrancamento paralelo às fibras.....	53
Figura 28 – Ruptura característica para o ensaio de arrancamento paralelo às fibras.....	53
Figura 29 – Ensaio de arrancamento normal às fibras.....	55
Figura 30 – Ruptura característica para o ensaio de arrancamento normal às fibras.....	55
Figura 31 – Ensaio de cisalhamento da chapa .....	57
Figura 32 – Ruptura característica para o ensaio de cisalhamento da chapa....	57
Figura 33 – Ensaio de tração da chapa.....	59
Figura 34 – Ruptura característica para o ensaio de tração da chapa.....	59
Figura 35 – Modelo de Planilha de Ensaio das ligações .....	64
Figura 36 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Pinus: $A_0C_\alpha$ .....	80
Figura 37 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Eucalipto: $A_0C_\alpha$ .....	80
Figura 38 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Cupiúba: $A_0C_\alpha$ .....	81
Figura 39 – resistência x espécies de madeiras, saturadas: Arrancamento paralelo às fibras .....	81
Figura 40 – rigidez x espécies de madeiras, saturadas: Arrancamento paralelo às fibras .....	82
Figura 41 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Pinus: $A_{90}C_\alpha$ .....	83
Figura 42 – Gráficos:resistência ou rigidez x posição das chapas Eucalipto: $A_{90}C_\alpha$ .....	83
Figura 43 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Cupiúba: $A_{90}C_\alpha$ .....	84
Figura 44 – resistência x espécies de madeiras, saturadas: Arrancamento normal às fibras.....	84
Figura 45 – rigidez x espécies de madeiras, saturadas: Arrancamento normal às fibras.....	85

Figura 46 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Pinus: $V_0C_\alpha$ .....	86
Figura 47 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Eucalipto: $V_0C_\alpha$ .....	86
Figura 48 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Cupiúba: $V_0C_\alpha$ .....	87
Figura 49 – resistência x espécies de madeiras, saturadas: Cisalhamento da chapa.....	87
Figura 50 – rigidez x espécies de madeiras, saturadas: Cisalhamento da chapa .....	88
Figura 51 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Pinus: $T_0C_\alpha$ .....	89
Figura 52 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Eucalipto: $T_0C_\alpha$ .....	90
Figura 53 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Cupiúba: $T_0C_\alpha$ .....	90
Figura 54 – resistência x espécies de madeiras, saturadas: Tração da chapa..	91
Figura 55 – rigidez x espécies de madeiras, saturadas: Tração da chapa.....	91
Figura 56 – Ensaio de arrancamento com Pinus: $A_0C_0$ .....	106
Figura 57 – Ensaio de arrancamento com Pinus: $A_0C_{45}$ .....	106
Figura 58 – Ensaio de arrancamento com Pinus: $A_0C_{90}$ .....	106
Figura 59 – Ensaio de arrancamento com Pinus: $A_{90}C_0$ .....	107
Figura 60 – Ensaio de arrancamento com Pinus: $A_{90}C_{45}$ .....	107
Figura 61 – Ensaio de arrancamento com Pinus: $A_{90}C_{90}$ .....	107
Figura 62 – Ensaio de cisalhamento com Pinus: $V_0C_0$ .....	108
Figura 63 – Ensaio de cisalhamento com Pinus: $V_0C_{45}$ .....	108
Figura 64 – Ensaio de cisalhamento com Pinus: $V_0C_{90}$ .....	108
Figura 65 – Ensaio de tração com Pinus: $T_0C_0$ .....	109
Figura 66 – Ensaio de tração com Pinus: $T_0C_{45}$ .....	109
Figura 67 – Ensaio de tração com Pinus: $T_0C_{90}$ .....	109
Figura 68 – Ensaio de arrancamento com Eucalipto: $A_0C_0$ .....	110
Figura 69 – Ensaio de arrancamento com Eucalipto: $A_0C_{45}$ .....	110
Figura 70 – Ensaio de arrancamento com Eucalipto: $A_0C_{90}$ .....	110
Figura 71 – Ensaio de arrancamento com Eucalipto: $A_{90}C_0$ .....	111

Figura 72 – Ensaio de arrancamento com Eucalipto: $A_{90}C_{45}$ .....	111
Figura 73 – Ensaio de arrancamento com Eucalipto: $A_{90}C_{90}$ .....	111
Figura 74 – Ensaio de cisalhamento com Eucalipto: $V_0C_0$ .....	112
Figura 75 – Ensaio de cisalhamento com Eucalipto: $V_0C_{45}$ .....	112
Figura 76 – Ensaio de cisalhamento com Eucalipto: $V_0C_{90}$ .....	112
Figura 77 – Ensaio de tração com Eucalipto: $T_0C_0$ .....	113
Figura 78 – Ensaio de tração com Eucalipto: $T_0C_{45}$ .....	113
Figura 79 – Ensaio de tração com Eucalipto: $T_0C_{90}$ .....	113
Figura 80 – Ensaio de arrancamento com Cupiúba: $A_0C_0$ .....	114
Figura 81 – Ensaio de arrancamento com Cupiúba: $A_0C_{45}$ .....	114
Figura 82 – Ensaio de arrancamento com Cupiúba: $A_0C_{90}$ .....	114
Figura 83 – Ensaio de arrancamento com Cupiúba: $A_{90}C_0$ .....	115
Figura 84 – Ensaio de arrancamento com Cupiúba: $A_{90}C_{45}$ .....	115
Figura 85 – Ensaio de arrancamento com Cupiúba: $A_{90}C_{90}$ .....	115
Figura 86 – Ensaio de cisalhamento com Cupiúba: $V_0C_0$ .....	116
Figura 87 – Ensaio de cisalhamento com Cupiúba: $V_0C_{45}$ .....	116
Figura 88 – Ensaio de cisalhamento com Cupiúba: $V_0C_{90}$ .....	116
Figura 89 – Ensaio de tração com Cupiúba: $T_0C_0$ .....	117
Figura 90 – Ensaio de tração com Cupiúba: $T_0C_{45}$ .....	117
Figura 91 – Ensaio de tração com Cupiúba: $T_0C_{90}$ .....	117

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Relação da força de prensagem para cada dente da CDE e sua velocidade .....	47
Tabela 2 – Modelos de ligações por CDE utilizados nos ensaios .....	48
Tabela 3 – Dimensões (cm) e número de dentes em uma das chapas do par de conector: ensaio de arrancamento paralelo às fibras .....	54
Tabela 4 – Dimensões (cm) e número de dentes, em uma das chapas do par de conector: ensaio de arrancamento normal às fibras.....	56
Tabela 5 – Dimensões e número de dentes em uma das chapas do par de conector: ensaio de cisalhamento da chapa.....	58
Tabela 6 – Comprimento de ruptura (cm) em uma das chapas do par de conector: ensaio de cisalhamento da chapa.....	58
Tabela 7 – Dimensão e número de dentes em uma das chapas do par de conector: ensaio de tração da chapa.....	60
Tabela 8 – Comprimento de ruptura (cm) em uma das chapas do par de conector: ensaio de tração da chapa.....	60
Tabela 9 – Resultados: Caracterização física e mecânica da madeira pinus .....	61
Tabela 10 – Resultados: Caracterização física e mecânica da madeira eucalipto .....	61
Tabela 11 – Resultados: Caracterização física e mecânica da madeira cupiúba .....	62
Tabela 12 – Resultados: Agrupamento das classes de resistência .....	63
Tabela 13 – Resultados: Modelos de ligação por CDE com Pinus Bahamensis	65
Tabela 14 – Resultados: Modelos de ligação por CDE com Eucalipto Grandis .	65
Tabela 15 – Resultados: Modelos de ligação por CDE com Cupiúba.....	66
Tabela 16 – Resultados com Pinus Bahamensis: para um par de conectores estampados em uma das peças da ligação por CDE.....	67
Tabela 17 – Resultados com Eucalipto Grandis: para um par de conectores estampados em uma das peças da ligação por CDE.....	68
Tabela 18 – Resultados com Cupiúba: para um par de conectores estampados em uma das peças da ligação por CDE .....	69

Tabela 19 – Arrancamento paralelo às fibras: Análise estatística da Resistência .....	71
Tabela 20 – Arrancamento paralelo às fibras: Análise estatística da Rigidez ....	72
Tabela 21 – Arrancamento normal às fibras: Análise estatística da Resistência	73
Tabela 22 – Arrancamento normal às fibras: Análise estatística da Rigidez.....	74
Tabela 23 – Cisalhamento da chapa: Análise estatística da Resistência .....	75
Tabela 24 – Cisalhamento da chapa: Análise estatística da Rigidez .....	76
Tabela 25 – Tração da chapa: Análise estatística da Resistência .....	77
Tabela 26 – Tração da chapa: Análise estatística da Rigidez.....	78
Tabela 27 – Fórmula de Hankinson para o ensaio de Arrancamento paralelo às fibras.....	82
Tabela 28 – Fórmula de Hankinson para o ensaio de Arrancamento normal às fibras.....	85
Tabela 29 – Fórmula de Hankinson para o ensaio de cisalhamento da chapa..	88
Tabela 30 – Fórmula de Hankinson para o ensaio de tração da chapa .....	92
Tabela 31 – Resumo dos valores médios da Ruptura, Resistência e Rigidez: Pinus Bahamensis.....	99
Tabela 32 – Resumo dos valores médios da Ruptura, Resistência e Rigidez: Eucalipto Grandis .....	99
Tabela 33 – Resumo dos valores médios da Ruptura, Resistência e Rigidez: Cupiúba .....	99

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	– Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANSI	– American National Standards Institute
ASTM	– American Society for Testing and Materials
$A_0C_0$	– Arrancamento Paralelo às Fibras com a Chapa à $0^\circ$
$A_0C_{45}$	– Arrancamento Paralelo às Fibras com a Chapa à $45^\circ$
$A_0C_{90}$	– Arrancamento Paralelo às Fibras com a Chapa à $90^\circ$
$A_{90}C_0$	– Arrancamento Normal às Fibras com a Chapa à $0^\circ$
$A_{90}C_{45}$	– Arrancamento Normal às Fibras com a Chapa à $45^\circ$
$A_{90}C_{90}$	– Arrancamento Normal às Fibras com a Chapa à $90^\circ$
BS	– British Standards
CAPES	– Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CESP	– Companhia Energética de São Paulo
CDE	– Chapa com dentes estampados
EBRAMEM	– Encontro Brasileiro de Madeiras e Estruturas de Madeira
EESC	– Escola de Engenharia de São Carlos
EU	– Estado Limite Último
Eurocode	– European Prestandard
FEIS	– Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira
LaMEM	– Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira
MCP	– Metal Connectors Plates
NBR	– Norma Brasileira Registrada
NEPAE	– Núcleo de Estudos e Pesquisas da Alvenaria Estrutural
SP	– São Paulo
TPI	– Truss Plate Institute
$T_0C_0$	– Tração da Chapa com a Chapa à $0^\circ$
$T_0C_{45}$	– Tração da Chapa com a Chapa à $45^\circ$
$T_0C_{90}$	– Tração da Chapa com a Chapa à $90^\circ$
UNESP	– Universidade Estadual Paulista
USP	– Universidade de São Paulo
$V_0C_0$	– Cisalhamento da Chapa com a Chapa à $0^\circ$
$V_0C_{45}$	– Cisalhamento da Chapa com a Chapa à $45^\circ$
$V_0C_{90}$	– Cisalhamento da Chapa com a Chapa à $90^\circ$

## LISTA DE SÍMBOLOS

### Letras romanas maiúsculas:

- C – classe de resistência; chapa
- CP – corpo-de-prova
- CV – coeficiente de variação
- E – módulo de elasticidade
- F – força
- I – momento de inércia
- L – comprimento; vão
- M – modelo de ensaio
- R – resistência da ligação; força
- U – umidade da madeira
- U% – umidade da madeira
- V – velocidade
- X – grandeza física

### Letras romanas minúsculas:

- f – resistência
- h – altura
- k – rigidez da ligação
- n – número de corpo-de-prova
- u – deslocamento

### Letras gregas:

- $\alpha$ ;  $\beta$  – ângulos
- $\epsilon$  – deformação
- $\rho$  – massa específica
- $\sigma$  – tensão; desvio padrão

## Índices:

- a – arrancamento
- ap – aparente
- bas – básico
- c – compressão
- co – compressão paralela às fibras
- cok – compressão paralela às fibras característica
- com – compressão paralelo às fibras médio
- k – valor característico
- o – paralelo às fibras
- rup – ruptura
- t – tração
- v – cisalhamento
- vo – cisalhamento paralelo às fibras
- vok – cisalhamento paralelo às fibras característico

Obs.: Os símbolos que não constarem nesta lista estão definidos, quando da sua utilização, ao longo do texto.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>19</b>
1.1	Generalidades	19
1.2	Definição do problema	21
1.3	Objetivo	21
1.4	Justificativa	21
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>22</b>
2.1	Aspectos gerais	22
2.2	Sistema estrutural	24
2.2.1	Sistema construtivo convencional	24
2.2.2	Sistema construtivo pré-fabricado	25
2.2.3	Sistema construtivo intermediário	26
2.3	Treliças de madeira	27
2.3.1	Treliça de contorno triangular	28
2.3.2	Treliça de contorno retangular	29
2.3.3	Treliça em balanço	29
2.4	Ligações de peças estruturais de madeira	30
2.5	Conector metálico CDE	31
2.5.1	Histórico mundial sobre a CDE	31
2.5.2	Histórico nacional sobre a CDE	33
2.6	Resistência e rigidez das ligações	36
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>37</b>
3.1	Materiais	37
3.1.1	Madeira	37
3.1.1.1	Pinus Bahamensis	37
3.1.1.2	Eucalipto Grandis	38
3.1.1.3	Cupiúba	39
3.1.2	Conector metálico	40
3.1.3	Equipamentos de ensaio	41
3.2	Métodos	42
3.2.1	Caracterização das espécies de madeira	42
3.2.2	Procedimentos para a confecção dos corpos-de-prova	43
3.2.3	Procedimentos para a execução do ensaio da ligação	49
3.2.4	Resistência das ligações	50
3.2.5	Rigidez das ligações	51

<b>4</b>	<b>ENSAIOS EXPERIMENTAIS.....</b>	<b>52</b>
4.1	Abordagem quantitativa dos ensaios das ligações .....	52
4.2	Ensaio de arrancamento paralelo às fibras.....	53
4.3	Ensaio de arrancamento normal às fibras.....	55
4.4	Ensaio de cisalhamento da chapa .....	57
4.5	Ensaio de tração da chapa .....	59
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>61</b>
5.1	Resultados dos ensaios de caracterização das madeiras .....	61
5.2	Resultados dos ensaios das ligações por CDE .....	64
<b>6</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS .....</b>	<b>70</b>
6.1	Critérios adotados para a Análise dos Resultados .....	70
6.2	Análise estatística .....	71
6.2.1	Análise estatística: Arrancamento paralelo às fibras .....	71
6.2.2	Análise estatística: Arrancamento normal às fibras .....	73
6.2.3	Análise estatística: Cisalhamento da chapa .....	75
6.2.4	Análise estatística: Tração da chapa .....	77
6.3	Análise comparativa.....	79
6.3.1	Análise do ensaio de Arrancamento paralelo às fibras .....	80
6.3.2	Análise do ensaio de Arrancamento normal às fibras.....	83
6.3.3	Análise do ensaio de cisalhamento da chapa.....	86
6.3.4	Análise do ensaio de tração da chapa .....	89
<b>7</b>	<b>DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>93</b>
7.1	Considerações referentes à análise dos resultados .....	93
7.1.1	Aspectos pertinentes às espécies de madeira.....	93
7.1.2	Influência da umidade na ligação por CDE.....	94
7.2	Considerações referente ao dimensionamento das CDE .....	95
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>97</b>
8.1	Conclusão dos ensaios das ligações por CDE .....	97
8.2	Sugestões para trabalhos futuros .....	100
<b>9</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>101</b>
	<b>APÊNDICE.....</b>	<b>105</b>

# 1 INTRODUÇÃO

---

## 1.1 Generalidades

O desenvolvimento da indústria de estruturas de madeira ocorreu na Europa, durante o período de pós-guerra, devido à necessidade de reconstrução rápida e econômica das cidades destruídas pela guerra. Até meados do século XX, as estruturas treliçadas de madeira foram intensamente utilizadas, especialmente em pontes rodoviárias e ferroviárias. O mesmo desenvolvimento ocorreu nos Estados Unidos, onde a aplicação se deu nas áreas urbanas e rurais. Já no Brasil a industrialização das estruturas de madeira teve seu progresso mais acentuado na década de 70, devido aos grandes planos habitacionais e às grandes obras, as quais demandavam a construção rápida de canteiros de obra, de postos de saúde, de alojamentos e de casas populares (UJVARI; SCHON, s.d., p.11).

Porém, Barros (1989, p.132) considera que, no Brasil, as estruturas de madeira não atingiram um alto nível de industrialização, quando comparadas com o concreto e o aço, devido principalmente aos seguintes aspectos: à falta de conscientização dos proprietários quanto à elaboração técnica dos projetos, que, na maioria das vezes, fica a cargo de carpinteiros; à pouca quantidade de profissionais da área de engenharia civil e arquitetura que conhecem as propriedades e sabem trabalhar com o material madeira e também à inexistência de políticas públicas para a utilização adequada e racional da madeira.

A industrialização das estruturas de madeira, tais como as treliças de madeira, é importante para a construção civil, haja vista a madeira ser ecologicamente viável, pois, além de necessitar de baixa demanda de energia no seu processo produtivo, a maioria das construções no Brasil utilizam essas estruturas para a confecção de cobertura nas edificações.

A ligação das peças estruturais que constituem as treliças de madeira é feita com a utilização de pinos metálicos (pregos e parafusos), cavilhas (madeira torneada) e por conectores metálicos (chapa-prego, anéis e chapas com dentes estampados).

A chapa com dentes estampada, doravante denominada **CDE**, viabilizou a montagem das tesouras de madeira em escala industrial devido: à rapidez e à praticidade de execução das ligações com as peças ligadas no mesmo plano, através de prensa pneumática; à boa resistência e rigidez que o conjunto madeira-chapa proporciona; ao melhor aproveitamento da área útil da seção transversal, evitando-se as rachaduras; à qualidade técnica dos projetos e ao bom desempenho para vãos de até 20m (BARALDI, 1996, p.3). A Figura 1 apresenta uma CDE.



**Figura 1** – Conector metálico de chapa com dentes estampados

As CDE são muito empregadas em quaisquer tipos de estruturas treliçadas para cobertura e consagradas por muitos países, em particular nos países da Europa e da América do Norte, e na Austrália. No Brasil, sua utilização não atingiu a mesma intensidade de utilização que os pregos e os parafusos (PINHEIRO, 1996, p.62). A Figura 2 mostra o uso da CDE nas treliças, produzidas industrialmente.



**Figura 2** – Aplicação industrial do conector CDE em estruturas de madeira

Fonte: (STELLA, 2002)

## 1.2 Definição do problema

A falta de mais estudos e dados técnicos sobre as ligações por CDE e um certo atraso na publicação da Norma Brasileira (NBR-7190/97), que só nos anos 90 iniciou-se, procurando suprir parte da deficiência apresentada em relação à utilização de conector do tipo CDE, impossibilitaram o avanço industrial das estruturas treliçadas de madeira para cobertura com esse tipo de ligação.

## 1.3 Objetivo

O objetivo deste trabalho é encontrar a resistência (**R**) e a rigidez (**k**) das ligações, por conector do tipo CDE, em peças estruturais de madeira correspondentes às classes de resistência: C-20; C-30 e C-40, através dos modos básicos de ruptura das peças ligadas, que são: arrancamento dos dentes na peça de madeira; cisalhamento e tração da chapa. Esse trabalho também tem como objetivo contribuir com parte dos subsídios necessários para uma futura revisão da Norma Brasileira (NBR 7190/97), referente à esse tipo de conector.

## 1.4 Justificativa

A execução de vários tipos de estrutura de madeira ligada pelo sistema CDE torna-se viável, pois possibilita o emprego de várias formas geométricas e oferece vantagens para o construtor, tais como garantia de segurança; racionalização; rapidez de execução e economia no preço.

Os valores da resistência e da rigidez das ligações entre peças de madeira utilizando os conectores CDE não constam da Norma Brasileira (NBR-7190/97); conseqüentemente um estudo nesse sentido trará uma contribuição para o desenvolvimento de futuros projetos de estruturas treliçadas de madeira para cobertura de edificações em escala industrial.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### 2.1 Aspectos gerais

A utilização racional da madeira é muito importante para a nação, principalmente as madeiras de reflorestamento, tendo em vista a disponibilidade de recursos territoriais no país, que favorece a sua produção e, principalmente, considerando-se o cenário ecológico, pois a madeira é um material renovável e de baixo consumo energético para sua produção, desdobro e processamento (CALIL JÚNIOR et al, 2000, p.5).

A maioria dos materiais e componentes construtivos, disponíveis no mercado da construção civil, passa por um controle de qualidade suficiente para garantir segurança, durabilidade e conforto nos sistemas construtivos adotados, porém, o mesmo não ocorre com a madeira, pois, por ser um produto que já vem praticamente pronto na natureza, normalmente é oferecida aos usuários sem muita transformação ou sem controle de qualidade, a não ser os relativos ao desdobro. Como consequência, é constatada nas obras de edificações, a utilização da madeira sem um maior aproveitamento de seu potencial construtivo (BARROS, 1992, p.79).

Além disso, as estruturas convencionais de madeira raramente dispõem de atenção especial no que se refere ao projeto estrutural e executivo. Já as estruturas pré-fabricadas, a fase de projeto se traduz numa das mais importantes de todo o sistema construtivo, pois tais estruturas são geradas e desenvolvidas, através de detalhamentos precisos, individualizados e completos, desde a sua definição geométrica, até o projeto executivo final (BARROS, 1991, p.22).

O emprego racional, através da industrialização das estruturas de madeira, tem como objetivo recolocar a madeira ao nível competitivo com os demais materiais usados na construção civil, tendo em vista a tendência mundial de um mercado consumidor exigente e competitivo, e levando em consideração a crescente e programada extração de madeira de reflorestamento. Os sistemas industrializados de madeira são geralmente destinados à produção de estruturas treliçadas e consistem na sobreposição das CDE nas extremidades dos elementos estruturais que se pretendem unir. Tais estruturas são executadas em indústrias, respeitando uma linha de produção, exceto alguns componentes que são executados *in loco* (PINHEIRO, 1996, p.54).

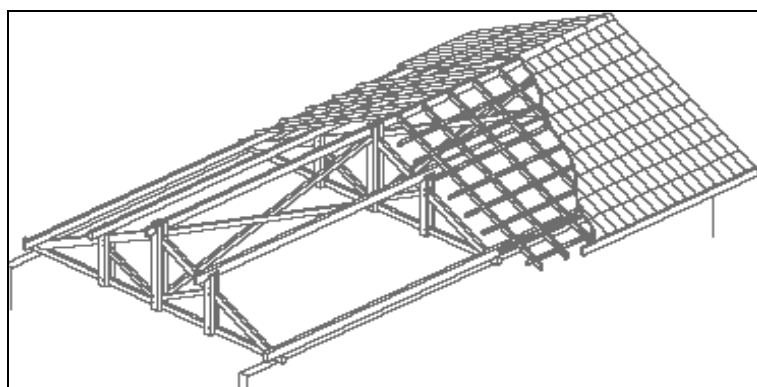
Estima-se que as estruturas treliçadas de madeira são utilizadas em 75% das construções no Brasil para confecção de cobertura, mas somente 2% dessas construções as utilizam racionalmente através de processos industriais. Portanto, a maioria das construções dessas estruturas é executada na obra, sem respaldo técnico e econômico no que tange à escolha adequada dos materiais empregados e ao tempo de execução, desfavorecendo a otimização na sua produção para cobertura. (SOUZA, 1995, p.17).

## 2.2 Sistema estrutural

O sistema estrutural de madeira para cobertura de edificações é composto basicamente pelas estruturas principal (tesouras); secundária (terças, caibros e ripas) e de contraventamento. Barros (1991, p.25) descreve algumas alternativas de sistemas construtivos de madeira para as coberturas de edificação, que são: Sistema construtivo Convencional; Pré-Fabricado e Intermediário.

### 2.2.1 Sistema construtivo convencional

No sistema construtivo convencional, os elementos estruturais de madeira, tais como: tesoura; terças; caibros; ripas e contraventamentos são montados no próprio local da obra, utilizando ligações com entalhes nas barras comprimidas e ligações com pregos ou parafusos nas barras tracionadas. A distância entre as tesouras varia de 2m a 3m para coberturas com telhas cerâmicas e de 3m a 5m para coberturas com telhas de fibrocimento. A característica principal de estruturas do sistema convencional, além dos elementos de ligação supracitados, são as barras dos montantes, das diagonais e dos banzos estarem ligadas em planos diferentes. A Figura 3 mostra um sistema convencional (BARROS, 1991).

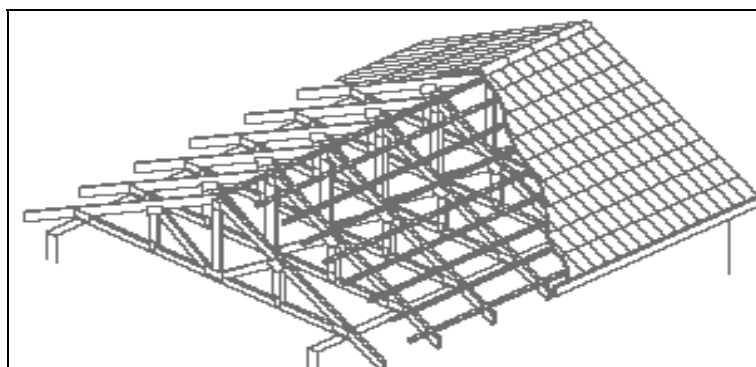


**Figura 3** – Estrutura de cobertura no sistema convencional

Fonte: (PARTEL, 2000)

## 2.2.2 Sistema construtivo pré-fabricado

No sistema construtivo pré-fabricado, como mostra a Figura 4, o princípio básico é o da substituição das peças secundárias somente por sarrafos, que são diretamente apoiados sobre a estrutura principal. Para isto o espaçamento entre as tesouras é reduzido para faixas de 0,8m a 1,0m para o caso de telhas cerâmicas, e para 1,5m a 2,0m para os demais tipos. Os sarrafos cumprem a função das ripas ou das terças, no caso de telhas cerâmicas ou fibrocimento, respectivamente. A característica principal das estruturas pré-fabricadas de madeira é o uso de pares de CDE nas ligações entre as barras da tesoura. A utilização desse tipo de conector 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 (BARROS, 1991).



**Figura 4** – Estrutura de cobertura no sistema pré-fabricado

Fonte: (PARTEL, 2000)

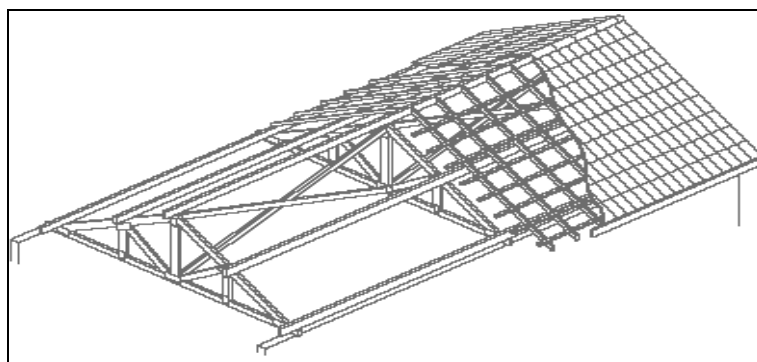
O aumento da quantidade de tesouras é compensado pela possível redução do volume de madeira, devido à eliminação de terças e caibros, diminuindo o peso da estrutura secundária. As tesouras nesse sistema, por estarem próximas uma das outras, podem ser menos densas ou menos resistentes, pois há uma menor área de influência das ações de projetos em cada tesoura.

Pinheiro (1996, p.112) verificou a ocorrência de menores consumos de madeira em estruturas cujos dispositivos de ligação são as CDE, comparada com os parafusos. Em estruturas com vãos de 11m e 12m, a redução é de aproximadamente 20%, sendo a máxima diferença em torno de 30% nas estruturas com 7m. Nos demais vãos, a diferença é da ordem de 25%.

Os resultados de Pinheiro (1996, p.112) mostraram que para uma estrutura tipo Fink de 7m, ligada por parafusos no sistema convencional, tem-se um consumo de madeira de  $0,017\text{m}^3/\text{m}^2$ , enquanto que para uma mesma estrutura tipo Fink de 7m, ligada por CDE no sistema pré-fabricado, tem-se um consumo de madeira de  $0,012\text{m}^3/\text{m}^2$ , portanto, obteve-se uma diferença da ordem de 30%.

### 2.2.3 Sistema construtivo intermediário

O sistema construtivo intermediário ou sistema misto, como mostra a Figura 5, é caracterizado pela simples substituição da estrutura principal convencional pela estrutura principal pré-fabricada, com a manutenção de todas as demais particularidades do sistema convencional, tais como os componentes secundários e o espaçamento maior entre as tesouras (BARROS, 1991).



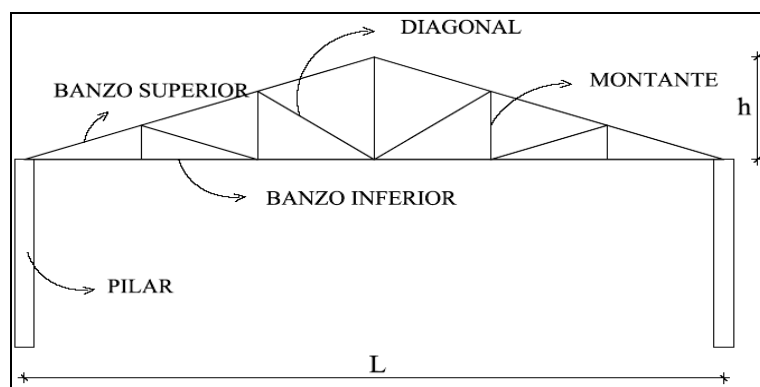
**Figura 5** – Estrutura de cobertura no sistema intermediário

Fonte: (PARTEL, 2000)

## 2.3 Trelças de madeira

A trelça de madeira é um sistema estrutural de barras simples situadas num plano e ligadas umas às outras em suas extremidades, através de pinos ou de conectores metálicos, de modo a formar uma cadeia triangular de barras, comportando-se como um sólido rijo, empregadas como uma opção econômica em relação às vigas de alma cheia (MOLITERNO, 1981, p.48).

A trelça de madeira mais utilizada na construção de coberturas é a tesoura, conforme mostra a Figura 6, podendo ser definida como viga trelçada de altura variável, que transfere as ações do telhado aos pilares da edificação.



**Figura 6** – Elementos básicos constituintes em uma tesoura

A tesoura apresenta duas vantagens: a primeira relaciona-se à forma geométrica que favorece o bom escoamento das águas pluviais; a segunda refere-se ao fato de que a distância entre os banzos, na parte central, é maior do que as extremidades, favorecendo a resistência ao momento fletor positivo, devido ao maior braço de alavanca. No caso da viga trelçada os esforços solicitantes aumentam para as barras mais centrais dos banzos, pois a distância entre os banzos é constante.

A seguir serão apresentadas algumas características dos três tipos de trelças, usualmente utilizadas nos projetos de cobertura em edificações residenciais e comerciais, que são: trelças de contorno triangular e retangular; e trelça em balanço.

### 2.3.1 Treliça de contorno triangular

**Treliça tipo Howe:** ou tesoura com diagonais normais, conforme a Figura 7. Esse tipo de tesoura é a mais comum e a mais empregada para vencer vãos da ordem de até 18m. Apresenta para as forças, de cima para baixo, compressão nas diagonais e tração nos montantes. A relação  $h/L$  deve estar entre  $1/7$  e  $1/4$  (GESUALDO, 2003, p.49).

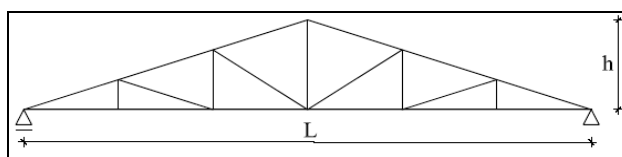


Figura 7 – Tesoura tipo Howe (diagonais normais)

**Treliça tipo Pratt:** ou tesoura com diagonais invertidas, conforme a Figura 8. Esse tipo de tesoura é recomendável para vãos maiores ( $18m \leq L \leq 30m$ ). Apresenta para as forças, de cima para baixo, compressão nos montantes e tração nas diagonais tendo a vantagem de as peças comprimidas serem menores que as tracionadas. A relação  $h/L$  deve estar entre  $1/7$  e  $1/4$  (GESUALDO, 2003, p.49).

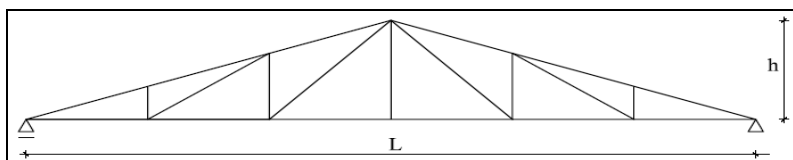


Figura 8 – Tesoura tipo Pratt (diagonais invertidas)

**Treliça tipo Belga:** é uma variante da treliça Pratt, conforme a Figura 9. Os montantes são posicionados perpendicularmente ao banzo superior, obtendo-se melhor distribuição de esforços entre montantes e diagonais. A relação  $h/L$  deve estar entre  $1/8$  e  $1/6$  (GESUALDO, 2003, p.50).

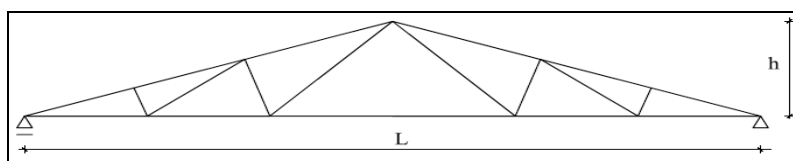
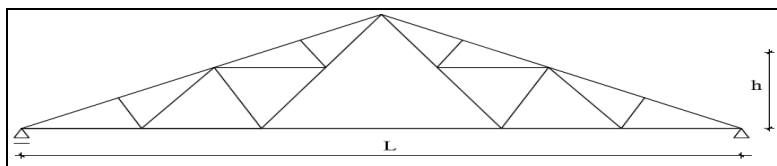


Figura 9 – Tesoura tipo Belga (diagonais invertidas)

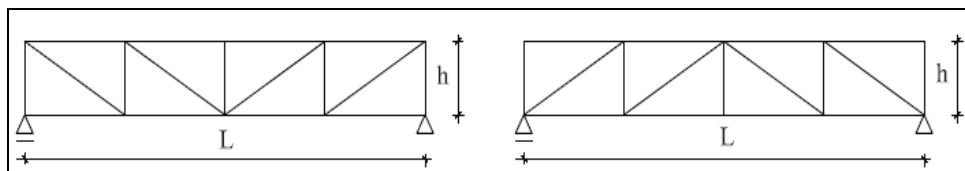
**Treliça tipo Fink:** é uma variante da treliça Belga, conforme a Figura 10. Utilizada para vencer vãos maiores, entre ( $20\text{m} \leq L \leq 30\text{m}$ ). Possui a conveniência de reduzir o comprimento das barras das diagonais e dos montantes mais centrais. A relação  $h/L$  deve estar entre  $1/5$  e  $1/4$  (GESUALDO, 2003, p.51).



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

### 2.3.2 Treliça de contorno retangular

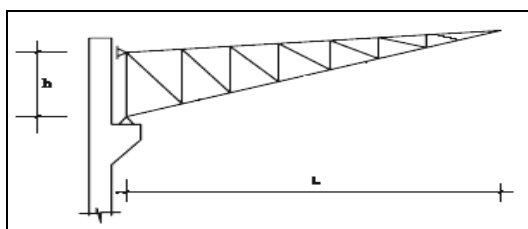
Este tipo de treliça chamada de viga treliçada, é normalmente usada nas coberturas com características que exigem necessariamente o formato retangular. Para vãos superiores a 20m não são estruturas adequadas. A relação  $h/L$  é de  $1/6$  (GESUALDO, 2003, p.57). Os dois tipos básicos são mostrados na Figura 11.



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

### 2.3.3 Treliça em balanço

Este tipo de treliça é usualmente chamado de meia tesoura para arquibancadas. A relação  $h/L$  deve estar entre  $1/5$  e  $1/4$  (GESUALDO, 2003, p.56). A Figura 12 mostra uma tesoura em balanço.



**Figura 12** – Meia tesoura em balanço

## 2.4 Ligações de peças estruturais de madeira

Historicamente as ligações de peças estruturais de madeira eram dimensionadas com base em fórmulas empíricas, pois não existia uma teoria que descrevesse o comportamento das ligações. No Brasil, inicialmente o estudo das ligações foi voltado para a resistência das mesmas, através de significativas pesquisas ocorridas no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), da Escola de Engenharia de São Carlos - USP. Nas últimas décadas do século XX, as investigações experimentais voltaram-se também à rigidez. Atualmente, o método experimental constitui um importante método de investigação do comportamento de ligações, sendo freqüentemente utilizado para a verificação de modelos teóricos (SANTANA, 2002, p.51).

As propriedades mecânicas básicas das ligações de peças estruturais de madeira são a resistência e a rigidez, cuja determinação dessas propriedades representa uma importante etapa no projeto e no dimensionamento das estruturas de madeira, assim como na execução dessas estruturas, pois apresentam, em sua totalidade, partes a serem interligadas.

Segundo Calil Júnior et al. (1998, p.66) existem basicamente dois tipos de ligação: por penetração e por aderência. As ligações por penetração se caracterizam pela utilização de elementos de ligação, e as forças transmitidas de uma peça para outra convergem geralmente para uma pequena área como em pregos, parafusos. Já as ligações por aderência são estabelecidas por meio de uma fina película de adesivo, e os esforços são absorvidos por áreas relativamente grandes, formadas pelas superfícies ligadas pelo adesivo.

O item 8.1.1 da Norma Brasileira (NBR-7190/97, p.32) considera três tipos de ligação por penetração entre as peças de madeira, que são: pinos metálicos; cavilhas de madeira e conectores metálicos. Os pinos metálicos correspondem aos pregos e parafusos. As cavilhas são pinos de madeira torneados. Os conectores metálicos podem ser os anéis e as chapas com dentes estampados (CDE).

## 2.5 Conector metálico CDE

O conector CDE é um produto feito por algumas empresas brasileiras, fabricado com chapa de aço galvanizado a quente. 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. A Figura 13 mostra um sistema estrutural pré-fabricado, com as peças estruturais da treliça de madeira, ligadas por CDE.



**Figura 13** – Estruturas de cobertura produzidas industrialmente com o uso de CDE

Fonte: (STELLA, 2002)

### 2.5.1 Histórico mundial sobre a CDE

O conector de chapa com dentes estampados, segundo o boletim técnico da TRELIÇA para telhados (1980, p.2), foi inventado nos Estados Unidos em 1954 por J. Calvin Jurgit, presidente da Automated Building Components.

McCarthy e Wolfe (1987, p.12) verificaram, na ligação por CDE, a influência das seguintes variáveis: tamanho; número de dentes; orientação da chapa; orientação das fibras da madeira; espécie de madeira; e umidade, na determinação da resistência e rigidez das ligações. Concluíram que o parâmetro módulo de elasticidade da madeira varia o comportamento da rigidez na ligação.

Gupta e Gebremedhin (1990, p.1971) apresentaram um dispositivo de ensaio, onde foi simulado em laboratório um comportamento da ligação por CDE mais próximo da estrutura real. Nesse trabalho, são verificados três modos de ruptura: arrancamento dos dentes na madeira; ruptura da chapa e da madeira.

Stern (1992, p.40) apresentou aproximadamente duzentos e cinquenta trabalhos sobre conectores metálicos, feitos nos últimos trinta e cinco anos. Esses trabalhos foram desenvolvidos utilizando as chapas galvanizadas do tipo: chapas-prego e CDE, com dentes em diferentes formas geométricas.

Mackenzie e McNamara (1994, p.373) analisaram os três possíveis modos de ruptura e observaram que a utilização de chapas com dimensões diferentes apresentam desempenhos diferentes, e a má penetração dos dentes na madeira diminui a resistência ao arrancamento, sendo que esta resistência aumenta, quanto maior for a densidade da madeira. Perceberam também que a variação climática não afeta muito a resistência das ligações, porém, como o tempo pode provocar o afrouxamento da CDE na peça de madeira.

Emerson e Fridley (1996, p.90) estudaram a deformação da ligação, devido a carregamento repetitivo, e concluíram sobre o carregamento dinâmico, cuja ligação, embora apresenta rigidez um pouco inferior à apresentada para carregamento estático, apresenta maior resistência à ruptura.

Stahl, Cramer e Wolfe (1996, p.84) estudaram a possibilidade das tesouras de madeira serem constituídas por barras ligadas por CDE, cujas extremidades são cortadas em ângulo reto. Os resultados, obtidos através da comparação de modelos computacional com os de escala real, mostraram que é viável a construção desse tipo de tesoura, desde que haja maior atenção no controle tecnológico nos banzos.

Shrestha e Albani (1996, p.81) estudaram o comportamento das CDE durante o transporte, manuseio e içamento das estruturas treliçadas de madeira, pois, neste caso, o tipo de solicitação não é somente no plano da treliça como foi projetada, mas também fora dele. Constataram que a resistência, para carregamentos fora do plano da estrutura, é da ordem de 10% da resistência para carregamentos no plano, com as fibras e a CDE paralelas à força axial. Concluíram que são necessários cuidados especiais ao transportar e içar as estruturas treliçadas de madeira.

Groom (1996, p.28) estudou o efeito da variação cíclica da umidade no comportamento das ligações por CDE. Constatou-se que a variação da umidade, mesmo não sendo de grande magnitude, produz um efeito degradativo, no comportamento mecânico nas ligações, ocasionando um decréscimo significativo nos valores da rigidez e da resistência. Parte desse efeito se dá pelo fato de ocorrer um relaxamento da madeira ao redor dos dentes do conector. Nesse mesmo trabalho, o autor verificou o comportamento, nas ligações por CDE, com variação cíclica da umidade, através do uso de um adesivo, na cravação do conector e verificou a existência de um ganho em resistência e rigidez.

### **2.5.2 Histórico nacional sobre a CDE**

Carvalho (2002, p.5) considerou que os estudos sobre a CDE só se tornaram relevantes no Brasil a partir do final da década de 80 e mesmo assim, poucas informações consistentes são encontradas a respeito do assunto na literatura técnica nacional.

Breuer (1983, p.18) apresentou um dos primeiros trabalhos sobre o emprego de chapas-prego e CDE, detalhando as vantagens e as etapas construtivas de treliças de madeira pré-fabricada, através do uso de CDE.

Ujvari (1983, p.7) desenvolveu um trabalho sobre ligações de madeira por CDE, para calculistas e usuários do sistema Gang-Nail, onde foram definidos alguns critérios e observações a serem feitos no dimensionamento. Alguns dos critérios mais pertinentes estão descritos abaixo:

- Os conectores devem ser colocados aos pares nas ligações, ou seja, em ambos os lados das peças ligadas, e suas posições devem ser idênticas. É necessário colocar somente um par de conectores por nó, inclusive se este for simultaneamente um nó interno e uma emenda de banzo.
- O conector é projetado de tal maneira que sua seção líquida de aço e o número de dentes em cada peça, sejam suficientes para resistir a todas as forças que atuam na ligação, sem que haja arrancamento dos dentes na madeira, cisalhamento ou tração na CDE.

- O número total de dentes, solicitados na peça de madeira a ser ligada, é igual à razão da força de tração, na peça, pela resistência ao arrancamento, nas chapas. Como as peças são sempre ligadas por pares de CDE, logo, o número de dentes necessários por conector é a metade do número total.

$$\text{Nº dentes por conector} = \frac{F_t}{2 \times R_{\text{ao arrancamento}}} \quad (1)$$

- A dimensão do comprimento do conector, necessária, pode ser obtida pela razão da força de tração e de cisalhamento, na peça, pela resistência à tração, ou ao cisalhamento, em uma das chapas. Para os esforços cisalhantes, deve se tomar como valor da resistência uma atuação em 0°.

$$\text{Comprimento de ruptura do conector} = \frac{F_t}{R_{\text{à tração ou ao cisalhamento}}} \quad (2)$$

- Para prevenir danos devidos à manipulação, transporte ou montagem, deve-se prever como valor mínimo em cada ligação, um número de dentes capaz de resistir a uma força de 1,75 kN.

Oliveira (1988, p.24) estudou as ligações por conector CDE, definindo dimensões adequadas dos corpos-de-prova para ensaio de tração. Evidenciou a necessidade de realizar ensaios variando a inclinação da chapa em relação às fibras da madeira.

Baraldi (1996, p.59) propôs um método de ensaio para determinação da resistência e da rigidez de ligações em peças estruturais de madeira por CDE e apresentou as dimensões das chapas a serem utilizadas, nos ensaios de arrancamento dos dentes na madeira, cisalhamento e tração da chapa, para algumas espécies de madeira. Concluiu que, os ensaios, de resistência ao cisalhamento e à tração da chapa, não devem ser executados com madeiras de baixa densidade, pois dificilmente a ruptura ocorrerá na chapa, e sim por arrancamento. Também concluiu que, nos ensaios de arrancamento perpendicular às fibras, o modo de ruptura característico é por tração normal às fibras da madeira.

Partel (2000, p.2) identificou os aspectos pertinentes ao processo de dimensionamento de estruturas treliçadas de madeira para telhados, e desenvolveu rotinas informatizadas, através de um software, o qual determina as solicitações de cálculo e a verificação dos estados limites últimos e de utilização de elementos estruturais, tais como barras de tesouras, terças, caibros e ligações entre barras de tesouras por CDE. Dentre as características físicas e mecânicas, o valor da resistência (R) e da rigidez (k), da ligação por conector de CDE, deve ser inserido como dados nesse programa.

Seraphin e Franco (2001, p.50) estudaram o comportamento da resistência e da rigidez de ligações tracionadas, unidas por CDE, em função do aumento da espessura das peças de madeira solidarizadas. Para isso, foram utilizadas peças com densidade aparente equivalentes e conectores metálicos de mesmas dimensões nominais. Os autores concluíram que existe uma tendência de redução da resistência e da rigidez dessas ligações quando se aumenta a espessura das peças interligadas, frente às condições já descritas.

Carvalho (2002, p.65) propôs uma equação que determina os números de dentes da CDE, necessários para a ligação, através das variáveis: força de tração atuante; largura das peças interligadas; espessura do dente; altura do dente e resistência da madeira ao embutimento. Concluiu que o estado limite decorrente do arrancamento dos dentes da CDE, na peça de madeira, é um dos fenômenos que podem ocorrer com bastante frequência, nas ligações em estudo, e é um fator determinante no dimensionamento.

## 2.6 Resistência e rigidez das ligações

A resistência das ligações é uma propriedade usual para um projeto estrutural, já a rigidez das ligações não ocorre o mesmo fato. A teoria clássica das estruturas considera que as ligações são perfeitamente rígidas (transmitem momentos fletores) ou não possuem rigidez (perfeitamente articuladas). Dessa forma, a rigidez das ligações em peças estruturais das treliças não é considerada na análise estrutural, contudo as ligações mecânicas são deformáveis, podendo ser consideradas semi-rígidas, pelo seu comportamento intermediário entre rígidas e articuladas. Portanto, a rigidez influi no comportamento estrutural, porém, nos cálculos estruturais desconsidera-se essa influência (SANTANA, 2002, p.3).

Dentre as Normas técnicas mundial, sobre as ligações em peças estruturais de madeira, a Eurocode 5 (2002, p.82) pode ser citada como relativamente avançada na normalização e na disposição para o cálculo de estruturas de madeira com ligações semi-rígidas.

No Brasil, a Norma Brasileira (NBR-7190/97, p.32), nos itens 8.3.1, 8.4.1 e 8.5.1 estabelece que as ligações, em peças estruturais de madeira, sejam consideradas rígidas, e, portanto, dimensionadas para resistir aos esforços solicitantes, determinados através do cálculo convencional.

A dificuldade de normalização do projeto de estruturas de madeira considerando as ligações semi-rígidas, está relacionada à dificuldade de caracterização do comportamento das ligações, principalmente as transmissoras de momento fletor. O surgimento de novos tipos de ligação amplia o campo da pesquisa do comportamento mecânico dessas ligações.

## **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

---

### **3.1 Materiais**

Neste trabalho, foram estudadas três espécies de madeira, comercialmente utilizadas na construção civil da região Noroeste de SP, sendo elas: Pinus Bahamensis; Eucalipto Grandis e Cupiúba. O conector usado na ligação das peças estruturais de madeira é a CDE, fabricado e fornecido pela empresa Gang-Nail do Brasil, em Itaquaquecetuba – SP.

#### **3.1.1 Madeira**

As madeiras pinus, eucalipto e cupiúba, utilizadas nos ensaios, foram inspecionadas visualmente, em cada lote, com as respectivas espécies, a fim de selecionar as madeiras isentas de defeitos, tais como: rachadura; empenamento; perfuradas e com ocorrência de fungos ou organismos xilófagos. As dimensões das peças de madeira dos corpos-de-prova estão descritas no item 3.2.2. A seguir são apresentadas algumas características física, sensorial e de sanidade biológica, para as três espécies de madeira estudadas.

##### **3.1.1.1 Pinus Bahamensis**

Pinus Bahamensis é uma espécie de árvore de médio a grande porte, com altura entre 15m a 30m e diâmetro entre 0,60m a 1,20m; possui densidade baixa, é macia ao corte e tem textura fina. Popularmente é uma madeira chamada de pinus, pinheiro e pinheiro-americano (CORRÊA citado por LOGSDON, 1998, p.74). A Figura 14 mostra a madeira pinus.



**Figura 14** – Madeira pinus com vista longitudinal e transversal

Fonte: (LOGSDON, 1998)

Possui as seguintes características sensoriais: cerne e alburno indistintos pela cor branco-amarelado e brilho moderado; cheiro e gosto perceptíveis e característicos de resina. Apresenta alta permeabilidade às soluções preservantes, podendo, ser tratada e empregada em usos de classe com risco de biodeterioração.

Pinus é uma madeira susceptível ao ataque de fungos emboloradores e apodrecedores, cupins e brocas-de-madeira, porém, é possível ser tratada. É fácil de ser trabalhada, desdobrada, aplainada, lixada, torneada, furada, fixada e colada. Permite bom acabamento e é fácil de secar.

### 3.1.1.2 Eucalipto Grandis

Eucalipto grandis é uma espécie de árvore de grande porte, com altura entre 42m a 54m e diâmetro entre 1,2m a 1,8m; possui densidade baixa, é macia ao corte. Popularmente é uma madeira chamada de eucalipto (CORRÊA citado por LOGSDON, 1998, p.75). A Figura 15 mostra a madeira eucalipto.



**Figura 15** – Madeira eucalipto com vista longitudinal e transversal

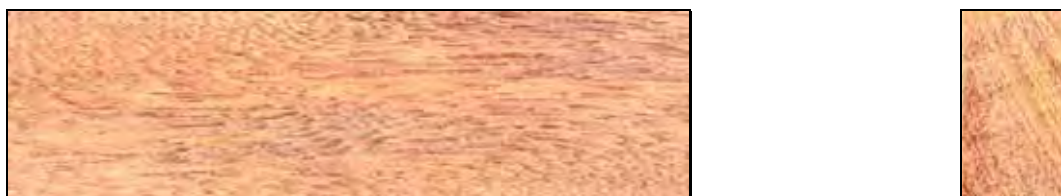
Fonte: (LOGSDON, 1998)

Possui as seguintes características sensoriais: cerne e alburno distintos, no cerne castanho-rosado claro e no alburno bege-rosado e pouco brilho; cheiro e gosto imperceptíveis.

Eucalipto é uma madeira considerada de moderada durabilidade aos fungos apodrecedores e cupins, e com baixa durabilidade aos fungos de podridão mole e cupins-de-solo. O cerne é difícil de ser tratado, entretanto o alburno é permeável. É uma fácil de ser trabalhada, aplainada, lixada, torneada, furada e permite bom acabamento.

### 3.1.1.3 Cupiúba

Cupiúba é uma espécie de árvore de grande porte, com altura entre 10m a 40m e diâmetro de até 1,3m, reconhecível pela folhagem constante, inconfundível, de cor negra; possui densidade alta e textura média. Popularmente chamada de cachaceiro, copiúva, cupiúva-rosa, peniqueiro, peroba-do-norte e peroba-fedida (LOUREIRO & SILVA, citado por LOGSDON, 1998, p.76). A Figura 16 mostra a madeira cupiúba.



**Figura 16** – Madeira cupiúba com vista longitudinal e transversal

Fonte: (LOGSDON, 1998)

Possui as seguintes características sensoriais: cerne e alburno indistintos pela cor castanho-avermelhado; superfície sem brilho; cheiro perceptível e desagradável, que tende a desaparecer com o tempo, se a madeira não mantiver úmida; gosto imperceptível, distinto e característico.

Cupiúba é uma madeira com alta resistência ao ataque de organismos xilófagos (fungos e cupins). Apresenta resistência a fungos apodrecedores e cupins-de-madeira-seca, entretanto não é resistente aos xilófagos marinhos. É fácil de ser trabalhada, desdobrada, aplainada, lixada, torneada, furada, fixada e colada. Entretanto quando pregada, pode provocar rachaduras, e não é adequada para a fabricação de compensados. Permite bom acabamento e tem boa aceitação de tinta e de verniz.

### 3.1.2 Conector metálico

Os conectores metálicos por CDE, utilizados nos ensaios são do tipo GNA-80, selecionados aleatoriamente de um lote de produção normal. O processo de fabricação, do conector CDE, consiste basicamente em desenrolar uma fita de aço com largura e espessura constantes, em seguida, essa fita passa por uma prensa, e, através da estampagem no seu plano, destacam-se os dentes para o plano normal a fita de aço, e, simultaneamente, a fita, já estampada, é cortada no comprimento pré-determinado.

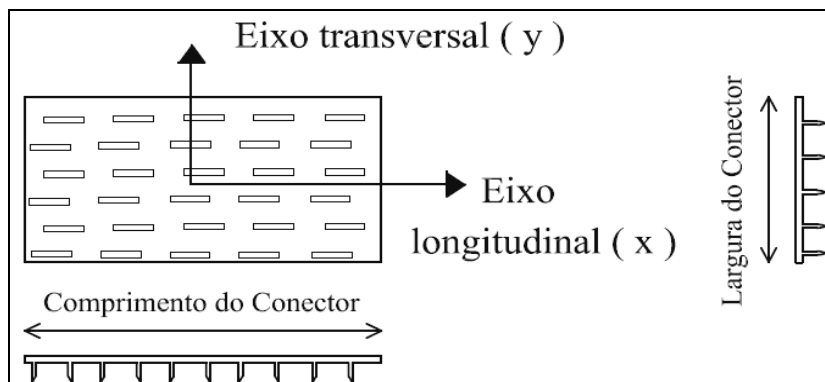
Todas as CDE vieram da fábrica com a altura e a espessura dos dentes da chapa constantes de 7,8mm e 1,3mm, respectivamente; já as suas dimensões (largura e comprimento) vieram da fábrica com diversas medidas, conforme estão descritas no Ensaio Experimentais deste trabalho. Os conectores CDE são fabricados com as seguintes especificações e características, fornecidas pelo fabricante:

- Obedece aos requisitos da ASTM A446-72 Grau A
- Tensão à tração:  $14,0\text{kN/cm}^2$
- Cisalhamento de cálculo:  $9,8\text{kN/cm}^2$
- Limite de escoamento:  $23,2\text{kN/cm}^2$
- Limite de resistência à tração:  $31,6\text{kN/cm}^2$
- Número de dentes:  $1,5\text{dentes/cm}^2$
- Peso:  $1,0\text{g/cm}^2$
- Espessura: 1,3mm (podendo variar até o máximo de 1,4mm)
- Comprimento dos dentes: 7,8mm
- Aço efetivo longitudinalmente: 32,7%
- Aço efetivo transversalmente: 70,2%

Para efeito de projeto, são especificados pelo fabricante os seguintes valores de resistência, para **um par** de conector:

- Tração longitudinal:  $2,1\text{kN/cm}$  de largura do conector
- Tração transversal :  $1,0\text{kN/cm}$  de comprimento do conector
- Cisalhamento longitudinal:  $0,8\text{kN/cm}$  de comprimento do conector
- Cisalhamento transversal:  $1,7\text{kN/cm}$  de largura do conector

A Norma Brasileira (NBR-7190/97, p.83) no item C.7.2 define duas direções longitudinal e transversal da chapa metálica CDE, em relação à direção da aplicação da força, conforme apresenta a Figura 17.



**Figura 17** – Direções do conector CDE em relação a direção da força aplicada

Fonte: (NBR-7190/97)

### 3.1.3 Equipamentos de ensaio

Nos ensaios de caracterização física das três espécies de madeira, foram utilizados uma balança eletrônica com precisão de 0,01g e um paquímetro com precisão de 0,05mm, para a determinação da umidade e da massa específica.

Nos ensaios de caracterização mecânica das três espécies de madeira e em todos os ensaios de ligação por CDE (arrancamento, cisalhamento e tração), foram utilizados relógios comparadores, com precisão de 0,001mm da marca Mitutoyo, para medir os deslocamentos decorrentes dos esforços aplicados nos corpos-de-prova e também cronômetro, para verificar a velocidade do ensaio.

Com a máquina universal de ensaios, da marca VEB (EU-100), de capacidade máxima de 1000kN, para as forças de compressão e tração, instalada no Laboratório de Engenharia Civil da Unesp - Campus de Ilha Solteira, realizaram-se: a caracterização mecânica (módulo de elasticidade, resistência e cisalhamento) das três espécies de madeira; as prensagens dos conectores CDE, nas peças de madeira; e os ensaios de ligação por CDE (arrancamento dos dentes na madeira, cisalhamento e tração da chapa).

## **3.2 Métodos**

As espécies de madeira pinus, eucalipto e cupiúba foram caracterizadas física e mecanicamente, de acordo com os métodos de ensaio especificados no anexo B da Norma Brasileira (NBR-7190/97, p.47). As peças de madeira, usadas na confecção dos corpos-de-prova das ligações por CDE foram dimensionadas de acordo com as Normas inglesa BS 6948, europeia prEN 1075 e americana ANSI/TPI, conforme Baraldi (1996, p.8). A execução dos ensaios das ligações por CDE, em peças estruturais de madeira, foi baseada no método de ensaio proposto por Baraldi (1996, p.14).

### **3.2.1 Caracterização das espécies de madeira**

Nos ensaios de caracterização física das três espécies de madeira obtiveram-se as seguintes propriedades: massa específica básica e massa específica aparente. Esses valores estão apresentados no capítulo 5.

Os corpos-de-prova, para os ensaios de caracterização física e mecânica das três espécies utilizadas, foram preparados de acordo com os itens B.6, B.8 e B.12, do Anexo B da Norma Brasileira (NBR-7190/97, p.50).

Nos ensaios de caracterização mecânica das três espécies de madeira, obtiveram-se: a resistência à compressão e ao cisalhamento, com aplicação da força paralela às fibras da madeira e o módulo de elasticidade longitudinal. Nesses ensaios, foram utilizadas peças de madeira saturadas, ou seja, com teor de umidade igual ou superior a 20%, por apresentarem menor variabilidade de suas propriedades de resistência e elasticidade, pois, segundo Bodig & Jayne, citado por Logsdon (1998, p.11), um conjunto de corpos-de-prova muito semelhantes, mas com diferente teor de umidade, desde seco até saturado, quando ensaiados a compressão paralela às fibras, tanto a resistência quanto o limite de proporcionalidade, apresentam um declínio à medida que o teor de umidade cresce, porém, para umidades acima de 20%, os valores da resistência, para esse conjunto, tendem a igualar-se.

### 3.2.2 Procedimentos para a confecção dos corpos-de-prova

Para os ensaios da ligação por CDE, os corpos-de-prova foram confeccionados em função dos quatro modos de ruptura, considerados neste trabalho. Visando uma melhor simplificação nas nomenclaturas desses modos, a seguir, será descrita a definição de cada modo de ruptura, e concomitantemente, será lhe proposto um nome, cuja a finalidade é de simplificar posteriormente a leitura no texto.

O primeiro modo de ruptura é por arrancamento dos dentes do conector CDE, na madeira do corpo-de-prova, através de uma força de tração, aplicada paralelamente à direção das fibras da madeira, doravante denominado **Arrancamento paralelo às fibras**, conforme mostra a Figura 18.

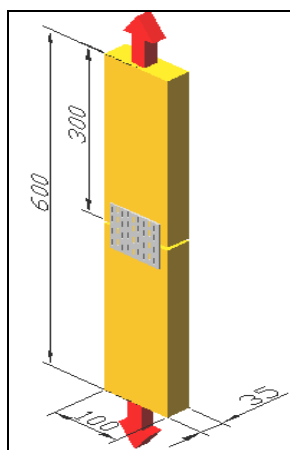
O segundo modo de ruptura é por arrancamento dos dentes do conector CDE, na madeira do corpo-de-prova, através de uma força de tração, aplicada perpendicularmente à direção das fibras da madeira, doravante denominado **Arrancamento normal às fibras**, conforme mostra a Figura 19.

O terceiro modo de ruptura é por cisalhamento do conector CDE, através de uma força de compressão, aplicada paralelamente à direção das fibras da madeira, doravante denominado **Cisalhamento da chapa**, conforme mostra a Figura 20.

O quarto modo de ruptura é por tração do conector CDE, através de uma força de tração, aplicada paralelamente à direção das fibras da madeira, doravante denominado **Tração da chapa**, conforme mostra a Figura 21.

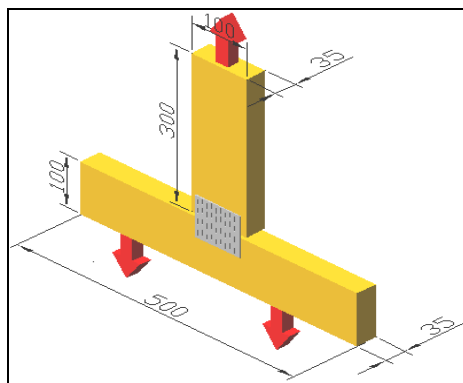
A seguir serão apresentadas, para os quatro modos de ruptura, as dimensões das peças de madeira, usadas na confecção dos corpos-de-prova das ligações por CDE, de acordo com as Normas inglesa BS 6948, europeia prEN 1075 e americana ANSI/TPI. O espaçamento, entre as peças que compõe o corpo-de-prova, é da ordem de 2 mm a 3 mm.

No ensaio de arrancamento paralelo às fibras, as dimensões das peças de madeira do corpo-de-prova devem apresentar seção transversal com altura mínima de 9,7cm e largura mínima de 3,3cm, e o comprimento, de cada peça, no mínimo de 20cm. A Figura 18 mostra as dimensões, em mm, das peças de madeira, utilizadas nos ensaio de arrancamento paralelo às fibras.



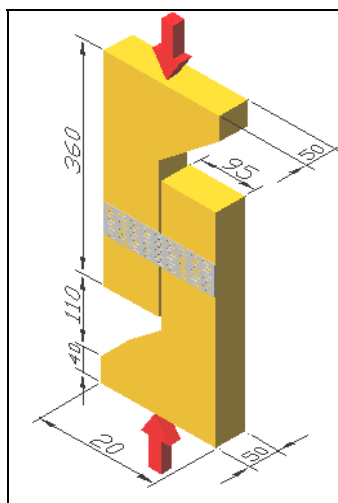
**Figura 18** – Dimensões das peças (mm): ensaio de arrancamento paralelo às fibras

No ensaio de arrancamento normal às fibras, o corpo-de-prova é composto por duas peças unidas, formando uma geometria em forma de **T**. As dimensões da peça de madeira para o elemento longitudinal (alma) seguem as mesmas dimensões, de uma das peças, definidas para o ensaio de arrancamento paralelo às fibras. As dimensões da peça de madeira para o elemento transversal (mesa) devem apresentar uma seção transversal com altura mínima de 9,7cm e largura mínima 3,3cm, e o comprimento no mínimo de 50cm. A Figura 19 mostra as dimensões, em mm, das peças de madeira, utilizadas no ensaio de arrancamento normal às fibras.



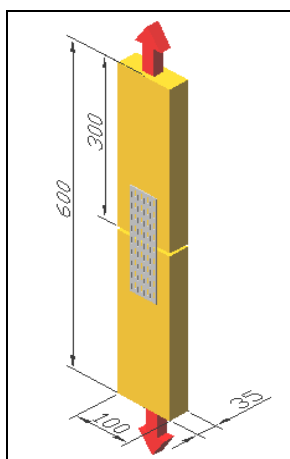
**Figura 19** – Dimensões das peças (mm): ensaio de arrancamento normal às fibras

As dimensões, em mm, das peças de madeira dos corpos-de-prova, utilizadas no ensaio de cisalhamento da chapa, estão apresentadas na Figura 20, de acordo com a Norma inglesa BS 6948.



**Figura 20** – Dimensões das peças (mm): ensaio de cisalhamento da chapa

No ensaio de tração da chapa, as dimensões das peças de madeira do corpo-de-prova apresentaram as mesmas dimensões definidas para o ensaio de arrancamento paralelo às fibras. A Figura 21 mostra as dimensões, em mm, das peças de madeira, utilizadas no ensaio de tração da chapa.



**Figura 21** – Dimensões das peças (mm): ensaio de tração da chapa

Para a montagem e preparo dos corpos-de-prova da ligação por CDE, com as três espécies de madeira, fizeram-se as seguintes etapas:

Primeira etapa: As peças de madeira foram cortadas, nas dimensões supracitadas, de acordo com cada modo de ruptura, e, antes de serem ligadas pelos conectores CDE, foram acondicionadas, em um tanque de água, até que atingissem o ponto de saturação das fibras ( $U > 20\%$ ). Esse controle foi feito por medições, em intervalos de 6h, da massa em peças de madeira testemunhas, colocadas junto com as demais peças no tanque. Consideraram-se saturadas todas as peças no tanque, quando a diferença de duas leituras consecutivas das massas foi menor ou igual a 0,5% da última massa medida.

Segunda etapa: As peças de madeira, já saturadas, foram retiradas do tanque e ligadas por conector CDE, através de prensagem, no máximo 24 horas antes dos corpos-de-prova serem ensaiados. Todos os modelos de corpos-de-prova foram montados com um par idêntico de chapas, e estas foram fixadas simetricamente para evitar os efeitos de excentricidade nas ligações. A prensagem dos conectores, nas peças de madeira, foi feita da seguinte maneira: primeiro estampou-se uma chapa metálica, em uma face, em seguida, a segunda chapa na outra face, conforme mostra a Figura 22.



**Figura 22** – Prensagem da CDE no modelo de arrancamento normal às fibras

A força de prensagem da CDE, na madeira, variou de 20kN a 160kN, de acordo com o tamanho do conector e da espécie de madeira. Após alguns testes, definiu-se a velocidade de prensagem das CDE, dada pela razão da força de prensagem, em um dente, por segundo. A Tabela 1 mostra a taxa média da força de prensagem por dente e sua velocidade, determinadas empiricamente na confecção dos corpos-de-prova, em função da espécie de madeira.

**Tabela 1** – Relação da força de prensagem para cada dente da CDE e sua velocidade

ESPÉCIE (U>20%)	CLASSE DE RESISTÊNCIA	FORÇA/DENTE	VELOCIDADE
		kN/dente	kN/s
PINUS BAHAMENSIS	20	0,30	0,30
EUCALIPTO	30	0,40	0,40
CUPIÚBA	40	0,70	0,70

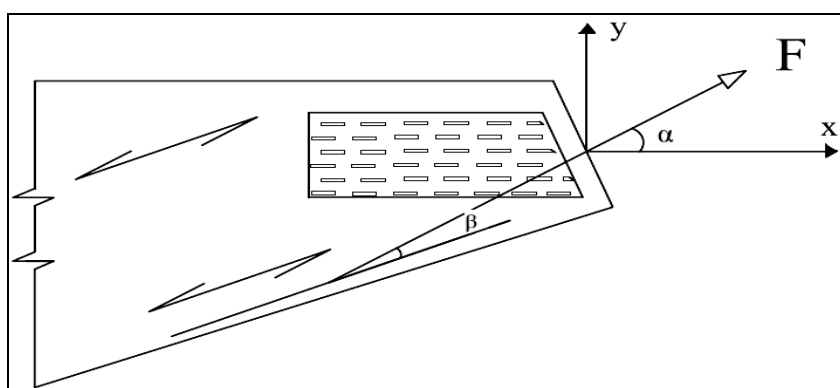
Terceira etapa: Os corpos-de-prova, após serem prensados pelo par de chapas, foram nomeados de acordo com o **Modelo de ligação por CDE**, através do código adotado:  $M_{\beta}C_{\alpha}$ , e numerados de acordo com o número de repetição.

A primeira letra (**M**) representa os quatro modos de ruptura, estudados neste trabalho, que são: Arrancamento paralelo ou normal às fibras (**A**); Cisalhamento da chapa (**V**) e Tração da chapa (**T**).

O índice ( $\beta$ ) é o ângulo que a direção das fibras da madeira faz com a direção da força, aplicada na peça de madeira, ocorrendo neste trabalho duas direções: força paralela ( $\beta=0^{\circ}$ ) ou normal ( $\beta=90^{\circ}$ ) às fibras da madeira. A Figura 23 mostra o ângulo  $\beta$ , segundo a Norma Brasileira (NBR-7190/97, p.85).

A segunda letra (**C**) representa a chapa com dentes estampados.

Por último, o índice ( $\alpha$ ) é o ângulo que a direção longitudinal do conector CDE (Figura 17) faz com a direção da força, aplicada na peça de madeira, sendo considerado neste trabalho três ângulos possíveis: força paralela ( $\alpha=0^{\circ}$ ); inclinada ( $\alpha=45^{\circ}$ ) e normal ( $\alpha=90^{\circ}$ ) à direção longitudinal do conector CDE, conforme mostra a Figura 23.



**Figura 23** – Direções do conector CDE ou da fibra da madeira, em relação à direção da aplicação da força, através dos ângulos  $\alpha$  e  $\beta$ , respectivamente

Fonte: (NBR-7190/97)

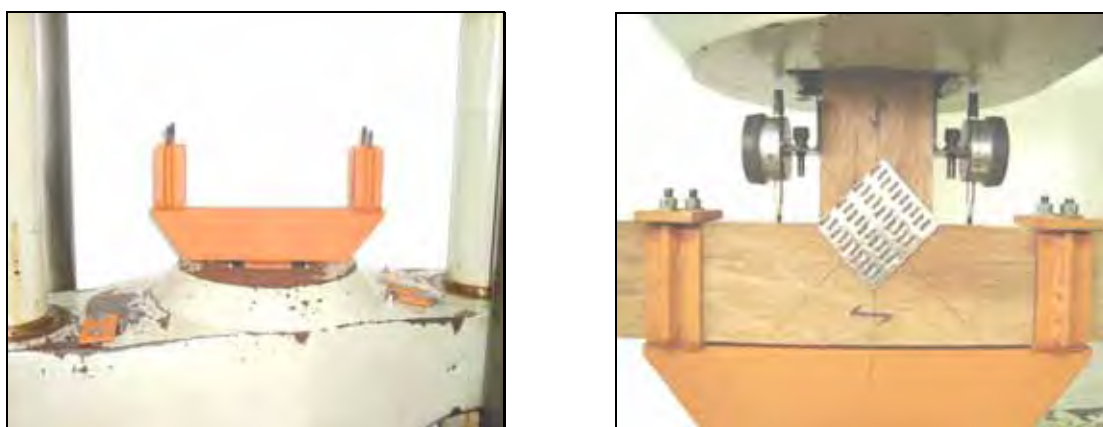
De acordo com a nomenclatura do corpo-de-prova, através do código adotado para o ensaio das ligações, são apresentados na Tabela 2 os doze possíveis modelos de ligações por CDE, considerados neste trabalho, para cada espécie de madeira.

**Tabela 2** – Modelos de ligações por CDE utilizados nos ensaios

Direção da Chapa x Força	Arrancamento paralelo às fibras ( $\beta=0^\circ$ )	Arrancamento normal às fibras ( $\beta=90^\circ$ )	Cisalhamento da chapa ( $\beta=0^\circ$ )	Tração da chapa ( $\beta=0^\circ$ )
( $\alpha=0^\circ$ )	$A_0C_0$	$A_{90}C_0$	$V_0C_0$	$T_0C_0$
( $\alpha=45^\circ$ )	$A_0C_{45}$	$A_{90}C_{45}$	$V_0C_{45}$	$T_0C_{45}$
( $\alpha=90^\circ$ )	$A_0C_{90}$	$A_{90}C_{90}$	$V_0C_{90}$	$T_0C_{90}$

Quarta etapa: Os corpos-de-prova, já nomeados e numerados, de acordo com os modelos de ligações por CDE, foram preparados para a execução dos ensaios, através da fixação de dois relógios comparadores, em cada corpo-de-prova, como mostra a Figura 24.

Para os ensaios de arrancamento normal às fibras, devido à geometria do corpo-de-prova ser em forma de T, foi necessário construir um dispositivo de ensaio que se adaptasse à máquina universal de ensaios, conforme mostra a Figura 24. Esse dispositivo permitiu que uma peça de madeira ficasse perpendicular a outra peça, sem o surgimento de excentricidades significativas.



**Figura 24** – Dispositivo para o ensaio de arrancamento normal às fibras

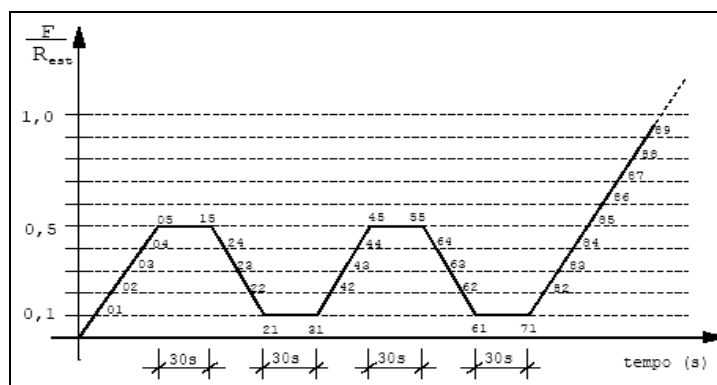
### 3.2.3 Procedimentos para a execução do ensaio da ligação

Para a determinação da resistência e da rigidez das ligações, nos ensaios das ligações por CDE, foram adotados os seguintes procedimentos em todos os doze modelos de ligações, de cada espécie de madeira:

Inicialmente estimou-se a força de ruptura ( $R_{est}$ ), aplicando-se uma força com velocidade constante da ordem de 0,10kN/s, através do ensaio monotônico e sem o uso dos relógios comparadores, e com a madeira saturada.

Na seqüência colocou-se um modelo de ligação, na máquina de ensaios, e, os relógios comparadores foram fixados no corpo-de-prova, com base de medida ( $L$ ) de 80mm, para os ensaios de arrancamento paralelo ou normal às fibras, e de 100mm, para os ensaios de cisalhamento ou tração da chapa.

Em seguida, aplicou-se uma força, no corpo-de-prova, a uma razão constante de vinte por cento da força estimada por minuto ( $0,20.R_{est}/min$ ), através do ensaio cíclico, de acordo com o Diagrama de Carregamento da Norma Brasileira (NBR-7190/97, p.84), apresentado na Figura 25.



**Figura 25** – Diagrama de carregamento para ensaio de ligação por CDE

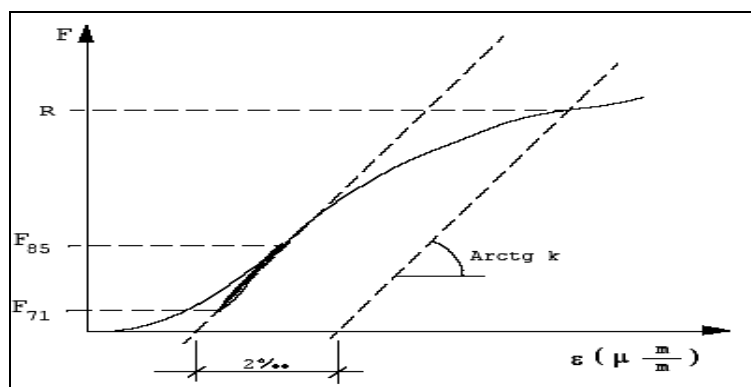
Fonte: (NBR-7190/97)

Através do ensaio cíclico, e, a partir do estágio no ponto 71 do Diagrama de carregamento, mediu-se o deslocamento da ligação, a cada incremento de força de, ao menos, dez por cento da força de ruptura estimada ( $0,10.R_{est}$ ). Quando a força aplicada atingiu, aproximadamente, setenta e cinco por cento da força de ruptura estimada ( $0,75.R_{est}$ ), retirou-se os relógios comparadores, e, em seguida, o corpo-de-prova foi levado à ruptura, obtendo-se a Força máxima do ensaio ( $F_{rupt}$ ).

### 3.2.4 Resistência das ligações

O Anexo C da Norma Brasileira (NBR-7190/97) define os métodos de ensaio para a determinação direta de resistência das ligações mecânicas por pinos metálicos, cavilhas, anéis metálicos e CDE.

No item C.7.2 do Anexo C da Norma Brasileira (NBR-7190/97, p.84), a resistência das ligações por CDE é definida pelo escoamento da chapa ou pelo início de arrancamento da chapa, ou por qualquer fenômeno de ruptura da madeira, não se tomando valor maior que a força aplicada ao corpo-de-prova, para uma deformação residual da ligação de 2‰, medida em uma base de referência padronizada. Para essa finalidade, a deformação residual da ligação é medida a partir da intersecção da reta secante, definida pelos pontos ( $F_{71}$ ;  $\epsilon_{71}$ ) e ( $F_{85}$ ;  $\epsilon_{85}$ ) do diagrama (força x deformação), representados pelos pontos 71 e 85 do Diagrama de Carregamento, mostrado na Figura 25. A partir dessa reta secante, constrói-se uma reta paralela e afastada de 2‰ até a intersecção do diagrama força x deformação da ligação. A força correspondente é definida como a resistência da ligação, simbolizada por (**R**), conforme a Figura 26.



**Figura 26** – Gráfico: Força x Deformação para a determinação da resistência (R)

Fonte: (NBR-7190/97)

### 3.2.5 Rigidez das ligações

A rigidez, de uma maneira ampla e geral, pode ser entendida como a resistência de um corpo a sofrer deformações quando submetido à ação de um determinado esforço.

Nesse sentido, a rigidez de um material arbitrário, com geometria normalizada e submetido a uma força axial, pode ser entendido como sendo o módulo de elasticidade longitudinal desse material (**E**), dada pela razão entre a tensão atuante e a deformação do corpo (**E=σ/ε**). Já a rigidez de uma viga de geometria arbitrária, constituída do mesmo material supracitado e submetida à flexão, é dada pelo produto do módulo de elasticidade longitudinal do material pelo momento de inércia de sua seção transversal (**E.I**), cuja altura é paralela à direção da força aplicada.

Dessa forma, a rigidez de uma ligação, por se tratar da capacidade das peças interligadas resistirem aos deslocamentos, sob aplicação de forças, pode ser representada pelo módulo de deslizamento dessa ligação (**k**), dado pela razão entre a força aplicada e o deslocamento, ambos na mesma direção, ou seja, (**F/u**) ou [**F/(ε.L)**].

O valor da rigidez ou módulo de deslizamento (**k**) é definido, segundo a Norma Brasileira (NBR-7190/97, p.84), pela inclinação, ou tangente, da reta afastada de 2‰ e paralela à reta secante, obtida no gráfico Força x Deformação apresentado na Figura 26.

A inclinação ou a tangente é obtida pela relação entre a Força aplicada (**F**) e o produto da deformação (**ε**) com a base de medida (**L**), utilizadas nos relógios comparadores, ou seja, **k = F/(ε.L)**.

## 4 ENSAIOS EXPERIMENTAIS

---

### 4.1 Abordagem quantitativa dos ensaios das ligações

Nos ensaios das ligações por CDE utilizaram-se, para cada espécie de madeira, doze modelos de corpo-de-prova, os quais representam os quatro modos de ruptura, apresentados na Tabela 2, que são: arrancamento paralelo ou normal às fibras; cisalhamento ou tração da chapa.

Para cada modelo de corpo-de-prova, repetiu-se o ensaio da seguinte forma: uma vez, para a determinação da força de ruptura estimada ( $R_{est}$ ), com as peças de madeira saturadas ( $U > 20\%$ ); três vezes, para a determinação da resistência e da rigidez das ligações, com as peças de madeira saturadas; e uma vez, para a determinação da resistência e da rigidez das ligações, com as peças de madeira com a umidade padrão de 12%, doravante denominada de madeira seca ( $U = 12\%$ ). Portanto, para cada modelo tiveram 5 repetições, logo, para os 12 modelos de corpo-de-prova, totalizaram-se 60 ensaios de ligação, para cada espécie de madeira. Considerando-se que são 3 espécies de madeira estudadas, totalizaram-se 180 ensaios de ligação por CDE.

Inicialmente estava previsto fazer o ensaio das ligações por CDE com todas as peças de madeira dos corpos-de-prova saturadas para, em seguida, corrigir os valores obtidos para a umidade padrão de 12%, de acordo com a equação apresentada no item C.7.5 da Norma Brasileira (NBR-7190/97, p.87). Porém, optou-se em fazer uma repetição, com as peças de madeira secas, no momento da prensagem da chapa e do ensaio, para as três espécies, com o objetivo de verificar o comportamento das ligações nesta condição e de ratificar a necessidade de majorar os valores da resistência, conforme preconiza a Norma Brasileira.

## 4.2 Ensaio de arrancamento paralelo às fibras

Nesse modo de ruptura foram ensaiados três modelos de corpo-de-prova, para cada espécie de madeira. A diferença desses modelos consiste nas diferentes posições das chapas em relação à direção da força aplicada, formando ângulos de:  $\alpha=0^\circ$ ;  $\alpha=45^\circ$  e  $\alpha=90^\circ$ .

O ensaio foi realizado, através da aplicação de uma força de tração no corpo-de-prova, cuja direção dessa força formou um ângulo  $\beta=0^\circ$ , em relação às fibras da madeira, conforme mostra a Figura 27. Os procedimentos para a execução dos ensaios, para esse modo de ruptura, foram descritos no item 3.2.3.



**Figura 27** – Ensaio de arrancamento paralelo às fibras

A velocidade de aplicação da força nos corpos-de-prova, nos três modelos de ensaio, foi da ordem de 0,05kN/s; 0,05kN/s e 0,07kN/s, para as espécies de madeira: pinus; eucalipto e cupiúba, respectivamente. A ruptura característica da ligação, para o ensaio de arrancamento paralelo às fibras, é mostrada na Figura 28.



**Figura 28** – Ruptura característica para o ensaio de arrancamento paralelo às fibras

As dimensões do conector CDE foram determinadas de forma que a ruptura ocorresse por arrancamento dos dentes da chapa, na peça de madeira, sem que houvesse a ruptura da madeira, por tração paralela às fibras da madeira, ou da chapa, por tração, em suas seções resistentes. A Tabela 3 apresenta as dimensões, em cm, e o número de dentes, em uma das chapas do par de conector CDE, para os três modelos de ensaio de arrancamento paralelo às fibras e para as três espécies de madeira.

**Tabela 3** – Dimensões (cm) e número de dentes em uma das chapas do par de conector: ensaio de arrancamento paralelo às fibras

ENSAIO DE ARRANCAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS (cm) $\beta = 0^\circ$						
ESPÉCIE	$\alpha = 0^\circ$	NºDENTES	$\alpha = 45^\circ$	NºDENTES	$\alpha = 90^\circ$	NºDENTES
Pinus	7x8	80	7x8	80	7x8	80
Eucalipto	7x8	80	7x8	80	7x8	80
Cupiúba	7x8	80	7x8	80	7x8	80

Considerando-se, nesse modo de ruptura, que são 3 modelos de corpo-de-prova, e que são 5 repetições para cada modelo, têm-se 15 ensaios para cada espécie. Para as 3 espécies estudadas totalizaram-se 45 ensaios de arrancamento paralelo às fibras.

### 4.3 Ensaio de arrancamento normal às fibras

Nesse modo de ruptura foram ensaiados três modelos de corpo-de-prova, para cada espécie de madeira. A diferença desses modelos consiste nas diferentes posições das chapas em relação à direção da força aplicada, formando ângulos de:  $\alpha=0^\circ$ ;  $\alpha=45^\circ$  e  $\alpha=90^\circ$ .

O ensaio foi realizado, através da aplicação de uma força de tração no corpo-de-prova, cuja direção dessa força formou um ângulo  $\beta=90^\circ$ , em relação às fibras da madeira, conforme mostra a Figura 29. Os procedimentos para a execução dos ensaios, para esse modo de ruptura, foram descritos no item 3.2.3.



**Figura 29** – Ensaio de arrancamento normal às fibras

A velocidade de aplicação da força nos corpos-de-prova, nos três modelos de ensaio, foi da ordem de 0,04kN/s; 0,05kN/s e 0,06kN/s, para as espécies de madeira: pinus; eucalipto e cupiúba, respectivamente. A ruptura característica da ligação, para o ensaio de arrancamento normal às fibras, é mostrada na Figura 30.



**Figura 30** – Ruptura característica para o ensaio de arrancamento normal às fibras

As dimensões do conector CDE foram determinadas de forma que a ruptura ocorresse por arrancamento dos dentes da chapa na peça de madeira, sem que houvesse a ruptura da madeira, por tração paralela ou normal às fibras da madeira, ou da chapa, por tração em suas seções resistentes. A Tabela 4 apresenta as dimensões, em cm, e o número de dentes, em uma das chapas do par de conector CDE, para os três modelos de ensaio de arrancamento normal às fibras e para as três espécies de madeira.

**Tabela 4** – Dimensões (cm) e número de dentes, em uma das chapas do par de conector: ensaio de arrancamento normal às fibras

ENSAIO DE ARRANCAMENTO NORMAL ÀS FIBRAS (cm)						$\beta = 90^\circ$
ESPÉCIE	$\alpha = 0^\circ$	N DENTES	$\alpha = 45^\circ$	N DENTES	$\alpha = 90^\circ$	N DENTES
Pinus	7x8	80	7x8	80	7x8	80
Eucalipto	7x8	80	7x8	80	7x8	80
Cupiúba	7x8	80	7x8	80	7x8	80

Considerando-se, nesse modo de ruptura, que são 3 modelos de corpo-de-prova, e que são 5 repetições para cada modelo, têm-se 15 ensaios para cada espécie. Para as 3 espécies estudadas totalizaram-se 45 ensaios de arrancamento normal às fibras.

#### 4.4 Ensaio de cisalhamento da chapa

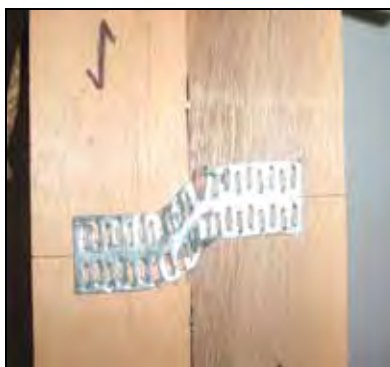
Nesse modo de ruptura foram ensaiados três modelos de corpo-de-prova, para cada espécie de madeira. A diferença desses modelos consiste nas diferentes posições das chapas em relação à direção da força aplicada, formando ângulos de:  $\alpha=0^\circ$ ;  $\alpha=45^\circ$  e  $\alpha=90^\circ$ .

O ensaio foi realizado, através da aplicação de uma força de compressão no corpo-de-prova, cuja direção dessa força formou um ângulo  $\beta=0^\circ$ , em relação às fibras da madeira, conforme mostra a Figura 31. Os procedimentos para a execução dos ensaios, para esse modo de ruptura, foram descritos no item 3.2.3.



**Figura 31** – Ensaio de cisalhamento da chapa

A velocidade de aplicação da força nos corpos-de-prova, nos três modelos de ensaio, foi da ordem de 0,05kN/s; 0,04kN/s e 0,08kN/s, para as espécies de madeira: pinus; eucalipto e cupiúba, respectivamente. A ruptura característica da ligação, para o ensaio de cisalhamento da chapa, é mostrada na Figura 32.



**Figura 32** – Ruptura característica para o ensaio de cisalhamento da chapa

As dimensões do conector CDE foram determinadas de forma que a ruptura ocorresse por cisalhamento ou escoamento do conector CDE, sem que houvesse o arrancamento dos dentes do conector na madeira do corpo-de-prova, ou a ruptura da madeira, por compressão paralela às fibras da madeira. A Tabela 5 apresenta as dimensões, em cm, e o número de dentes em uma das chapas do par de conector CDE, para os três modelos de ensaio de cisalhamento da chapa e para as três espécies de madeira.

**Tabela 5** – Dimensões e número de dentes em uma das chapas do par de conector:  
ensaio de cisalhamento da chapa

ENSAIO DE CISALHAMENTO DA CHAPA (cm) $\beta = 0^\circ$						
ESPÉCIE	$\alpha = 0^\circ$	Nº DENTES	$\alpha = 45^\circ$	Nº DENTES	$\alpha = 90^\circ$	Nº DENTES
Pinus	14x4	85	4x20	120	3,5x20	105
Eucalipto	14x3,5	80	3,5x20	105	3,5x20	105
Cupiúba	14x6	85	7x20	210	7x20	210

A Tabela 6 apresenta o comprimento de ruptura, em cm, em uma das chapas do par de conector CDE, para os três modelos de ensaio de cisalhamento da chapa e para as três espécies de madeira.

**Tabela 6** – Comprimento de ruptura (cm) em uma das chapas do par de conector:  
ensaio de cisalhamento da chapa

ENSAIO DE CISALHAMENTO DA CHAPA $L_{rup}$ (cm) $\beta = 0^\circ$			
ESPÉCIE	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 90^\circ$
Pinus	4,0	5,5	3,5
Eucalipto	3,5	5,3	3,5
Cupiúba	6,0	10,0	7,0

Considerando-se, nesse modo de ruptura, que são 3 modelos de corpo-de-prova, e que são 5 repetições para cada modelo, têm-se 15 ensaios para cada espécie. Para as 3 espécies estudadas totalizaram-se 45 ensaios de cisalhamento da chapa.

## 4.5 Ensaio de tração da chapa

Nesse modo de ruptura foram ensaiados três modelos de corpo-de-prova, para cada espécie de madeira. A diferença desses modelos consiste nas diferentes posições das chapas em relação à direção da força aplicada, formando ângulos de:  $\alpha=0^\circ$ ;  $\alpha=45^\circ$  e  $\alpha=90^\circ$ .

O ensaio foi realizado, através da aplicação de uma força de tração no corpo-de-prova, cuja direção dessa força formou um ângulo  $\beta=0^\circ$ , em relação às fibras da madeira, conforme mostra a Figura 33. Os procedimentos para a execução dos ensaios, para esse modo de ruptura, foram descritos no item 3.2.3.



**Figura 33** – Ensaio de tração da chapa

A velocidade de aplicação da força nos corpos-de-prova, nos três modelos de ensaio, foi da ordem de 0,06kN/s; 0,06kN/s e 0,10kN/s, para as espécies de madeira: pinus; eucalipto e cupiúba, respectivamente. A ruptura característica da ligação, para o ensaio de tração da chapa, é mostrada na Figura 34.



**Figura 34** – Ruptura característica para o ensaio de tração da chapa

As dimensões do conector CDE foram determinadas de forma que a ruptura ocorresse por tração ou escoamento do conector CDE, sem que houvesse o arrancamento dos dentes do conector, na madeira do corpo-de-prova, ou a ruptura da madeira, por tração paralela às fibras da madeira. A Tabela 7 apresenta as dimensões, em cm, e o número de dentes, em uma das chapas do par de conector CDE, para os três modelos de ensaio de tração da chapa e para as três espécies.

**Tabela 7** – Dimensão e número de dentes em uma das chapas do par de conector:  
ensaio de tração da chapa

ESPÉCIE	ENSAIO DE TRAÇÃO DA CHAPA (cm)				$\beta = 0^\circ$	
	$\alpha = 0^\circ$	Nº DENTES	$\alpha = 45^\circ$	Nº DENTES	$\alpha = 90^\circ$	Nº DENTES
Pinus	3,5x24	125	4x12,5	80	14 x4	85
Eucalipto	3,5x24	125	3,5x14	80	12,5x5	95
Cupiúba	5x16	120	7x14	150	8x11	90

A Tabela 8 apresenta o comprimento de ruptura, em cm, em uma das chapas do par de conector CDE, para os três modelos de ensaio de tração da chapa e para as três espécies de madeira.

**Tabela 8** – Comprimento de ruptura (cm) em uma das chapas do par de conector:  
ensaio de tração da chapa

ESPÉCIE	ENSAIO DE TRAÇÃO DA CHAPA		$L_{rup}$ (cm)	$\beta = 0^\circ$
	$\alpha = 0^\circ$	$\alpha = 45^\circ$		$\alpha = 90^\circ$
Pinus	3,5	3,5		3,8
Eucalipto	3,5	5,0		3,8
Cupiúba	4,5	10,0		8,0

Considerando-se, nesse modo de ruptura, que são 3 modelos de corpo-de-prova, e que são 5 repetições para cada modelo, têm-se 15 ensaios para cada espécie. Para as 3 espécies estudadas totalizaram-se 45 ensaios de tração da chapa.

## 5 RESULTADOS

---

### 5.1 Resultados dos ensaios de caracterização das madeiras

Os resultados dos ensaios de caracterização das propriedades, física e mecânica, das madeiras utilizadas nos ensaios de ligação por CDE, com a umidade acima de 20%, para as três espécies de madeira Pinus Bahamensis, Eucalipto Grandis e Cupiúba estão apresentados, respectivamente, nas Tabelas 9, 10 e 11.

**Tabela 9** – Resultados: Caracterização física e mecânica da madeira pinus

CP U>20%	$f_{co}$ MPa	$E_{co}$ MPa	$f_{vo}$ MPa	$\rho_{bas}$ kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{ap}$ kg/m <sup>3</sup>
01	16,7	8320	4,3	367	434
02	22,7	6372	2,5	576	691
03	22,7	7650	3,7	437	511
04	28,3	9983	4,5	548	659
05	32,1	6680	7,0	367	433
06	33,3	5197	2,7	449	520

**Tabela 10** – Resultados: Caracterização física e mecânica da madeira eucalipto

CP U>20%	$f_{co}$ MPa	$E_{co}$ MPa	$f_{vo}$ MPa	$\rho_{bas}$ kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{ap}$ kg/m <sup>3</sup>
01	26,8	5919	4,48	465	544
02	27,6	6540	5,79	477	547
03	31,7	7096	4,64	431	498
04	34,4	8899	5,48	463	535
05	22,7	10012	5,96	482	561
06	24,9	11023	3,49	432	500

**Tabela 11** – Resultados: Caracterização física e mecânica da madeira cupiúba

CP U>20%	$f_{co}$ MPa	$E_{co}$ MPa	$f_{vo}$ MPa	$\rho_{bas}$ kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{ap}$ kg/m <sup>3</sup>
01	40,8	13237	8,4	726	830
02	42,0	13934	8,5	732	811
03	42,8	14357	8,5	753	884
04	43,0	14678	8,7	711	817
05	43,2	14211	8,9	729	840
06	43,2	15531	9,2	679	904

Os valores característicos da resistência à compressão ( $f_{cok}$ ) e ao cisalhamento ( $f_{vok}$ ), para as três espécies de madeira, com a força de aplicação paralela às fibras da madeira, foram determinados inserindo-se os valores das Tabelas 9, 10 e 11, respectivamente a cada espécie de madeira, na equação (3), que está de acordo com os procedimentos especificados no item 6.4.8 da Norma Brasileira (NBR-7190/97, p.18).

$$X_k = \left( 2 \cdot \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - X_{\frac{n}{2}} \right) \cdot 1,1 \quad (3)$$

Onde ( $X_k$ ) é o valor da resistência característica à compressão ( $f_{cok}$ ) ou ao cisalhamento ( $f_{vok}$ ), ( $n$ ) é o número de corpos-de-prova ensaiados. Os valores dos resultados dos ensaios de resistência são colocados em ordem crescente; se ( $n$ ) for ímpar, despreza-se o maior valor. Não se considera para  $X_k$  valor inferior a  $X_1$  e nem setenta por cento do valor médio ( $0,7 \cdot X_m$ ).

Os valores característicos, para cada espécie de madeira, da resistência à compressão e ao cisalhamento, com a força aplicada paralelamente às fibras da madeira dos corpos-de-prova, e do módulo de elasticidade médio, foram corrigidos para a umidade padrão de 12%, conforme as equações (4) e (5), as quais estão de acordo com a especificação da Norma Brasileira (NBR-7190/97, p.14). Considerou-se, nessas equações, a umidade de vinte por cento (U=20%), para a madeira saturada, pois, acima desse valor, não há variação significativa nos resultados.

Para a resistência característica à compressão e ao cisalhamento com a aplicação da força paralela às fibras da madeira, segundo o item 6.2.1 da Norma Brasileira (NBR-7190/97), tem-se a equação:

$$f_{12} = f_{U\%} \cdot \left[ 1 + \frac{3 \cdot (U\% - 12)}{100} \right] \quad (4)$$

Para o módulo de elasticidade longitudinal da madeira, segundo o item 6.2.1 da Norma Brasileira (NBR-7190/97), tem-se a equação:

$$E_{12} = E_{U\%} \cdot \left[ 1 + \frac{2 \cdot (U\% - 12)}{100} \right] \quad (5)$$

A Tabela 12 apresenta os valores médios da massa específica básica e aparente, e também, os valores do módulo de elasticidade longitudinal e da resistência característica ao cisalhamento e à compressão, com a força paralela às fibras da madeira, calculados e corrigidos para a umidade padrão de 12%. Nessa Tabela, foi definida a classe de resistência para cada uma das três espécies de madeira utilizadas nos ensaios da ligação por CDE, e o coeficiente de variação (CV), que é definido como um número que avalia percentualmente o desvio padrão em relação à média.

**Tabela 12** – Resultados: Agrupamento das classes de resistência

ESPÉCIES	$\rho_{bas}$ kg/m <sup>3</sup>	$\rho_{ap}$ kg/m <sup>3</sup>	$E_{c o m}$ MPa	$f_{v o k}$ MPa	$f_{c o k}$ MPa	CV %	Classe
Pinus Bahamensis	457	541	8325	3,4	22,8	18,0	20
Eucalipto Grandis	458	531	9568	5,0	31,0	15,5	30
Cupiúba	722	848	16616	9,9	56,5	22,0	40

## 5.2 Resultados dos ensaios das ligações por CDE

Nas quatro repetições, dos doze modelos de ensaio da ligação por CDE, e de cada espécie de madeira, foram medidos os deslocamentos na ligação, através da leitura dos dois relógios comparadores e, esses valores lidos, foram inseridos em uma Planilha de Ensaio, contendo as três repetições com as peças de madeira saturadas e uma repetição com as peças de madeira seca. A Figura 35 mostra essa planilha. Nesta planilha também foram inseridos os parâmetros pertinentes a cada modelo de ensaio, tais como: a força de ruptura estimada; a espécie de madeira; os ângulos  $\alpha$  e  $\beta$ ; o tamanho e o número de dentes da chapa; a base de medida do relógio comparador; o comprimento de ruptura para os ensaios de cisalhamento e tração da chapa; a velocidade de aplicação da força e a data em que foram ensaiados cada modelo de corpo-de-prova.

unesp		UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"		LABORATÓRIO DE ENGENHARIA CIVIL					
Espécie	$\beta =$	$\alpha =$	cm x cm	dentes	L =	L rup =	V ens. kN/s	f	f
Modelo	CP 1	U > 20%	CP 2	U > 20%	CP 3	U > 20%	U = 12%		
Força (kN)	relógio1 (mm)	relógio2 (mm)	relógio1 (mm)	relógio2 (mm)	relógio1 (mm)	relógio2 (mm)	relógio1 (mm)	relógio2 (mm)	
0,50									
1,00									
1,50									
2,00									
2,50									
3,00									
..									
.									
.									
17,50									
18,00									
18,50									
19,00									
19,50									
20,00									
R estimada	Fruptura : kN		Fruptura : kN		Fruptura : kN		Fruptura : kN		

Figura 35 – Modelo de Planilha de Ensaio das ligações

Os valores das forças e dos deslocamentos, e dos parâmetros, inseridos na Planilha de Ensaio, foram colocados numa Tabela Excel, pela qual foram calculadas a deformação específica, a resistência e a rigidez das ligações por CDE para cada repetição dos modelos, conforme os procedimentos estabelecidos nos itens 3.2.4 e 3.2.5 deste trabalho. Os valores da resistência e da rigidez da ligação por CDE, de cada modelo de ensaio de ligação e para as três repetições do modelo, com as peças de madeira, saturadas, estão apresentadas nas Tabelas 13, 14 e 15, de acordo com as espécies de madeira Pinus, Eucalipto e Cupiúba, respectivamente.

**Tabela 13** – Resultados: Modelos de ligação por CDE com Pinus Bahamensis

PINUS	U > 20%								
	RESISTÊNCIA (R)				MODO DE RUPTURA	RIGIDEZ (k)			
	CP1	CP2	CP3	MÉDIA		CP1	CP2	CP3	MÉDIA
MODELOS	kN	kN	kN	kN	kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	
A <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	9,10	8,00	8,60	8,57	arrancamento	23,00	21,20	23,50	22,57
A <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	9,20	8,50	8,10	8,60	arrancamento	32,30	34,70	31,90	32,97
A <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	8,20	8,40	9,00	8,53	arrancamento	28,70	29,60	29,80	29,37
A <sub>90</sub> C <sub>0</sub>	4,10	6,10	6,70	5,63	madeira	12,00	11,60	14,30	12,63
A <sub>90</sub> C <sub>45</sub>	9,20	6,10	6,90	7,40	madeira	13,60	12,80	14,60	13,67
A <sub>90</sub> C <sub>90</sub>	7,60	6,80	6,70	7,03	madeira	13,00	8,90	14,20	12,03
V <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	4,30	3,50	2,90	3,57	escoamento e arrancamento	4,80	3,00	3,60	3,80
V <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	4,00	4,80	4,90	4,57	escoamento e arrancamento	5,50	4,80	3,40	4,57
V <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	3,10	2,70	4,50	3,43	escoamento e arrancamento	2,80	2,60	3,60	3,00
T <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	13,40	12,80	13,80	13,33	tração	25,30	29,20	34,20	29,57
T <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	8,40	8,30	6,70	7,80	escoamento e tração	19,70	16,70	15,30	17,23
T <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	7,50	8,00	6,90	7,47	escoamento e tração	20,00	18,70	17,20	18,63

**Tabela 14** – Resultados: Modelos de ligação por CDE com Eucalipto Grandis

EUCALIPTO	U > 20%								
	RESISTÊNCIA (R)				MODO DE RUPTURA	RIGIDEZ (k)			
	CP1	CP2	CP3	MÉDIA		CP1	CP2	CP3	MÉDIA
MODELOS	kN	kN	kN	kN	kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	
A <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	10,10	9,30	11,50	10,30	arrancamento	29,90	33,40	30,00	31,10
A <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	7,60	9,50	9,00	8,70	arrancamento	28,10	26,60	30,30	28,33
A <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	7,40	8,40	11,00	8,93	arrancamento	32,30	35,90	38,40	35,53
A <sub>90</sub> C <sub>0</sub>	5,60	5,40	8,30	6,43	madeira	11,80	16,30	16,80	14,97
A <sub>90</sub> C <sub>45</sub>	6,00	7,70	8,30	7,33	madeira	13,30	15,40	17,20	15,30
A <sub>90</sub> C <sub>90</sub>	7,30	8,50	8,20	8,00	madeira	15,80	17,60	16,60	16,67
V <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	5,00	7,50	5,40	5,90	cisalhamento	3,30	5,60	4,40	4,43
V <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	6,00	5,90	6,00	5,97	cisalhamento	5,00	6,60	7,80	6,47
V <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	5,60	5,80	5,40	5,60	cisalhamento	4,00	4,20	4,10	4,10
T <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	13,30	13,30	12,40	13,00	tração	32,40	39,60	30,20	34,07
T <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	10,10	10,80	12,30	11,07	tração	17,90	19,70	20,20	19,27
T <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	7,30	7,40	9,00	7,90	tração	18,10	23,50	27,70	23,10

**Tabela 15** – Resultados: Modelos de ligação por CDE com Cupiúba

CUPIÚBA	U > 20%								
	RESISTÊNCIA (R)				MODO DE RUPTURA	RIGIDEZ (k)			
	CP1	CP2	CP3	MÉDIA		CP1	CP2	CP3	MÉDIA
MODELOS	kN	kN	kN	kN		kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm
A <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	17,00	17,50	17,00	17,17	arrancamento	74,00	76,50	80,50	77,00
A <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	15,80	15,00	15,20	15,33	arrancamento	71,60	66,90	73,00	70,50
A <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	13,50	13,70	14,00	13,73	arrancamento	76,20	77,00	79,00	77,40
A <sub>90</sub> C <sub>0</sub>	12,50	14,00	14,00	13,50	arrancamento	27,70	30,10	30,20	29,33
A <sub>90</sub> C <sub>45</sub>	12,00	11,60	11,50	11,70	arrancamento	26,90	25,90	27,60	26,80
A <sub>90</sub> C <sub>90</sub>	7,00	7,00	8,00	7,33	arrancamento e madeira	33,20	34,00	29,30	32,17
V <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	9,50	10,50	9,20	9,73	cisalhamento	11,50	9,60	11,70	10,93
V <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	18,00	18,80	18,00	18,27	cisalhamento	13,50	12,30	15,90	13,90
V <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	13,50	13,20	13,00	13,23	cisalhamento	9,40	9,00	11,10	9,83
T <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	18,50	18,20	18,70	18,47	tração	58,80	74,70	71,30	68,27
T <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	17,00	18,50	18,20	17,90	tração	67,70	77,30	76,50	73,83
T <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	25,60	25,30	26,00	25,63	tração	115,70	112,60	114,70	114,33

Considerando-se **um par** de conectores, estampados em **uma das peças** da ligação, têm-se, nas Tabelas 16, 17 e 18, os resultados dos valores médios da força de ruptura, da resistência e da rigidez, das ligações por CDE, para os 12 modelos de ensaio, com as peças dos corpos-de-prova saturadas (U>20%) e secas (U=12%), e para as três espécies de madeira: Pinus, Eucalipto e Cupiúba, respectivamente.

Os valores médios da resistência e da rigidez, de cada modelo ensaiado com as peças de madeira saturadas, apresentados nas Tabelas 16, 17 e 18, foram obtidos através da média dos deslocamentos, medidos nas três repetições dos ensaios, diferenciando-se um pouco, dos valores apresentados das Tabelas 13, 14 e 15, que foram obtidos pela média das resistências e rigidezes, referentes as três repetições dos modelos ensaiados, com as peças de madeira saturadas.

No Apêndice estão os gráficos de resistência em função da deformação específica e os gráficos de rigidez em função da deformação específica, para as três espécies de madeira e para os quatro modos de ruptura da ligação por CDE, com as peças de madeira secas ou saturadas.

**Tabela 16** – Resultados com Pinus Bahamensis: para um par de conectores estampados em uma das peças da ligação por CDE

PINUS BAHAMENSIS	CHAPA	Nº dentes ou L RUPTURA	U > 20%						U = 12%					
			RUPTURA		RESISTÊNCIA		RIGIDEZ		RUPTURA		RESISTÊNCIA		RIGIDEZ	
			Frup	R	R	kN/dente ou kN/cm	k	Frup	R	R	kN/dente ou kN/cm	k		
			kN	kN	kN/dente ou kN/cm	kN/mm	kN	kN	kN/cm	kN/mm				
<b>Arrancamento (<math>\beta = 0^\circ</math>) L = 8 cm</b>														
$\alpha = 0^\circ$	7X8	80 dentes	12,30	8,50	0,11	22,50	17,20	13,00	0,16			36,10		
$\alpha = 45^\circ$	7X8	80 dentes	11,20	8,40	0,11	32,50	15,30	11,00	0,14			29,80		
$\alpha = 90^\circ$	7X8	80 dentes	10,90	8,30	0,10	30,60	14,80	11,80	0,15			28,50		
<b>Arrancamento (<math>\beta = 90^\circ</math>) L = 7,5 cm</b>														
$\alpha = 0^\circ$	7X8	80 dentes	6,70	6,20	0,08	14,00	7,20	6,50	0,08			14,90		
$\alpha = 45^\circ$	7X8	80 dentes	7,90	6,40	0,08	13,60	13,40	9,50	0,12			15,70		
$\alpha = 90^\circ$	7X8	80 dentes	8,60	7,00	0,09	13,50	10,40	8,40	0,11			17,20		
<b>Cisalhamento (<math>\beta = 0^\circ</math>) L = 10 cm</b>														
$\alpha = 0^\circ$	14X3,8	7,6 cm	6,00	3,70	0,49	3,70	9,40	5,70	0,75			4,30		
$\alpha = 45^\circ$	3,7X19,5	10,6 cm	6,60	4,50	0,42	4,40	8,10	6,80	0,64			5,30		
$\alpha = 90^\circ$	3,3X19,5	6,6 cm	5,10	3,30	0,50	2,90	6,20	4,60	0,70			4,20		
<b>Tração da chapa (<math>\beta = 0^\circ</math>) L = 10 cm</b>														
$\alpha = 0^\circ$	3,5X23,5	7,0 cm	18,00	13,50	1,93	29,30	14,70	9,50	1,36			19,70		
$\alpha = 45^\circ$	12,5X4	10,0 cm	11,80	7,80	0,78	16,40	12,50	9,60	0,96			18,40		
$\alpha = 90^\circ$	14X3,8	7,6 cm	11,10	7,40	0,97	18,50	13,40	10,00	1,32			27,10		

**Tabela 17 – Resultados com Eucalipto Grandis: para um par de conectores estampados em uma das peças da ligação por CDE**

EUCALIPTO GRANDIS	CHAPA	Nº dentes ou L RUPTURA	U > 20%						U = 12%					
			RUPTURA		RESISTÊNCIA		RIGIDEZ	RUPTURA		RESISTÊNCIA		RIGIDEZ		
			Frup	R	R	kN/dente ou kN/cm	k	Frup	R	R	kN/dente ou kN/cm	k		
			kN	kN	kN/cm	kN/mm	kN	kN	kN/cm	kN/cm	kN/mm			
<b>Arrancamento (<math>\beta = 0^\circ</math>) L = 8 cm</b>														
$\alpha = 0^\circ$	7X8	80 dentes	14,70	10,50	0,13	30,00	16,00	11,50	0,14	33,60				
$\alpha = 45^\circ$	7X8	80 dentes	13,10	8,80	0,11	27,30	13,60	9,60	0,12	33,90				
$\alpha = 90^\circ$	7X8	80 dentes	11,80	8,50	0,11	34,60	14,20	10,70	0,13	33,00				
<b>Arrancamento (<math>\beta = 90^\circ</math>) L = 7,5 cm</b>														
$\alpha = 0^\circ$	7X8	80 dentes	7,60	6,00	0,08	14,40	8,80	8,20	0,10	20,10				
$\alpha = 45^\circ$	7X8	80 dentes	3,30	7,10	0,09	17,70	11,60	8,00	0,10	14,20				
$\alpha = 90^\circ$	7X8	80 dentes	10,10	8,00	0,10	16,20	9,80	8,10	0,10	15,70				
<b>Cisalhamento (<math>\beta = 0^\circ</math>) L = 10 cm</b>														
$\alpha = 0^\circ$	14X3,5	7,0 cm	8,90	5,40	0,77	4,40	9,00	5,30	0,76	3,40				
$\alpha = 45^\circ$	3,5X19,5	10,6 cm	7,70	6,10	0,58	6,50	7,80	6,50	0,61	5,40				
$\alpha = 90^\circ$	3,5X19,5	7,4 cm	9,50	5,70	0,77	4,20	10,00	5,60	0,76	6,60				
<b>Tração da chapa (<math>\beta = 0^\circ</math>) L = 10 cm</b>														
$\alpha = 0^\circ$	3,5X23,5	7,0 cm	17,30	13,10	1,87	33,50	17,40	13,80	1,97	33,50				
$\alpha = 45^\circ$	14X3,5	10,0 cm	17,00	11,30	1,13	20,20	18,60	13,00	1,30	28,10				
$\alpha = 90^\circ$	12,5X5	7,6 cm	10,70	7,70	1,01	22,60	13,50	8,70	1,14	19,10				

**Tabela 18** – Resultados com Cupiúba: para um par de conectores estampados em uma das peças da ligação por CDE

CUIÚBA	CHAPA	Nº dentes ou L RUPTURA	U > 20%						U = 12%							
			RUPTURA		RESISTÊNCIA		RIGIDEZ		RUPTURA		RESISTÊNCIA		RIGIDEZ			
			Frup	R	R	kN/dente ou kN/cm	k	Frup	R	R	kN/dente ou kN/cm	k	Frup	R	R	kN/dente ou kN/cm
			kN	kN	kN/cm	kN/mm	kN/mm	kN	kN	kN/cm	kN	kN/cm	kN	kN	kN/cm	kN/cm
<b>Arrancamento (<math>\beta = 0^\circ</math>) L = 8 cm</b>																
$\alpha = 0^\circ$	7X8	80 dentes	22,00	18,50	0,23	80,80	19,40	14,50	0,18	55,00						
$\alpha = 45^\circ$	7X8	80 dentes	19,60	15,50	0,19	74,10	19,30	15,40	0,19	74,50						
$\alpha = 90^\circ$	7X8	80 dentes	14,90	13,40	0,17	80,90	14,90	13,00	0,16	53,40						
<b>Arrancamento (<math>\beta = 90^\circ</math>) L = 7,5 cm</b>																
$\alpha = 0^\circ$	7X8	80 dentes	8,30	7,80	0,10	30,70	12,80	11,50	0,14	24,80						
$\alpha = 45^\circ$	7X8	80 dentes	12,80	11,70	0,15	27,10	17,10	14,00	0,18	31,80						
$\alpha = 90^\circ$	7X8	80 dentes	14,20	13,00	0,16	28,80	13,60	13,00	0,16	27,70						
<b>Cisalhamento (<math>\beta = 0^\circ</math>) L = 10 cm</b>																
$\alpha = 0^\circ$	14X6	12,0 cm	15,40	10,70	0,89	10,10	13,80	9,90	0,83	10,30						
$\alpha = 45^\circ$	7X20	20,0 cm	18,20	15,70	0,79	14,80	18,30	18,20	0,91	5,00						
$\alpha = 90^\circ$	7X20	14,0 cm	20,70	12,40	0,89	9,40	18,60	13,50	0,96	27,10						
<b>Tração da chapa (<math>\beta = 0^\circ</math>) L = 10 cm</b>																
$\alpha = 0^\circ$	5X16	9,0 cm	24,50	18,40	2,04	66,10	24,40	19,00	2,11	54,80						
$\alpha = 45^\circ$	7X14	20,0 cm	22,50	17,20	0,86	76,30	25,30	18,50	0,93	66,30						
$\alpha = 90^\circ$	8X11	16,0 cm	33,50	26,80	1,68	116,00	32,80	27,30	1,71	96,60						

## 6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

---

### 6.1 Critérios adotados para a Análise dos Resultados

A análise dos resultados, dos ensaios da ligação por CDE, fez-se através das análises estatística e comparativa, utilizando-se de gráficos e tabelas, que foram confeccionados em função dos modos de ruptura, das espécies de madeira e da posição das chapas.

A análise estatística consiste na verificação da variabilidade dos valores da resistência ou da rigidez, obtidos nos ensaios repetidos, em relação à sua média. Nessa análise determinou-se o coeficiente de variação (CV), obtido pela razão entre o valor do desvio padrão e a média.

A análise comparativa é composta de três análises, definidas a seguir:

A primeira análise compara os resultados da resistência e da rigidez obtidos em relação às três posições do par de chapas na ligação e à umidade das peças de madeira, nos corpos-de-prova.

A segunda análise compara os valores da resistência e da rigidez da ligação, dentro de cada modelo de ensaio, em relação às três espécies da madeira.

A última análise compara os valores da resistência e da rigidez, para cada modo de ruptura e com a chapa a 45°, em relação aos valores teóricos, calculados através da Fórmula de Hankinson, apresentada no item 7.2.9 da Norma Brasileira (NBR-7190/97, p.22), conforme a equação (6).

$$f_{45} = \frac{f_0 \times f_{90}}{f_0 \cdot \text{sen}^2 45^\circ + f_{90} \cdot \text{cos}^2 45^\circ} \quad (6)$$

## 6.2 Análise estatística

Em cada modo de ruptura das ligações por CDE, apresentado nos próximos quatro subitens, fez-se algumas considerações referentes aos valores do coeficiente de variação, através de Tabelas, com dados estatísticos.

### 6.2.1 Análise estatística: Arrancamento paralelo às fibras

Para o ensaio de arrancamento paralelo às fibras, apresentam-se nas Tabelas 19 e 20, respectivamente, os valores estatísticos da resistência e da rigidez das ligações, referente à cada modelo de ensaio e às três espécies de madeira, saturada.

**Tabela 19** – Arrancamento paralelo às fibras: Análise estatística da Resistência

ARRANCAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS		U > 20%					
		RESISTÊNCIA ( R )					
		CP1	CP2	CP3	MÉDIA	DESVIO	CV
		kN	kN	kN	kN	$\sigma$	%
Pinus	A <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	9,10	8,00	8,60	8,57	0,55	6,43
	A <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	9,20	8,50	8,10	8,60	0,56	6,47
	A <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	8,20	8,40	9,00	8,53	0,42	4,88
Eucalipto	A <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	10,10	9,30	11,50	10,30	1,11	10,81
	A <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	7,60	9,50	9,00	8,70	0,98	11,32
	A <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	7,40	8,40	11,00	8,93	1,86	20,80
Cupiúba	A <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	17,00	17,50	17,00	17,17	0,29	1,68
	A <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	15,80	15,00	15,20	15,33	0,42	2,72
	A <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	13,50	13,70	14,00	13,73	0,25	1,83

A resistência da ligação, de acordo com a Tabela 19, apresentou um coeficiente de variação abaixo de 7,0%, para os modelos de ensaio com as espécies de madeira Pinus e Cupiúba. Já para a espécie Eucalipto, o coeficiente é da ordem de 11%, exceto para o modelo A<sub>0</sub>C<sub>90</sub>.

**Tabela 20** – Arrancamento paralelo às fibras: Análise estatística da Rigidez

ARRANCAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS		U > 20%					
		RIGIDEZ (k)					
		CP1	CP2	CP3	MÉDIA	DESVIO	CV
		kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	$\sigma$	%
Pinus	A <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	23,00	21,20	23,50	22,57	1,21	5,36
	A <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	32,30	34,70	31,90	32,97	1,51	4,59
	A <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	28,70	29,60	29,80	29,37	0,59	2,00
Eucalipto	A <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	29,90	33,40	30,00	31,10	1,99	6,41
	A <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	28,10	26,60	30,30	28,33	1,86	6,57
	A <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	32,30	35,90	38,40	35,53	3,07	8,63
Cupiúba	A <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	74,00	76,50	80,50	77,00	3,28	4,26
	A <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	71,60	66,90	73,00	70,50	3,20	4,53
	A <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	76,20	77,00	79,00	77,40	1,44	1,86

A rigidez da ligação, de acordo com a Tabela 20, apresentou um coeficiente de variação abaixo de 6,5% para as três espécies de madeira, exceto para a espécie Eucalipto, com o modelo de ensaio A<sub>0</sub>C<sub>90</sub>.

Neste modo de ruptura, os valores do coeficiente de variação, apresentaram valores, de modo geral, baixos, mostrando com isso, uma razoável eficácia nos ensaios de arrancamento paralelo às fibras, para as três espécies de madeira, saturada.

## 6.2.2 Análise estatística: Arrancamento normal às fibras

Para o ensaio de arrancamento normal às fibras, apresentam-se nas Tabelas 21 e 22, respectivamente, os valores estatísticos da resistência e da rigidez das ligações, referente à cada modelo de ensaio, e às três espécies de madeira, saturada.

**Tabela 21** – Arrancamento normal às fibras: Análise estatística da Resistência

ARRANCAMENTO  NORMAL ÀS FIBRAS		U > 20%					
		RESISTÊNCIA ( R )					
		CP1	CP2	CP3	MÉDIA	DESVIO	CV
		kN	kN	kN	kN	$\sigma$	%
Pinus	A <sub>90</sub> C <sub>0</sub>	4,10	6,10	6,70	5,63	1,36	24,17
	A <sub>90</sub> C <sub>45</sub>	9,20	6,10	6,90	7,40	1,61	21,75
	A <sub>90</sub> C <sub>90</sub>	7,60	6,80	6,70	7,03	0,49	7,01
Eucalipto	A <sub>90</sub> C <sub>0</sub>	5,60	5,40	8,30	6,43	1,62	25,18
	A <sub>90</sub> C <sub>45</sub>	6,00	7,70	8,30	7,33	1,19	16,27
	A <sub>90</sub> C <sub>90</sub>	7,30	8,50	8,20	8,00	0,62	7,81
Cupiúba	A <sub>90</sub> C <sub>0</sub>	7,00	7,00	8,00	7,33	0,58	7,87
	A <sub>90</sub> C <sub>45</sub>	12,00	11,60	11,50	11,70	0,26	2,26
	A <sub>90</sub> C <sub>90</sub>	12,50	14,00	14,00	13,50	0,87	6,42

A resistência da ligação, de acordo com a Tabela 21, apresentou um coeficiente de variação abaixo de 8,0%, somente para a espécie de madeira Cupiúba. As espécies Pinus e Eucalipto apresentaram um coeficiente da ordem de 25,0%, exceto para o modelo de ensaio A<sub>90</sub>C<sub>90</sub>, dessas espécies.

Esse coeficiente da ordem de 25,0%, apresentado nos modelos das espécies Pinus e Eucalipto, ocorreu possivelmente devido ao fato de ter havido a ruptura da madeira por tração normal às fibras da madeira, e não o arrancamento dos dentes com a força de aplicação normal às fibras da madeira, como era previsto.

**Tabela 22** – Arrancamento normal às fibras: Análise estatística da Rigidez

ARRANCAMENTO NORMAL ÀS FIBRAS		U > 20%					
		RIGIDEZ (k)					
		CP1	CP2	CP3	MÉDIA	DESVIO	CV
		kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	$\sigma$	%
Pinus	A <sub>90</sub> C <sub>0</sub>	12,00	11,60	14,30	12,63	1,46	11,53
	A <sub>90</sub> C <sub>45</sub>	13,60	12,80	14,60	13,67	0,90	6,60
	A <sub>90</sub> C <sub>90</sub>	13,00	8,90	14,20	12,03	2,78	23,09
Eucalipto	A <sub>90</sub> C <sub>0</sub>	11,80	16,30	16,80	14,97	2,75	18,40
	A <sub>90</sub> C <sub>45</sub>	13,30	15,40	17,20	15,30	1,95	12,76
	A <sub>90</sub> C <sub>90</sub>	15,80	17,60	16,60	16,67	0,90	5,41
Cupiúba	A <sub>90</sub> C <sub>0</sub>	27,70	30,10	30,20	29,33	1,42	4,83
	A <sub>90</sub> C <sub>45</sub>	26,90	25,90	27,60	26,80	0,85	3,19
	A <sub>90</sub> C <sub>90</sub>	33,20	34,00	29,30	32,17	2,51	7,82

A rigidez da ligação, de acordo com a Tabela 22, apresentou um coeficiente de variação abaixo de 8%, para os modelos de ensaio com a espécie Cupiúba. Já para as espécies Pinus e Eucalipto o coeficiente é da ordem de 13%, exceto para o modelo de ensaio A<sub>90</sub>C<sub>90</sub> da espécie Pinus, onde o coeficiente é de 23,0%.

Neste modo de ruptura, os valores do coeficiente de variação, apresentaram valores com maior amplitude, em todos os modelos de ensaio de arrancamento normal às fibras.

### 6.2.3 Análise estatística: Cisalhamento da chapa

Para o ensaio de cisalhamento da chapa, apresentam-se, nas Tabelas 23 e 24, respectivamente, os valores estatísticos da resistência e da rigidez das ligações, referente à cada modelo de ensaio, e às três espécies de madeira, saturada.

**Tabela 23** – Cisalhamento da chapa: Análise estatística da Resistência

CISALHAMENTO DA CHAPA		U > 20%					
		RESISTÊNCIA ( R )					
		CP1	CP2	CP3	MÉDIA	DESVIO	CV
		kN	kN	kN	kN	$\sigma$	%
Pinus	V <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	4,30	3,50	2,90	3,57	0,70	19,69
	V <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	4,00	4,80	4,90	4,57	0,49	10,80
	V <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	3,10	2,70	4,50	3,43	0,95	27,53
Eucalipto	V <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	5,00	7,50	5,40	5,99	1,34	22,51
	V <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	6,00	5,90	6,00	5,97	0,06	0,97
	V <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	5,60	5,80	5,40	5,60	0,20	3,57
Cupiúba	V <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	9,50	10,50	9,20	9,73	0,68	6,99
	V <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	18,00	18,80	18,00	18,27	0,46	2,53
	V <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	13,50	13,20	13,00	13,23	0,25	1,90

A resistência da ligação, de acordo com a Tabela 23, apresentou um coeficiente de variação abaixo de 7,0%, para os modelos de ensaio com as espécies Eucalipto e Cupiúba, exceto para o modelo V<sub>0</sub>C<sub>0</sub>, da espécie Eucalipto, cujo valor é da ordem de 20%.

A maior variação do coeficiente, é com a espécie Pinus, podendo ser justificada pelo fato de ter ocorrido, nas repetições, o arrancamento dos dentes do conector, nessa madeira, concomitantemente ao escoamento da chapa, sendo que o esperado era o cisalhamento da chapa metálica.

**Tabela 24** – Cisalhamento da chapa: Análise estatística da Rigidez

CISALHAMENTO DA CHAPA		U > 20%					
		RIGIDEZ (k)					
		CP1	CP2	CP3	MÉDIA	DESVIO	CV
		kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	$\sigma$	%
Pinus	V <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	4,80	3,00	3,60	3,80	0,92	24,12
	V <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	5,50	4,80	3,40	4,57	1,07	23,41
	V <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	2,80	2,60	3,60	3,00	0,53	17,64
Eucalipto	V <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	3,30	6,60	4,40	4,77	1,68	35,25
	V <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	5,00	6,60	9,00	6,87	2,01	29,32
	V <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	4,00	4,20	4,10	4,10	0,10	2,44
Cupiúba	V <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	11,50	9,60	11,70	10,93	1,16	10,60
	V <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	13,50	12,30	15,90	13,90	1,83	13,19
	V <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	9,40	9,00	11,10	9,83	1,12	11,34

A rigidez da ligação, de acordo com a Tabela 24, apresentou um coeficiente de variação da ordem de 30%, para as espécies de madeira Pinus e Eucalipto. Para a espécie Cupiúba o coeficiente é em torno de 12,0%.

Neste modo de ruptura, os valores do coeficiente de variação, de todos os modelos de ensaio, apresentaram valores acima de 25%, para as espécies de madeira, Pinus e Eucalipto, possivelmente devido ao fato de, para essas espécies, ter ocorrido o arrancamento dos dentes e o escoamento da chapa, quando o esperado era o cisalhamento do conector metálico.

### 6.2.4 Análise estatística: Tração da chapa

Para o ensaio de tração da chapa, apresentam-se, nas Tabelas 25 e 26, respectivamente, os valores estatísticos da resistência e da rigidez das ligações, referente à cada modelo de ensaio, e às três espécies de madeira, saturada.

**Tabela 25 – Tração da chapa: Análise estatística da Resistência**

TRAÇÃO DA CHAPA		U > 20%					
		RESISTÊNCIA ( R )					
		CP1	CP2	CP3	MÉDIA	DESVIO	CV
		kN	kN	kN	kN	$\sigma$	%
Pinus	T <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	13,40	12,80	13,80	13,33	0,50	3,77
	T <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	8,40	8,30	6,70	7,80	0,95	12,23
	T <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	7,50	8,00	6,90	7,47	0,55	7,38
Eucalipto	T <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	13,30	13,30	12,40	13,00	0,52	4,00
	T <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	10,10	10,80	12,30	11,07	1,12	10,16
	T <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	7,30	7,40	9,00	7,90	0,95	12,08
Cupiúba	T <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	18,50	18,20	18,70	18,47	0,25	1,36
	T <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	17,00	18,50	18,20	17,90	0,79	4,43
	T <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	25,60	25,30	26,00	25,63	0,35	1,37

A resistência da ligação, de acordo com a Tabela 25, apresentou um coeficiente de variação abaixo de 7,0%, para as três espécies de madeira, exceto para o modelo T<sub>0</sub>C<sub>45</sub> e T<sub>0</sub>C<sub>90</sub>, da espécie Eucalipto, onde o coeficiente é da ordem de 12,0%.

**Tabela 26** – Tração da chapa: Análise estatística da Rigidez

TRAÇÃO DA CHAPA		U > 20%					
		RIGIDEZ (k)					
		CP1	CP2	CP3	MÉDIA	DESVIO	CV
		kN/mm	kN/mm	kN/mm	kN/mm	$\sigma$	%
Pinus	T <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	25,30	29,20	34,20	29,57	4,46	15,09
	T <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	19,70	16,70	15,30	17,23	2,25	13,04
	T <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	20,00	18,70	17,20	18,63	1,40	7,52
Eucalipto	T <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	32,40	39,60	30,20	34,07	4,92	14,43
	T <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	17,90	19,70	20,20	19,27	1,21	6,28
	T <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	18,10	23,50	27,70	23,10	4,81	20,83
Cupiúba	T <sub>0</sub> C <sub>0</sub>	58,80	74,70	71,30	68,27	8,37	12,26
	T <sub>0</sub> C <sub>45</sub>	67,70	77,30	76,50	73,83	5,33	7,21
	T <sub>0</sub> C <sub>90</sub>	115,70	112,60	114,70	114,33	1,58	1,38

A rigidez da ligação, de acordo com a Tabela 26, apresentou um coeficiente de variação da ordem de 13,0% para as três espécies de madeira, exceto para o modelo T<sub>0</sub>C<sub>90</sub>, com a espécie Eucalipto, onde o coeficiente é da ordem de 20,0%.

Neste modo de ruptura, os valores do coeficiente variação, apresentaram valores, praticamente valores abaixo de 12%, mostrando com isso, uma razoável eficácia nos ensaios de tração da chapa.

### 6.3 Análise comparativa

Na análise dos resultados para cada modo de ruptura do corpo-de-prova, obtidos nos ensaios das ligações por CDE, foram feitas três análises comparativas.

A primeira análise baseou-se em três pares de gráficos, sendo um par de gráficos para cada espécie de madeira. Esse par de gráficos é composto por um gráfico de resistência x posição da chapa, e um gráfico de rigidez x posição da chapa, e, em ambos os pares de gráficos, fez-se referência, às peças de madeira secas ou saturadas.

A segunda análise baseou-se em dois gráficos, sendo um gráfico de: resistência x espécie de madeira, saturada; e um gráfico de: rigidez x espécie de madeira, também saturada, onde, para cada gráfico, fez-se referência às três posições do par de chapas, na ligação.

A terceira análise baseou-se em uma tabela que compara os valores da resistência e da rigidez da ligação, obtidas nos ensaios com as peças dos corpos-de-prova saturadas, em relação aos valores teóricos, calculados através da Fórmula de Hankinson (NBR-7190/97, p.22).

### 6.3.1 Análise do ensaio de Arrancamento paralelo às fibras

Para a madeira pinus, seca ou saturada, os valores da resistência não variaram significativamente com as três posições da chapa. As ligações, com as peças de madeira secas, tiveram a resistência da ordem de 40% a mais do que com as peças saturadas. A Figura 36 mostra essas relações.

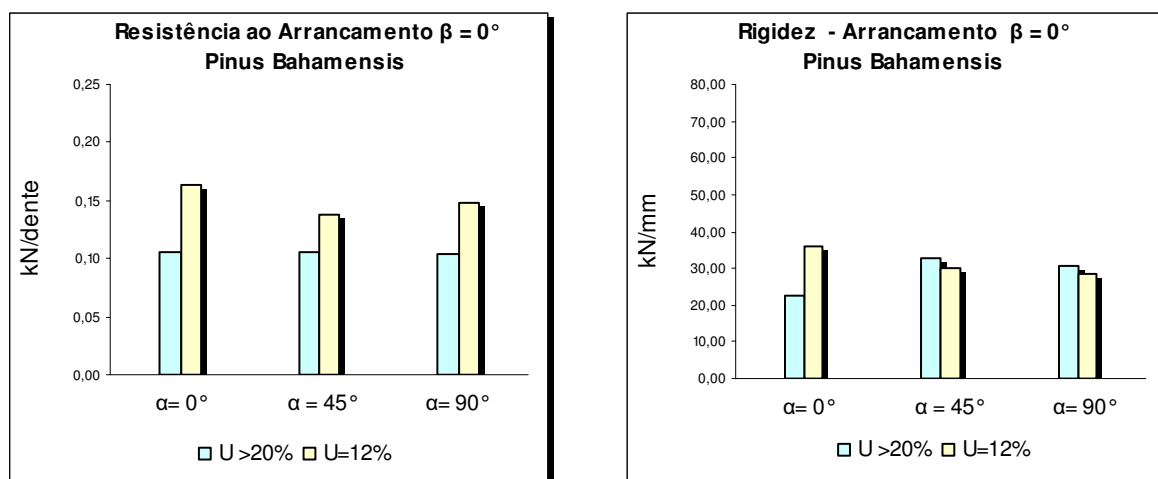


Figura 36 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Pinus:  $A_0C_\alpha$

Para a madeira eucalipto, seca ou saturada, os valores da rigidez não variaram significativamente com as três posições da chapa. As ligações, com as peças de madeira secas, tiveram, aproximadamente a mesma rigidez das ligações com as peças de madeira saturadas. A Figura 37 mostra essas relações.

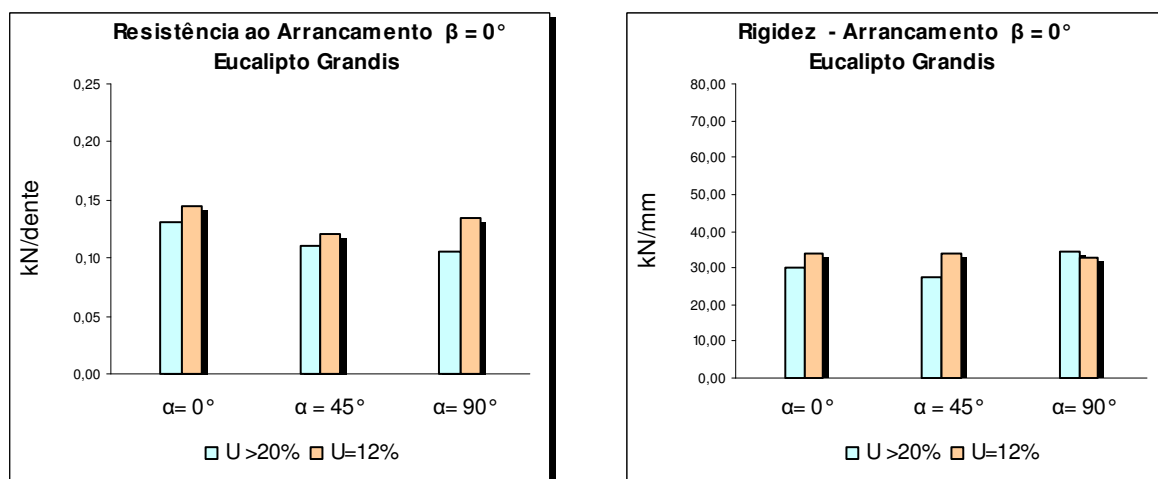
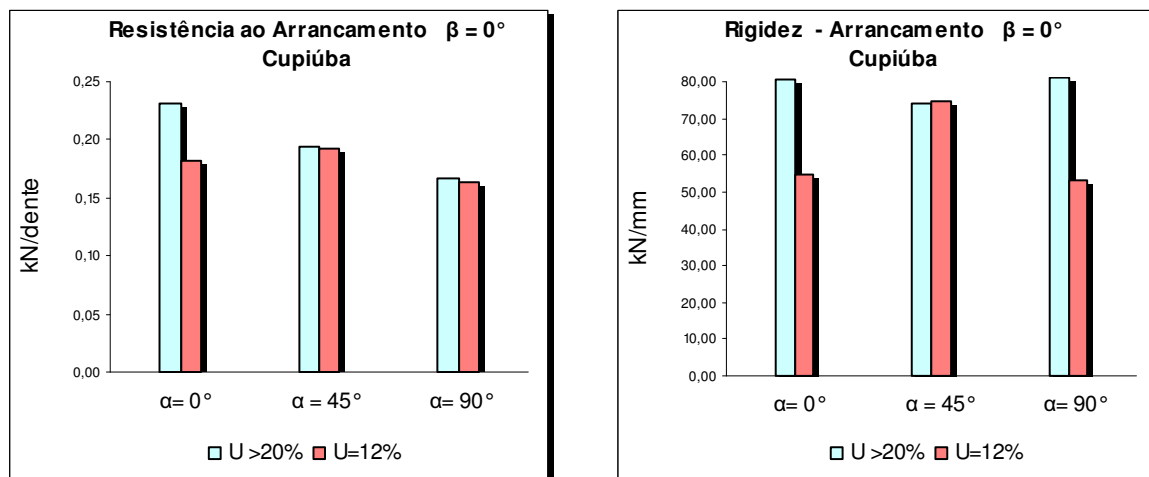


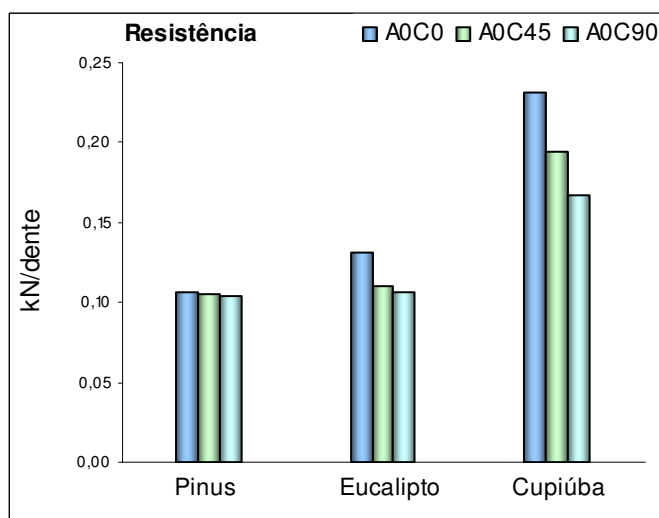
Figura 37 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Eucalipto:  $A_0C_\alpha$

Para a madeira cupiúba, saturada, o valor da rigidez não variou significativamente com as três posições da chapa. A ligação, com as peças de madeira saturadas, teve a rigidez da ordem de 50% a mais do que com as peças secas, para a posição da chapa a 0° e 45°. A Figura 38 mostra essas relações.



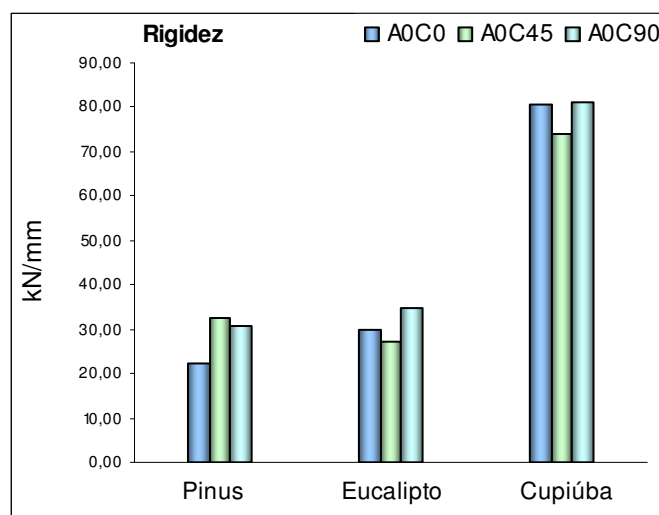
**Figura 38** – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Cupiúba:  $A_0C_\alpha$

Comparando-se a resistência da ligação por CDE, em relação às três espécies de madeira, saturadas, observa-se, através da Figura 39, que as madeiras pinus e eucalipto têm, aproximadamente, o mesmo valor de resistência, enquanto que, a madeira cupiúba tem quase o dobro da resistência nas ligações.



**Figura 39** – resistência x espécies de madeiras, saturadas: Arrancamento paralelo às fibras

Já a rigidez, também è, aproximadamente, a mesma para as madeira pinus e eucalipto, enquanto que, a cupiúba tem quase o dobro da rigidez, em relação às madeiras pinus e eucalipto, conforme mostra a Figura 40.



**Figura 40** – rigidez x espécies de madeiras, saturadas: Arrancamento paralelo às fibras

A Fórmula de Hankinson mostrou-se, de uma maneira geral, eficaz na determinação da resistência das ligações, para o ensaio de arrancamento paralelo às fibras. A diferença dos valores da rigidez, obtidos nos ensaios das ligações, comparada com os valores da rigidez, calculada pela Fórmula de Hankinson, é da ordem de 15%, conforme mostra a Tabela 27.

**Tabela 27** – Fórmula de Hankinson para o ensaio de Arrancamento paralelo às fibras

ARRANCAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS	U > 20%			
	RESISTÊNCIA (R)		RIGIDEZ (k)	
	ENSAIOS kN	HANKINSON kN	ENSAIOS kN/mm	HANKINSON kN/mm
<b>PINUS BAHAMENSIS</b>				
$\alpha = 0^\circ$	8,50		22,50	
$\alpha = 45^\circ$	8,40	8,40	32,50	25,93
$\alpha = 90^\circ$	8,30		30,60	
<b>EUCALIPTO GRANDIS</b>				
$\alpha = 0^\circ$	10,50		30,00	
$\alpha = 45^\circ$	8,80	9,39	27,30	32,14
$\alpha = 90^\circ$	8,50		34,60	
<b>CUPIÚBA</b>				
$\alpha = 0^\circ$	18,50		80,80	
$\alpha = 45^\circ$	15,50	15,54	74,10	80,85
$\alpha = 90^\circ$	13,40		80,90	

### 6.3.2 Análise do ensaio de Arrancamento normal às fibras

Para a madeira pinus, seca ou saturada, os valores da rigidez não variaram significativamente com as três posições da chapa. As ligações, com as peças de madeira secas, tiveram a rigidez da ordem de 10% a mais do que com as peças saturadas. A Figura 41 mostra essas relações.

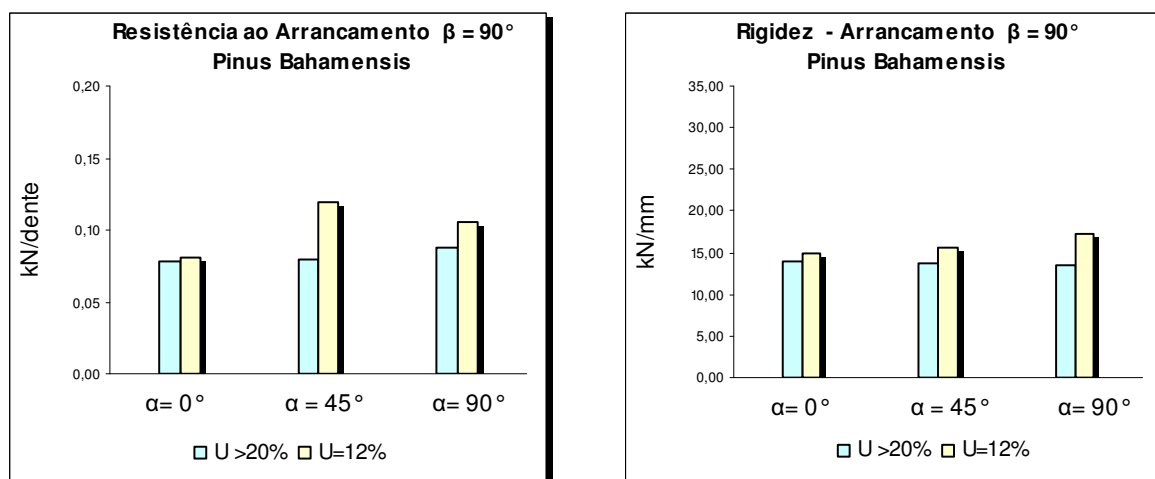


Figura 41 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Pinus:  $A_{90}C_\alpha$

Para a madeira eucalipto, seca, os valores da resistência não variaram significativamente com as três posições da chapa. As ligações, com as peças de madeira secas, tiveram, aproximadamente, a mesma resistência das ligações com as peças de madeira saturadas. A Figura 42 mostra essas relações.

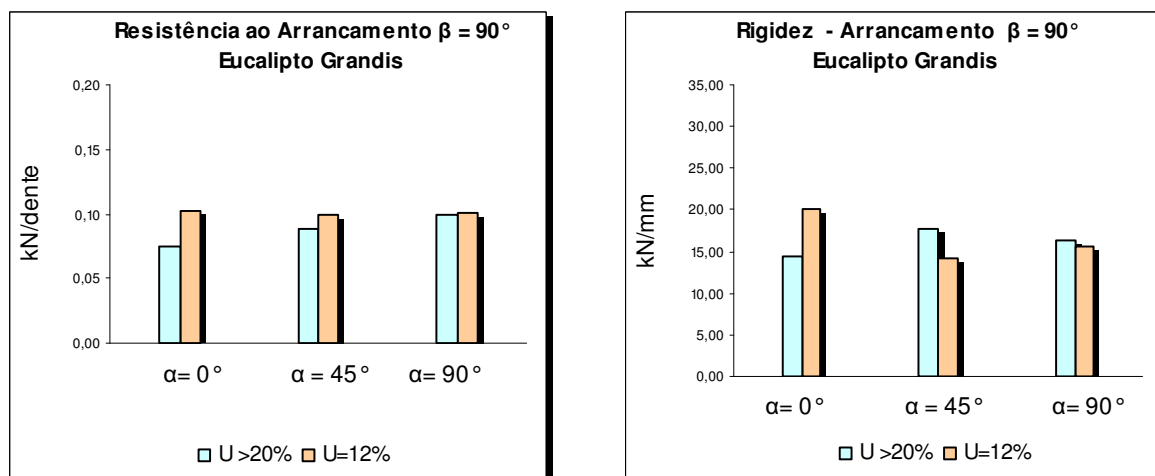
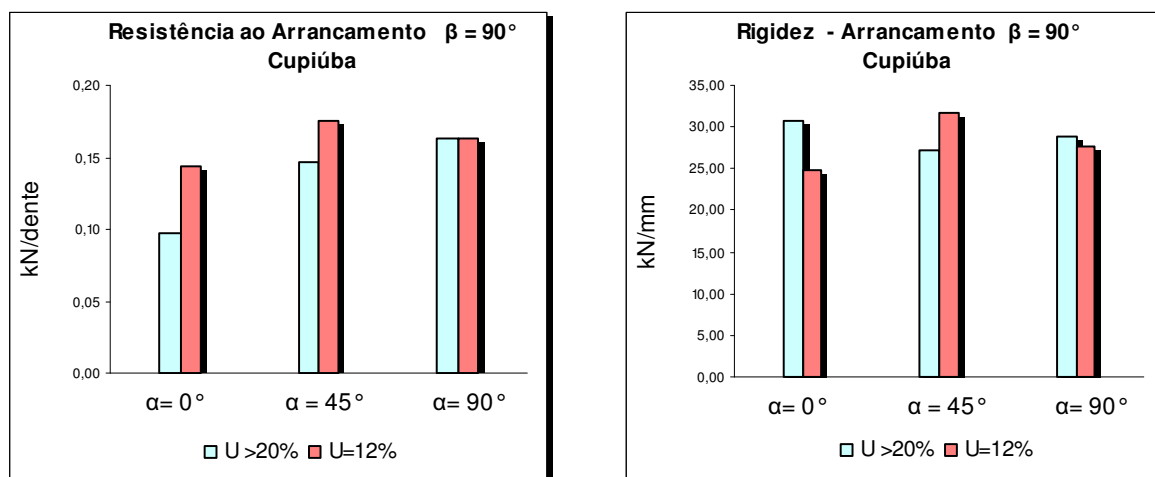


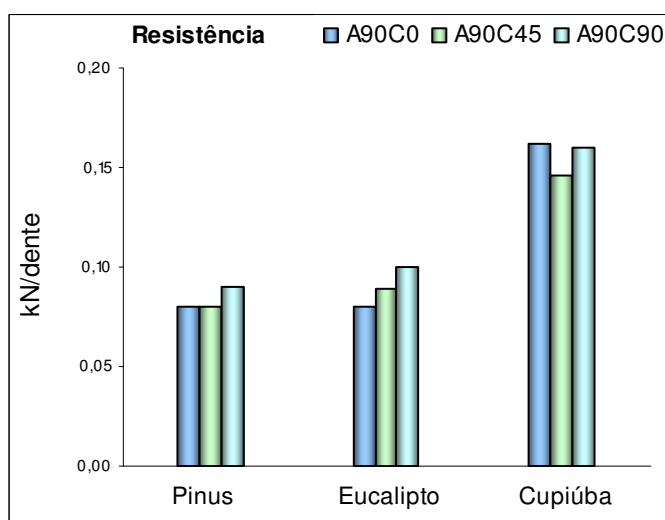
Figura 42 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Eucalipto:  $A_{90}C_\alpha$

Para a madeira cupiúba, saturada, o valor da rigidez não variou significativamente com as três posições da chapa. A ligação, com as peças de madeira saturadas, teve a rigidez da ordem de 30% a mais do que com as peças secas, para a posição da chapa a  $0^\circ$ . A Figura 43 mostra essas relações.



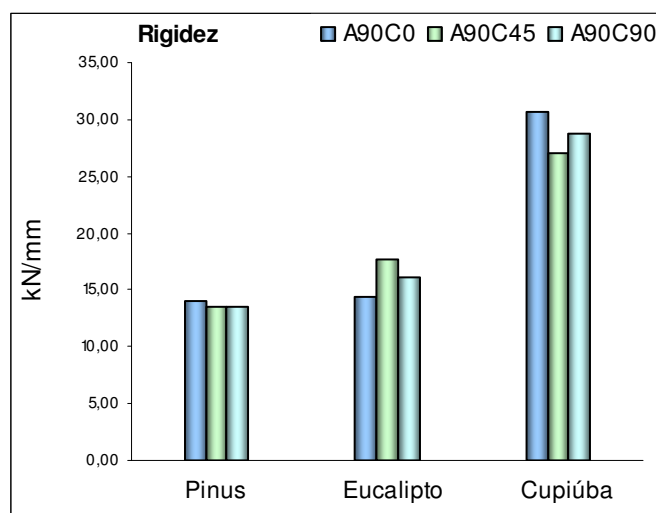
**Figura 43** – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Cupiúba:  $A_{90}C_\alpha$

Comparando-se a resistência da ligação por CDE, em relação às três espécies de madeira, saturadas, observa-se, através da Figura 44, que as madeiras pinus e eucalipto têm, aproximadamente, o mesmo valor de resistência, enquanto que a madeira cupiúba tem quase o dobro da resistência nas ligações.



**Figura 44** – resistência x espécies de madeiras, saturadas: Arrancamento normal às fibras

Já a rigidez, também é, aproximadamente, a mesma para as madeiras pinus e eucalipto, enquanto que, a cupiúba tem quase o dobro da rigidez, em relação às madeiras pinus e eucalipto, conforme mostra a Figura 45.



**Figura 45** – rigidez x espécies de madeiras, saturadas: Arrancamento normal às fibras

A Fórmula de Hankinson mostrou-se, de uma maneira geral, não muito eficaz na determinação da resistência das ligações, para o ensaio de arrancamento normal às fibras. A diferença dos valores da resistência e da rigidez, obtidos nos ensaios das ligações, comparada com os valores da resistência e da rigidez, calculada pela Fórmula de Hankinson, é da ordem de 15%, conforme mostra a Tabela 28.

**Tabela 28** – Fórmula de Hankinson para o ensaio de Arrancamento normal às fibras

ARRANCAMENTO NORMAL ÀS FIBRAS	U > 20%			
	RESISTÊNCIA (R)		RIGIDEZ (k)	
	ENSAIOS	HANKINSON	ENSAIOS	HANKINSON
	kN	kN	kN/mm	kN/mm
<b>PINUS BAHAMENSIS</b>				
$\alpha = 0^\circ$	6,20	6,58	14,00	13,75
$\alpha = 45^\circ$	6,40		13,60	
$\alpha = 90^\circ$	7,00		13,50	
<b>EUCALIPTO GRANDIS</b>				
$\alpha = 0^\circ$	6,00	6,86	14,40	15,25
$\alpha = 45^\circ$	7,10		17,70	
$\alpha = 90^\circ$	8,00		16,20	
<b>CUPIÚBA</b>				
$\alpha = 0^\circ$	7,80	9,75	30,70	29,72
$\alpha = 45^\circ$	11,70		27,10	
$\alpha = 90^\circ$	13,00		28,80	

### 6.3.3 Análise do ensaio de cisalhamento da chapa

Para a madeira pinus, seca ou saturada, os valores da resistência não variaram significativamente com as três posições da chapa. As ligações, com as peças de madeira secas, tiveram a resistência da ordem de 50% a mais do que com as peças saturadas. A Figura 46 mostra essas relações.

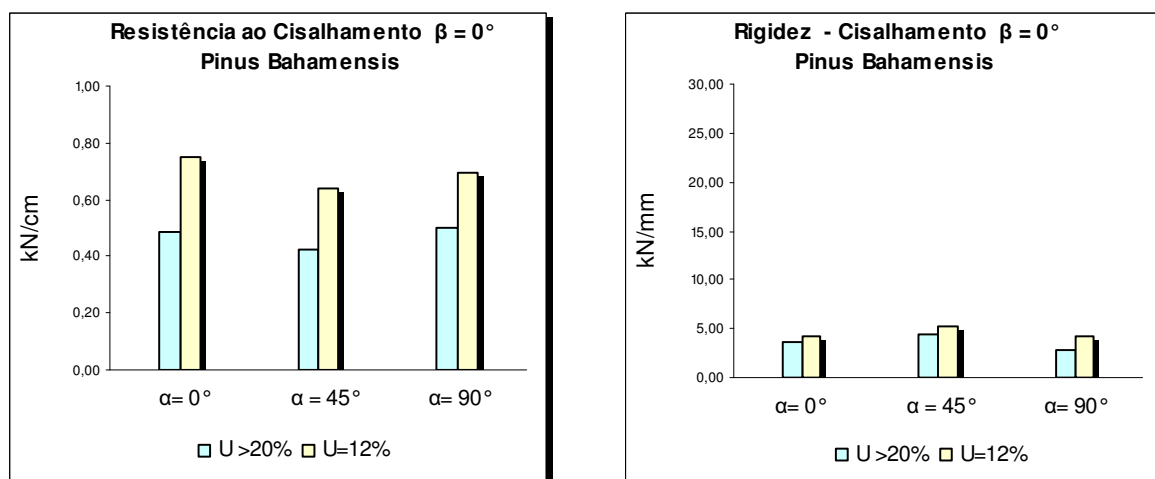


Figura 46 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Pinus:  $V_0C_\alpha$

Para a madeira eucalipto, seca ou saturada, os valores da resistência não variaram significativamente com as três posições da chapa, exceto para a chapa a  $45^\circ$ . As ligações, com as peças de madeira secas, tiveram aproximadamente a mesma resistência das ligações com as peças saturadas, conforme a Figura 47.

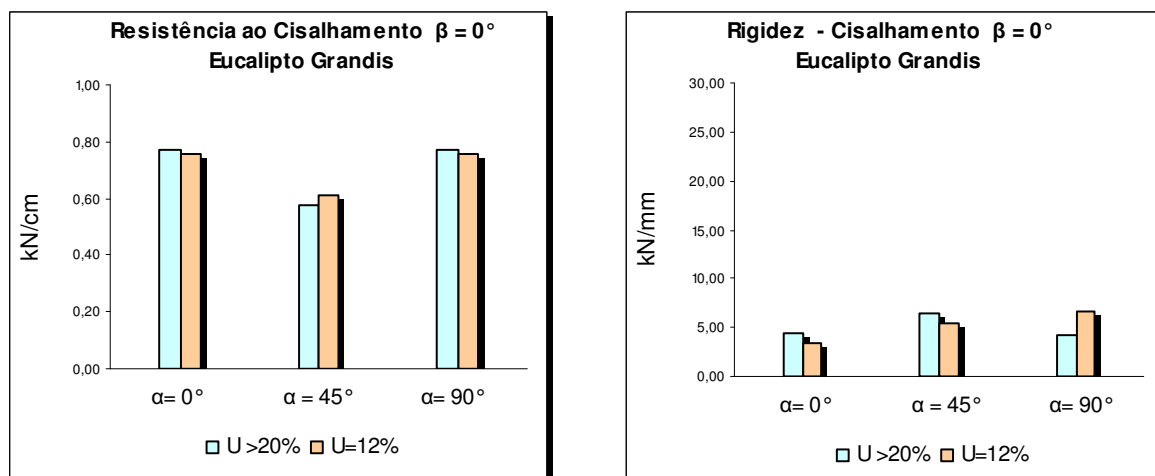
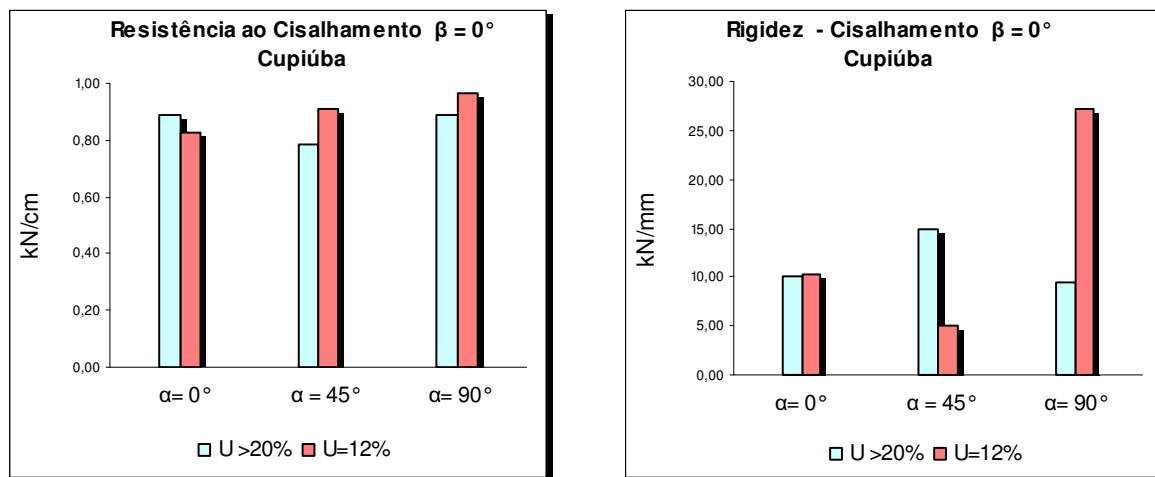


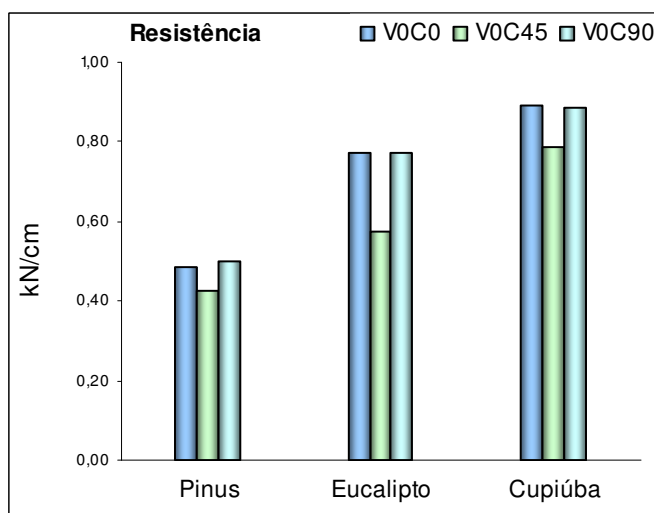
Figura 47 – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Eucalipto:  $V_0C_\alpha$

Para a madeira cupiúba, saturada, o valor da resistência não variou significativamente com as três posições da chapa. As ligações, com as peças de madeira saturadas, tiveram aproximadamente a mesma resistência das ligações com as peças secas, A Figura 48 mostra essas relações.



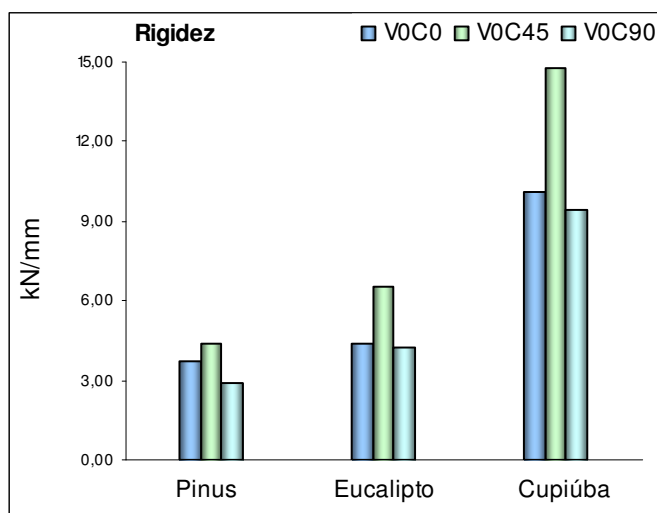
**Figura 48** – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Cupiúba:  $V_0C_\alpha$

Comparando-se a resistência da ligação por CDE, em relação às três espécies de madeira, saturadas, observa-se, através da Figura 49, que a madeira eucalipto é, aproximadamente, 50% maior e a madeira cupiúba 100% maior, quando comparados com a resistência das ligações, com a madeira pinus.



**Figura 49** – resistência x espécies de madeiras, saturadas: Cisalhamento da chapa

Já a rigidez para a madeira eucalipto é ligeiramente superior a madeira pinus, enquanto que, a cupiúba tem quase o dobro da rigidez, em relação às madeiras pinus e eucalipto, conforme mostra a Figura 50.



**Figura 50** – rigidez x espécies de madeiras, saturadas: Cisalhamento da chapa

A Fórmula de Hankinson mostrou-se, de uma maneira geral, não muito eficaz na determinação da resistência e da rigidez das ligações, para o ensaio de cisalhamento da chapa. A diferença dos valores da resistência e da rigidez, obtidos nos ensaios das ligações, comparada com os valores da resistência e da rigidez, calculada pela Fórmula de Hankinson, é da ordem de 30%, conforme mostra a Tabela 29.

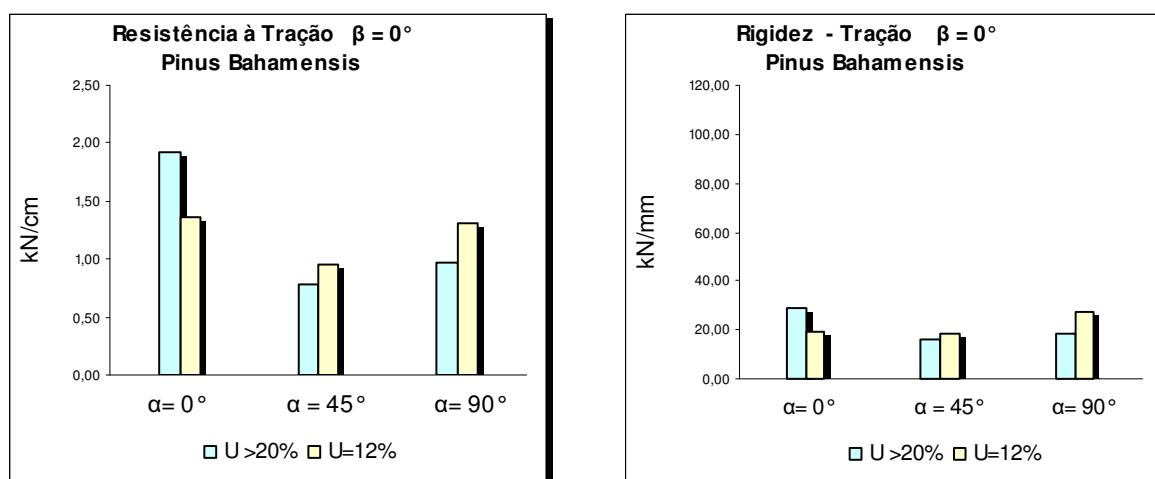
**Tabela 29** – Fórmula de Hankinson para o ensaio de cisalhamento da chapa

CISALHAMENTO DA CHAPA	U > 20%			
	RESISTÊNCIA (R)		RIGIDEZ (k)	
	ENSAIOS kN	HANKINSON kN	ENSAIOS kN/mm	HANKINSON kN/mm
<b>PINUS BAHAMENSIS</b>				
$\alpha = 0^\circ$	3,70		3,70	
$\alpha = 45^\circ$	4,50	3,49	4,40	3,25
$\alpha = 90^\circ$	3,30		2,90	
<b>EUCALIPTO GRANDIS</b>				
$\alpha = 0^\circ$	5,40		4,40	
$\alpha = 45^\circ$	6,10	5,55	6,50	4,30
$\alpha = 90^\circ$	5,70		4,20	
<b>CUPIÚBA</b>				
$\alpha = 0^\circ$	10,70		10,10	
$\alpha = 45^\circ$	15,70	11,49	14,80	9,74
$\alpha = 90^\circ$	12,40		9,40	

### 6.3.4 Análise do ensaio de tração da chapa

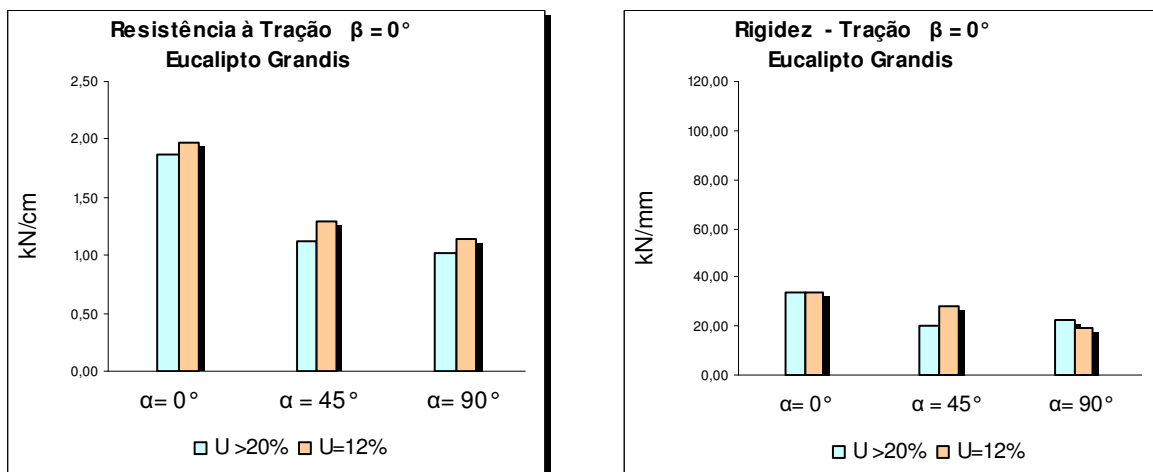
Para a madeira pinus, os valores da resistência e da rigidez, obtidos no ensaio de tração da chapa não variaram significativamente, com as três posições da chapa, exceto para o corpo de prova, com a chapa a  $0^\circ$ .

As ligações, com as peças de madeira secas, tiveram a resistência alternada, em relação aos corpos-de-prova com as peças de madeira saturadas. Para a rigidez, os corpos-de-prova com madeiras secas ou saturadas, seguiram o mesmo comportamento da resistência. A Figura 51 mostra esses comportamentos.



**Figura 51** – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Pinus:T<sub>0</sub>C <sub>$\alpha$</sub>

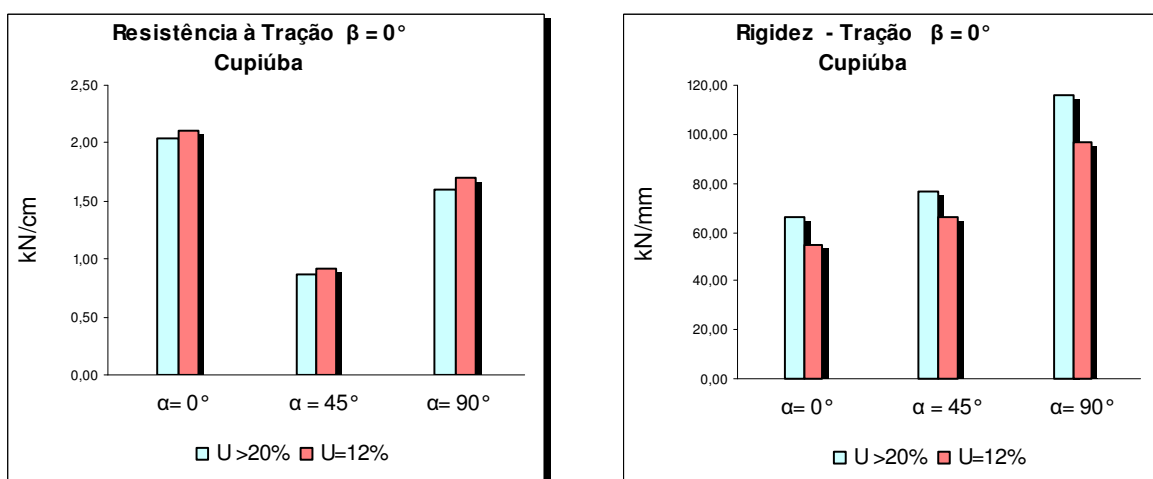
Para a madeira eucalipto, no ensaio de tração da chapa, teve uma queda significativa nos valores da resistência para a chapa a  $45^\circ$  e  $90^\circ$ , e pequena variação na rigidez. Os corpos-de-prova, com as peças de madeira secas ou saturadas, tiveram o valor da resistência ou da rigidez próximos. A Figura 52 mostra esse comportamento.



**Figura 52** – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Eucalypto:  $T_0C_\alpha$

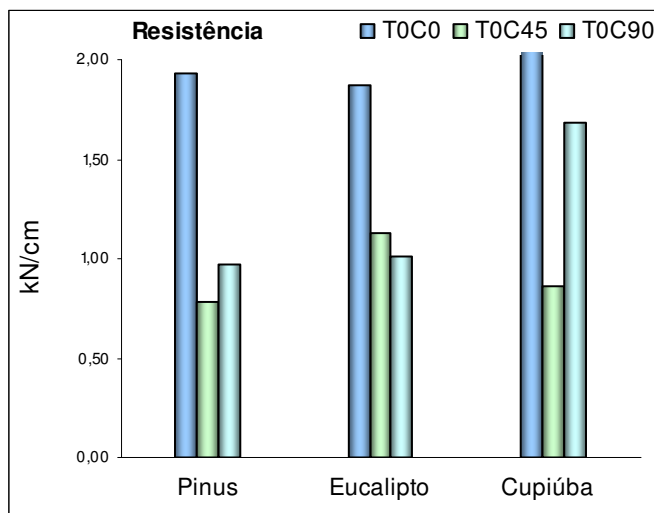
Para a madeira cupiúba, o valor da resistência, obtido nos ensaios de tração da chapa, variou, nas três posições da chapa, sendo o valor mais baixo para a chapa a  $45^\circ$ . A rigidez variou, de forma linear e crescente, nas três posições da chapa, em relação à força de aplicação.

As ligações, com as peças de madeira secas, tiveram o valor da resistência próximo ao valor da resistência, com as peças de madeira saturadas. Já a rigidez da ligação, com as peças de madeira saturadas, apresentou um valor da ordem de 15% maior do que o corpo-de-prova com a peça de madeira seca. A Figura 53 mostra essas relações.



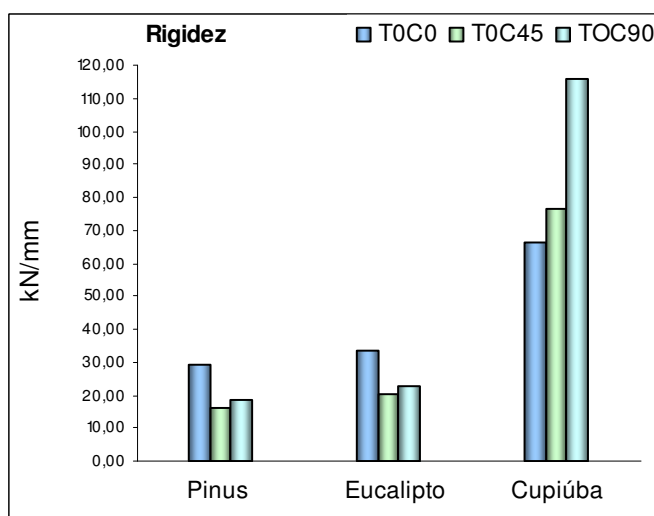
**Figura 53** – Gráficos: resistência ou rigidez x posição das chapas – Cupiúba:  $T_0C_\alpha$

Comparando-se a resistência da ligação por CDE, obtida no ensaio de tração da chapa, em relação às três espécies de madeira, saturadas, observa-se, através da Figura 54, que, essas espécies de madeira têm aproximadamente o mesmo valor de resistência, exceto para a madeira cupiúba, com a chapa a 90°.



**Figura 54** – resistência x espécies de madeiras, saturadas: Tração da chapa

Já a rigidez, conforme mostra a Figura 55, é aproximadamente, a mesma para as espécies de madeira Pinus e Eucalipto, enquanto que, a espécie Cupiúba, apresenta valores bem superiores as demais.



**Figura 55** – rigidez x espécies de madeiras, saturadas: Tração da chapa

A Fórmula de Hankinson mostrou-se, de uma maneira geral, não muito eficaz na determinação da resistência e da rigidez das ligações, para o ensaio de tração da chapa. A diferença dos valores dessa resistência e dessa rigidez das ligações, obtidos nos ensaios das ligações, comparada com os valores da resistência e da rigidez calculada, pela Fórmula de Hankinson, é da ordem de 20%, conforme mostra a Tabela 30.

**Tabela 30** – Fórmula de Hankinson para o ensaio de tração da chapa

TRAÇÃO DA CHAPA	U > 20%			
	RESISTÊNCIA (R)		RIGIDEZ (k)	
	ENSAIOS kN	HANKINSON kN	ENSAIOS kN/mm	HANKINSON kN/mm
<b>PINUS BAHAMENSIS</b>				
$\alpha = 0^\circ$	13,50		29,30	
$\alpha = 45^\circ$	7,80	9,56	16,40	22,68
$\alpha = 90^\circ$	7,40		18,50	
<b>EUCALIPTO GRANDIS</b>				
$\alpha = 0^\circ$	13,10		33,50	
$\alpha = 45^\circ$	11,30	9,70	20,20	26,99
$\alpha = 90^\circ$	7,70		22,60	
<b>CUPIÚBA</b>				
$\alpha = 0^\circ$	18,40		66,10	
$\alpha = 45^\circ$	17,20	21,82	76,30	84,21
$\alpha = 90^\circ$	26,80		116,00	

## **7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

---

### **7.1 Considerações referentes à análise dos resultados**

Serão apresentadas algumas considerações referente a análise dos resultados, com a finalidade de destacar os aspectos mais pertinentes, tais como, a influência das espécies de madeira e da umidade, na resistência e na rigidez das ligações por CDE.

#### **7.1.1 Aspectos pertinentes às espécies de madeira**

Conforme as Figuras 39, 40, 44 e 45, apresentadas nos itens 6.3.1 e 6.3.2, pode-se considerar que, os valores da resistência e da rigidez, nos ensaios de arrancamento paralelo ou normal às fibras, para a espécie de madeira pinus não variaram significativamente, em função das posições da CDE na ligação.

As Figuras 39, 40, 44, 45, 49 e 50, apresentadas nos itens 6.3.1; 6.3.2 e 6.3.3, mostram que as espécies de madeira Pinus e Eucalipto têm, aproximadamente, os mesmos valores de resistência e de rigidez, em todos os modelos de ensaio, enquanto que, a espécie de madeira Cupiúba tem, aproximadamente, o dobro da resistência e da rigidez, em relação a essas duas espécies. Com este fato, percebe-se que para as três espécies de madeira estudadas, a classe de resistência não influi no comportamento da resistência e da rigidez das ligações por CDE. Porém, a densidade influiu, pois, de acordo os resultados da caracterização obtidos, a densidade básica e aparente das espécies de madeira Pinus e Eucalipto, também têm, aproximadamente, os mesmos valores, já a espécie de madeira Cupiúba tem próximo do dobro do valor da densidade dessas espécies.

Outra observação refere-se ao ensaio de tração da chapa, no qual, o valor da resistência é, aproximadamente, o mesmo para as três espécies de madeira utilizadas na ligação. Esse resultado já era esperado, pois, esse ensaio avaliou o comportamento da chapa metálica, e, para esta finalidade, os corpos de prova, para cada espécie de madeira, foram montados através das CDE, com um número de dentes suficientes para garantir o rompimento da ligação, por tração da chapa, e não por outro modo de ruptura.

### 7.1.2 Influência da umidade na ligação por CDE

Os valores da resistência e da rigidez, nas ligações por CDE, com todas as peças de madeira dos corpos-de-prova saturados, devem ser corrigidos para a umidade padrão de 12%, de acordo com a equação apresentada no item C.7.5 da Norma Brasileira (NBR-7190/97, p.87), ou seja, devem ser majorados em 24%.

Neste trabalho, optou-se em fazer uma repetição, com os corpos-de-prova secos, para cada modelo de ensaio e para as três espécies de madeira, e , através dos resultados dessa repetição, observou-se que:

Para a madeira pinus, o valor da resistência e da rigidez, obtidos nos modelos de ensaio, com as peças de madeira à 12%,  **aumentou** cerca de 40%, em relação aos ensaios, com as peças saturadas. Para a madeira eucalipto, o valor da resistência e da rigidez, obtidos em todos os modelos de ensaio, com as peças de madeira à 12%, apresentou o **mesmo** valor, em relação aos ensaios com as peças de madeira saturadas. Já para a madeira cupiúba, o valor da rigidez, obtido nos ensaios de arrancamento, com as peças de madeira à 12%, **diminuiu** cerca de 25%, em relação aos ensaios, com as peças saturadas.

Investigando tal fato, pode-se perceber, que, ao prensar as CDE nas peças de madeira secas, quanto maior a densidade da madeira, além de necessitar de uma força de prensagem maior, a penetração adequada dos dentes piorava, por esses dentes sofrerem torções e flambagem localizada. Portanto, a correção das resistências e das rigidezes, para a umidade padrão de 12%, de acordo com os ensaios apresentados neste trabalho, haveria de: majorar em 40%, para a classe C20; não corrigir, para a classe C30; e para a classe C40, minorar em 25% os resultados dos ensaios, com as peças de madeira saturadas.

## 7.2 Considerações referente ao dimensionamento das CDE

Os valores dos resultados obtidos neste trabalho, da resistência da ligação, para os ensaios de arrancamento paralelo ou normal às fibras, são valores referentes ao par de conectores e à uma das peças ligadas, ou seja, referente a metade da ligação. Essas referências estão baseadas no fato de haver, para cada uma das peças ligadas, a mesma força atuante, devido ao par de forças: ação e reação. Esse comportamento é o que de fato ocorre com a ligação em uma treliça.

O dimensionamento do número de dentes necessários na ligação por CDE foi proposto por Ujvari (1983, p.7), conforme a equação (1). Essa equação considera o valor da resistência ao arrancamento dos dentes, referente ao par de conectores, porém, para as duas peças ligadas. Baraldi (1996, p.40) apresentou em seu estudo, valores da resistência das ligações por CDE, referentes a essa equação (1), proposta por Ujvari (1983).

Portanto, ao fazer o dimensionamento das ligações de peças estruturais de madeira por CDE, deve-se atentar para isso. Para que haja uma adequação com os valores da resistência, apresentadas neste trabalho, com a equação (1), proposta por Ujvari (1983), será sugerido, através da equação (7), o mesmo cálculo dos números de dentes necessários, em cada conector, porém, utilizando como valor de resistência ao arrancamento, o valor referente ao par de conectores, de uma das peças ligadas, de acordo com os resultados obtidos neste trabalho.

$$N_D = \frac{F_t}{R_A} \quad (7)$$

Onde:

$N_D$  = Número de dentes necessários, em um conector;

$F_t$  = Força de tração, de cálculo, atuante na direção avaliada;

$R_A$  = Resistência ao arrancamento, de cálculo, referente ao par de conectores, de uma das peças ligadas.

O dimensionamento do comprimento de ruptura, do conector CDE, na seção de corte, ou de tração, foi proposto por Ujvari (1983, p.07), conforme a equação (2). Porém essa equação considera o valor da resistência ao cisalhamento ou à tração, referente a uma das chapas do par.

Portanto, será proposto, através da equação (8), o mesmo cálculo do dimensionamento do comprimento de ruptura do conector CDE, porém, utilizando o valor, de resistência à tração ou ao cisalhamento, referente ao par de conectores.

$$L_{RUP} = \frac{F_t}{2 \cdot R_{c,t}} \quad (8)$$

Onde:

$L_{RUP}$  = Comprimento de ruptura ou escoamento, em um conector;

$F_t$  = Força de tração, de cálculo, atuante na direção avaliada;

$R_{c,t}$  = Resistência ao cisalhamento ou à tração, de cálculo, referente ao par de conectores.

Considerando-se, através das equações (7) e (8), que as forças de tração ( $F_t$ ), sejam as mesmas, para os casos de arrancamento paralelo ou normal às fibras e de tração da chapa e, substituindo e rearranjando uma equação na outra, tem-se a equação:

$$L_{RUP} = \frac{N_D}{2} \cdot \frac{R_A}{R_{c,t}} \quad (9)$$

A equação (9) relaciona o comprimento de ruptura ou escoamento do conector CDE, necessários em função do número de dentes ou vice-versa. A resistência ao arrancamento da chapa refere-se ao par de conectores e à uma das peças ligadas, e a resistência à tração da chapa refere-se ao par de conectores. A escolha dos modos de ruptura e da posição da chapa depende da localização da ligação, na treliça, a ser dimensionada.

## 8 CONCLUSÃO

---

### 8.1 Conclusão dos ensaios das ligações por CDE

Os estudos das ligações por CDE em peças estruturais de madeira, para as três espécies, com as peças secas ou saturadas, possibilitaram as seguintes conclusões:

A variação da posição da chapa, com  $\alpha = 0^\circ$ ,  $\alpha = 45^\circ$  e  $\alpha = 90^\circ$ , para a classe de resistência C20, não alteraram os valores da resistência e da rigidez das ligações, nos ensaios de arrancamento paralelo ou normal às fibras. Porém, para as classes C30 e C40 os seus valores da resistência e da rigidez foram alterados, nessas posições da chapa e modos de ruptura.

A variação de umidade, no momento de prensagem, influencia na resistência e na rigidez das ligações, de maneira significativa e diferenciada, em relação as três classes da madeira. Para a madeira pinus, de classe C20, os resultados obtidos, com as madeiras saturadas, no momento da prensagem e dos ensaios nos corpos-de-prova, foram inferiores aos resultados com as madeiras secas. Para a madeira eucalipto, que é de classe 30, os resultados obtidos, com as madeiras saturadas ou secas, no momento da prensagem e dos ensaios nos corpos-de-prova, se igualaram. Já para a madeira cupiúba, de classe 40, os resultados com as madeiras saturadas, no momento da prensagem e dos ensaios nos corpos-de-prova, foram superiores aos resultados com as madeiras secas. Tal fato se justifica pela dificuldade da cravação dos dentes, em madeiras secas, com densidades mais elevadas.

A resistência à tração da chapa, em função do comprimento de ruptura e do modelo de ensaio, independe da espécie da madeira, desde que, seja garantido o número de dentes suficiente para que não ocorra o arrancamento desses dentes.

As espécies de madeira, estudadas, *Pinus Bahamensis* e *Eucalipto Grandis*, de classe C20 e C30, respectivamente, possuem a mesma densidade, e os resultados dos ensaios, com as CDE, apresentaram as suas resistências próximas e, uma boa aproximação também quanto à rigidez. Já para a *Cupiúba*, de classe C40, que possui sua densidade da ordem de duas vezes em relação as outras duas espécies, apresentou também a resistência e a rigidez das ligações de ordem dobrada. Portanto, conclui-se que, dentre as propriedades das madeiras estudadas, a densidade tem uma maior influência nos resultados da resistência e da rigidez da ligação por CDE, e não a classe de resistência, como se esperava.

A aplicação da fórmula teórica de Hankinson, para as ligações por CDE, no modelo de arrancamento paralelo às fibras, onde a variação se dá apenas na posição da chapa, com  $\alpha = 0^\circ$ ,  $\alpha = 45^\circ$  e  $\alpha = 90^\circ$ , encontra-se uma aproximação aceitável para o ensaio de resistência da ligação e com uma maior variação na rigidez. Para o ensaio de arrancamento normal às fibras e de cisalhamento e tração da chapa, variando também apenas a posição da chapa, tal fórmula não se aplica. Acredita-se que, para a viabilização da fórmula de Hankinson nas ligações por CDE, não se deve variar a posição da chapa, mas sim, a direção do carregamento em relação às fibras. Neste trabalho realizou-se com  $\beta = 0^\circ$  e  $\beta = 90^\circ$ , faltando os ensaios com variação entre essas direções, tal como  $\beta = 45^\circ$ .

Os valores de resistência admissível, especificados pelo fabricante, para um par de conector, são próximos dos valores de resistência, obtidos nos ensaios das ligações por CDE, exceto o modelo de cisalhamento transversal da chapa ( $V_0C_{90}$ ), cujo resultado encontrado foi, aproximadamente, a metade do valor especificado pelo fabricante do conector.

Para o dimensionamento da ligação, utilizando-se dos resultados apresentados neste trabalho, deve-se determinar o número de dentes suficientes para resistir ao esforço de cálculo atuante, através da equação (7). Também se deve verificar a largura mínima de uma chapa, para que não haja ruptura por escoamento ou tração dessa chapa, através da equação (8). A equação (9) dimensiona a chapa mais adequada, através da relação do número de dentes necessários em função do comprimento de ruptura, ou vice-versa.

As Tabelas 31, 32 e 33 apresentam um resumo dos valores médios da ruptura, da resistência e da rigidez, com as peças de madeira secas e saturadas.

**Tabela 31** – Resumo dos valores médios da Ruptura, Resistência e Rigidez: Pinus Bahamensis

PINUS	U > 20%				U = 12%			
	RUPTURA	RESISTÊNCIA		RIGIDEZ	RUPTURA	RESISTÊNCIA		RIGIDEZ
	Frup	R	R	k	Frup	R	R	k
BAHAMENSIS	kN	kN	kN/dente ou kN/cm	kN/mm	kN	kN	kN/dente ou kN/cm	kN/mm
Arrancamento paralelo	11,47	8,40	0,11	28,53	15,77	11,93	0,15	31,47
Arrancamento normal	7,73	6,53	0,08	13,70	10,33	8,13	0,10	15,93
Cisalhamento da chapa	5,90	3,83	0,47	3,67	7,90	5,70	0,70	4,60
Tração da chapa	13,63	9,57	1,23	21,40	13,53	9,70	1,21	21,73

**Tabela 32** – Resumo dos valores médios da Ruptura, Resistência e Rigidez: Eucalipto Grandis

EUCALIPTO	U > 20%				U = 12%			
	RUPTURA	RESISTÊNCIA		RIGIDEZ	RUPTURA	RESISTÊNCIA		RIGIDEZ
	Frup	R	R	k	Frup	R	R	k
GRANDIS	kN	kN	kN/dente ou kN/cm	kN/mm	kN	kN	kN/dente ou kN/cm	kN/mm
Arrancamento paralelo	13,20	9,27	0,12	30,63	14,60	10,60	0,13	33,50
Arrancamento normal	7,00	7,03	0,09	16,10	10,07	8,10	0,10	16,67
Cisalhamento da chapa	8,70	5,73	0,71	5,03	8,93	5,80	0,71	5,13
Tração da chapa	15,00	10,70	1,34	25,43	16,50	11,83	1,47	26,90

**Tabela 33** – Resumo dos valores médios da Ruptura, Resistência e Rigidez: Cupiúba

CUPIÚBA	U > 20%				U = 12%			
	RUPTURA	RESISTÊNCIA		RIGIDEZ	RUPTURA	RESISTÊNCIA		RIGIDEZ
	Frup	R	R	k	Frup	R	R	k
	kN	kN	kN/dente ou kN/cm	kN/mm	kN	kN	kN/dente ou kN/cm	kN/mm
Arrancamento paralelo	18,83	15,80	0,20	78,60	17,87	14,30	0,18	60,97
Arrancamento normal	11,77	10,83	0,13	28,87	14,50	12,83	0,16	28,10
Cisalhamento da chapa	18,10	12,93	0,85	11,43	16,90	13,87	0,90	14,13
Tração da chapa	26,83	20,80	1,53	86,13	27,50	21,60	1,58	72,57

## 8.2 Sugestões para trabalhos futuros

Como continuidade nos estudos referentes às ligações por chapas com dentes estampados, sugerem-se os seguintes tópicos:

- Verificação da influência da umidade, em peças estruturais de madeira, na resistência e na rigidez das ligações por CDE, para várias espécies de madeira, dentro de uma ou duas classes de resistência;
- Realização de um número maior de ensaios de ligação por CDE, para algumas espécies de madeira, coníferas e dicotiledôneas, e, preferencialmente, de reflorestamento, dentro da Classe de resistência C20 ou C30, com a finalidade de definir métodos de caracterização da resistência e da rigidez da ligação por CDE;
- Verificação da resistência e da rigidez da ligação, para várias espécies de madeira de uma mesma classe de resistência, com peças de madeiras dos corpos-de-prova secas ou saturadas, respectivamente, no momento da cravação do conector CDE e no momento do ensaio da ligação, alterando essa combinação de várias formas;
- Comparar os valores teóricos da Fórmula de Hankinson, com valores experimentais, obtidos nos ensaios das ligações por CDE, para o modo básico de ruptura, por arrancamento dos dentes na madeira, com as direções de aplicação da força entre  $\beta = 0^\circ$  e  $\beta = 90^\circ$ .

## 9 REFERÊNCIAS

---

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. 123f. Dissertação (Mestrado em Engenharia das Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

BARROS, J.O. Considerações sobre a utilização de madeiras na construção de estruturas de cobertura para conjuntos habitacionais. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3 ,1992, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EBRAMEM, 1992. v.5, p.79-83.

BARROS, J.O. **Algumas considerações sobre a pré-fabricação das estruturas de madeira para coberturas**. 1991. 144f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

BARROS, J.O.; HELLMEISTER, J.C. Industrialização de estruturas de madeira para coberturas. In: 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.; HELLMMEISTER, J.C. Industrialização de estruturas de madeira para coberturas. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3 , 1989, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EBRAMEM. v.4. p.7-9.

BREUER, H, J.C. Estruturas pré-fabricadas em madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM ESTRUTURAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1, 1983, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EBRAMEM, 1993. v.4. p.4.1-4.25.

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

CALIL, C, J. et al. Resumos. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 1 , 2000, São Carlos. **Resumos...** São Carlos: IBRAMEN, 2000. v.1. p.1-5.

CALIL, C, J. et al. **Estruturas de madeira.** São Carlos: USP/EESC, 1998.102f. (Notas de aula).

EMERSON, R.N.; FRIDLEY, K.J. Resistance of metal-plate-connected truss joints to dynamic loading. **Forest Products Journal**, Madson, v.46, n.12, p.83-90, 1996.

EUROPEAN PRESTANDARD. **EUROCODE 5 – Design of timber structures – Part1-1: General rules and rules for buildings.** Brussels: [S.n], 2002. 128p.

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

TRELIÇAS para telhados, Itaquaquetuba: GANG-NAIL, [1980]. 18p.(Boletim Técnico, GNA-80).

GROOM, L.H. Effect of moisture cycling on truss-plate joint behavior. **Forest Products Journal**, Madison, v.44, n.1, p.21-28, 1996.

GUPTA, R.; GEBREMEDHIN, K.G. Destructive testing of metal-plate-connected wood truss joints. **Journal of Structural Division**, New York, v.116, n.7, p.1971-1982, 1990.

LOGSDON, B.N. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. 1998. 174f. Tese (Doutorado em Engenharia das Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos., 1998.

MACKENZIE, C.; McNAMARA, R. Basic working loads for truss plate connector in *Pinus Elliottii*, **Conference Proceedings**, Gold Coast, v.2, p370-378, 1994.

McCARTY, M.; WOLFE, R.W. **Assessment of truss plate performance model applied to Southern Pine truss joints**. Madison: Forest Service, 1987, p.01-13. (Research Paper, FPL-RP-483).

MOLITERNO, A. **Projetos de telhados em estruturas de madeira**. São Paulo: Edgard Blücher, 1981.419p. (caderno)

OLIVEIRA, R.M. **Introdução ao estudo da ligação entre peças de madeira através de chapas metálicas estampadas**. São Carlos: USP/EESC, 1988. 98p (Relatório de Iniciação Científica).

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

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

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

SERAPHIM, J.H.C.; FRANCO, N. Ligações de peças de madeira de eucalipto com o uso de chapas metálicas de dentes estampados. **Téchne**, São Paulo, n. 51, p.50-54, 2001.

SHRESTHA, D.; ALBANI, T. Out-of-plane capacity of truss connector plates. **Forest Products Journal**, Madson, v.46, n.13, p.79-81, 1996.

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

STAHL, D.C.; CRAMER, S.M.; WOLFE, R.W. Behavior of metal-plate-connected trusses with square-end webs. **Forest Products Journal**, Madson, v.46, n.11, p.78-84, 1996.

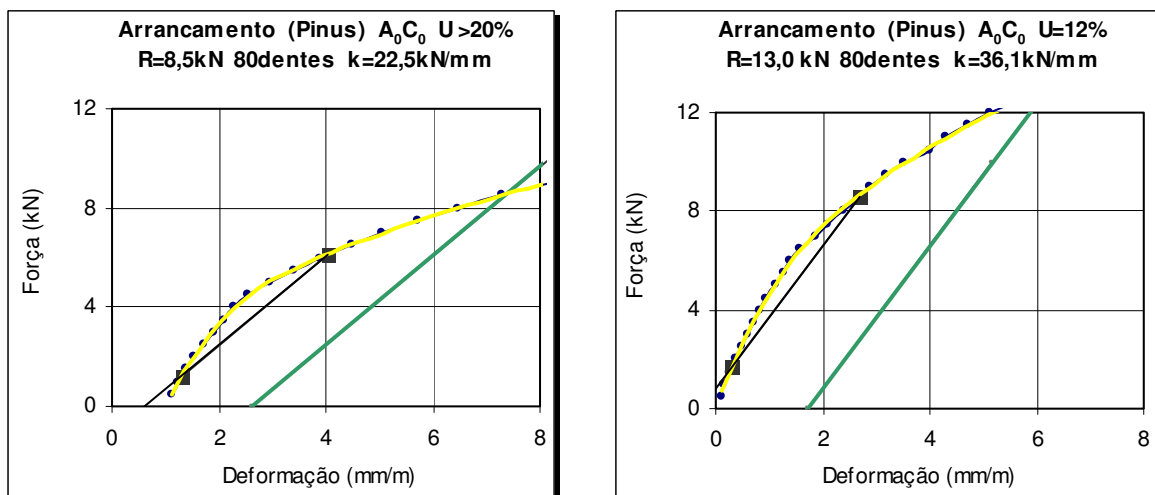
STERN, E.G. 35 years of experience with certain types of connectors used for the assembly of wood structures and their components. **Forest Products Journal**, Madson, v.42, n.11/12, p.33-45, 1992.

UJVARI, W.Z.; SCHON, R.H. **Utilização de madeiras tratadas na construção industrializada**. São Carlos: USP/EESC. P.01-12 (Relatório).

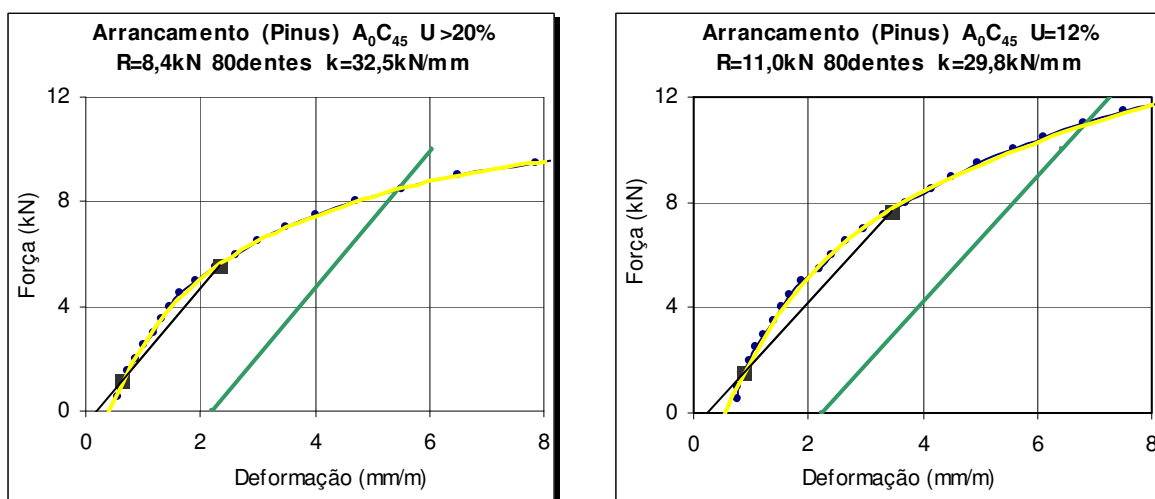
UJVARI, W.Z. Ligações em madeira, feitas com conectores dentados “Gang-Nail”. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS MADEIRA 1983, São Carlos. **Anais...** São Carlos: IBRAMEN, 1983. v.2. p.01-25.

## APÊNDICE

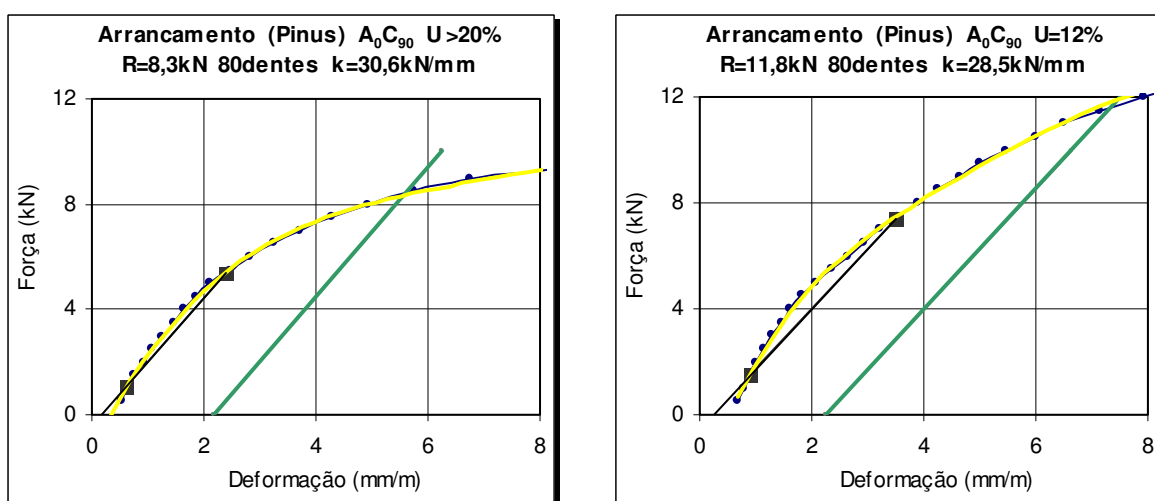
---



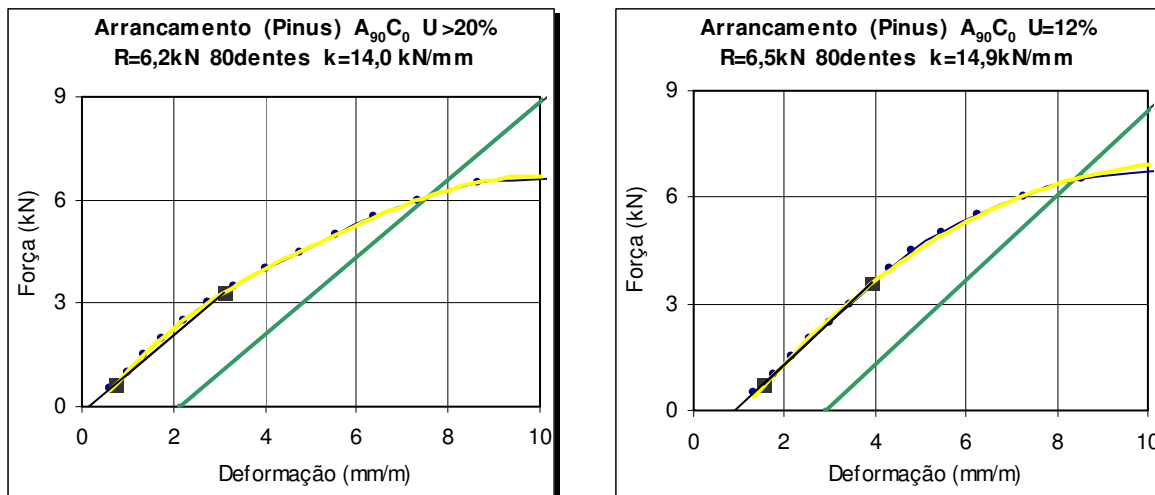
**Figura 56** – Ensaio de arrancamento com Pinus:  $A_0C_0$



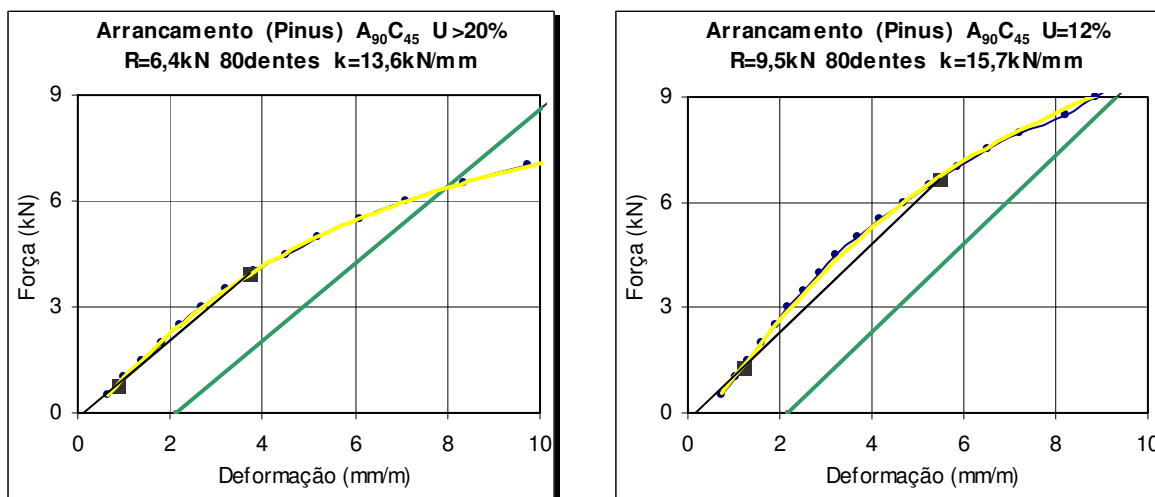
**Figura 57** – Ensaio de arrancamento com Pinus:  $A_0C_{45}$



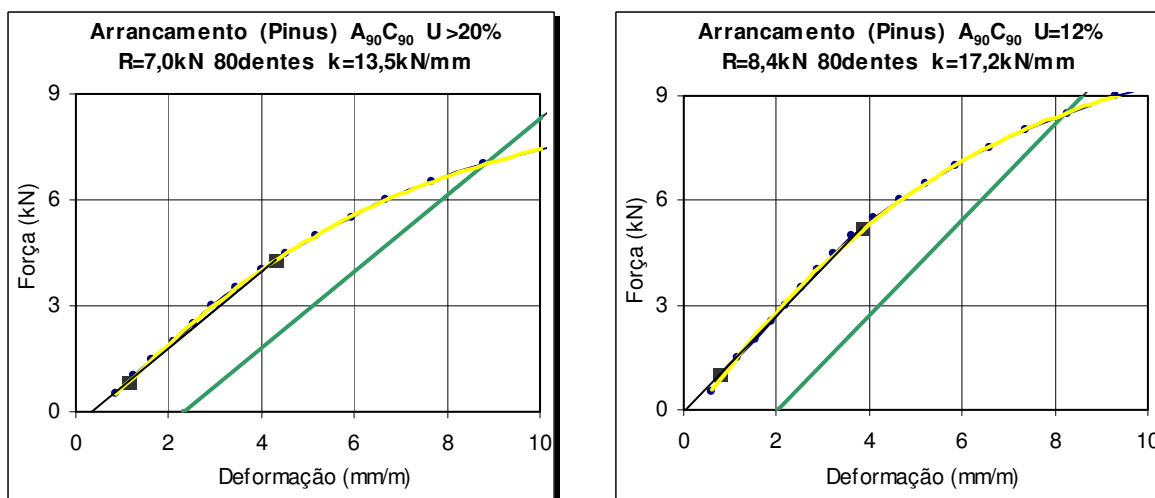
**Figura 58** – Ensaio de arrancamento com Pinus:  $A_0C_{90}$



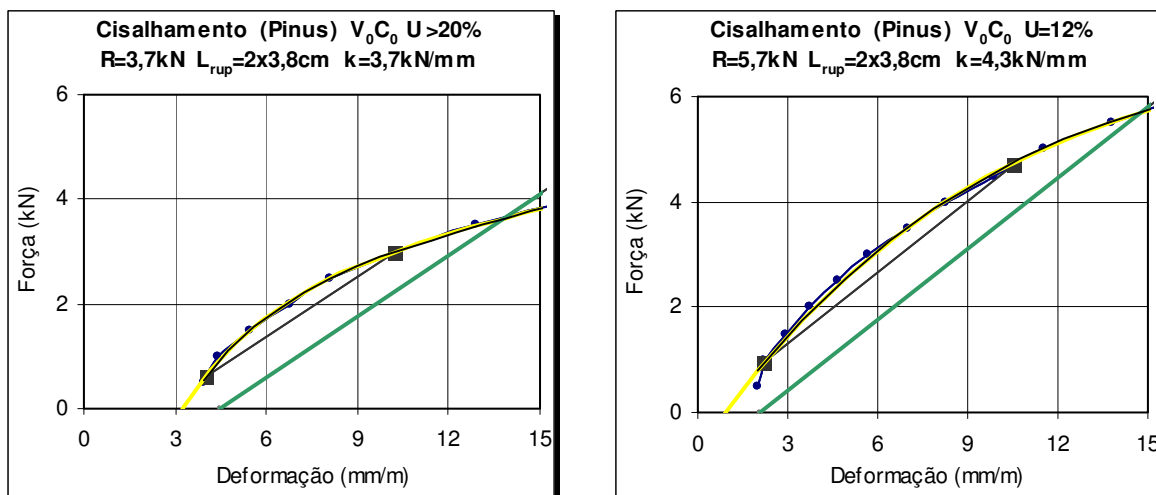
**Figura 59** – Ensaio de arrancamento com Pinus:  $A_{90}C_0$



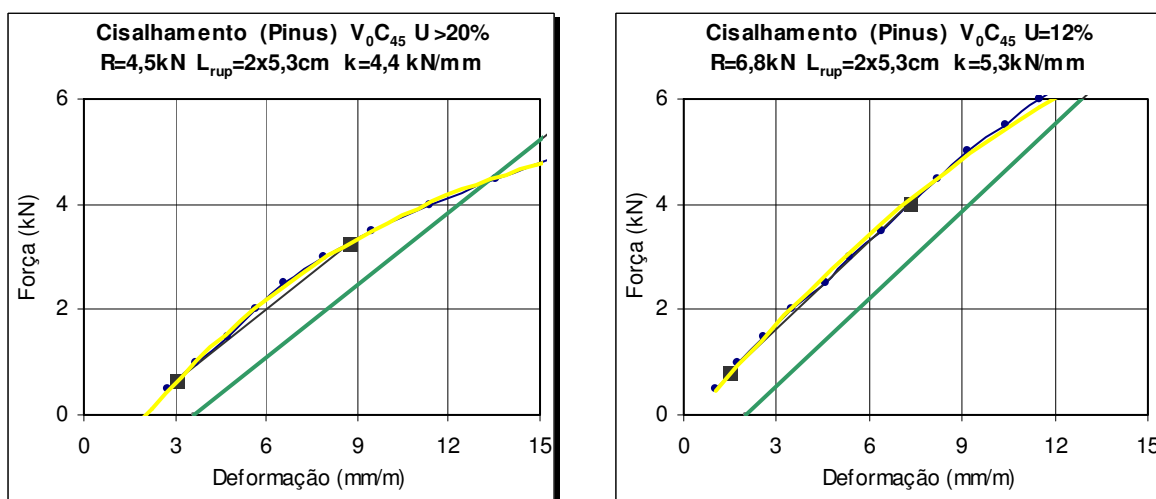
**Figura 60** – Ensaio de arrancamento com Pinus:  $A_{90}C_{45}$



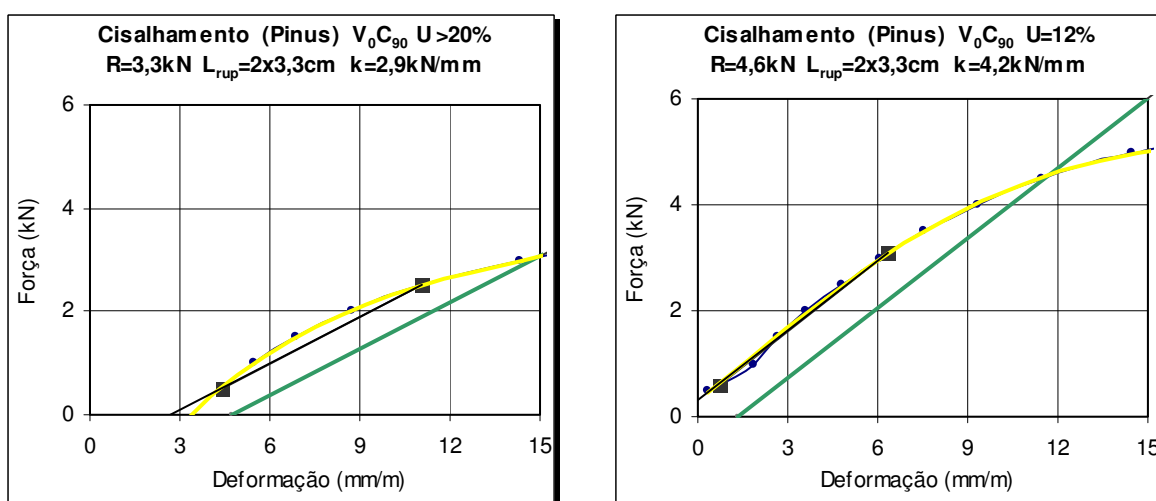
**Figura 61** – Ensaio de arrancamento com Pinus:  $A_{90}C_{90}$



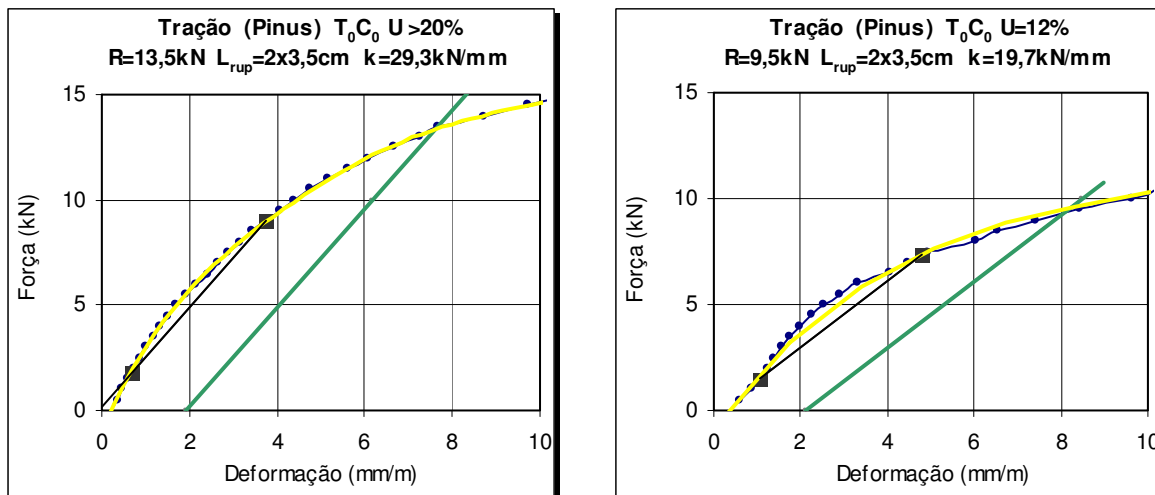
**Figura 62** – Ensaio de cisalhamento com Pinus:  $V_0C_0$



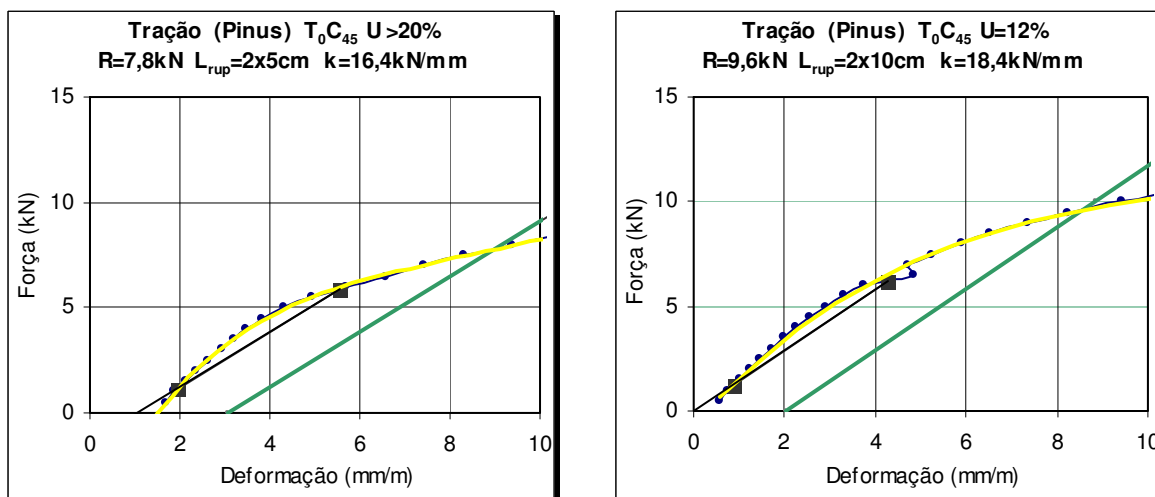
**Figura 63** – Ensaio de cisalhamento com Pinus:  $V_0C_{45}$



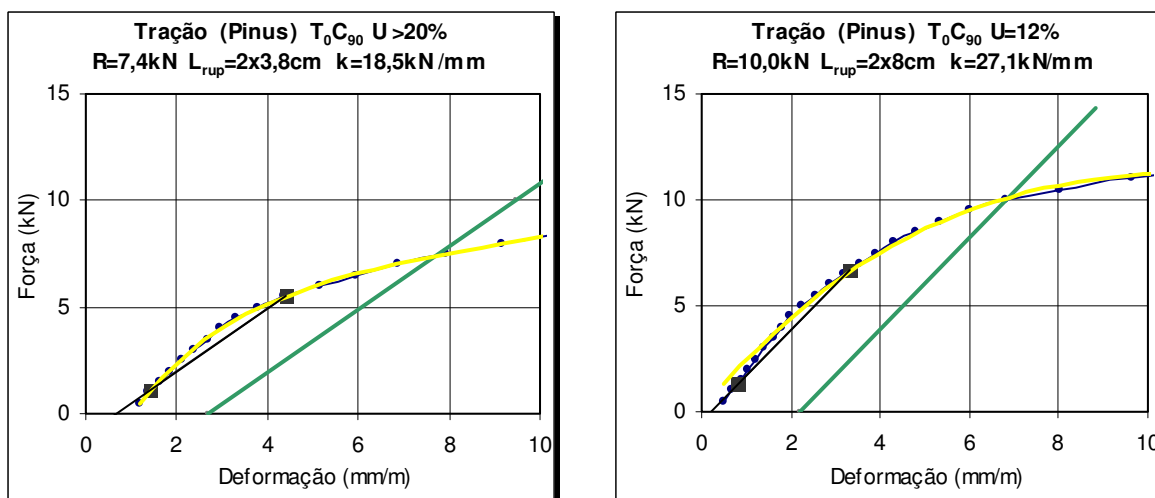
**Figura 64** – Ensaio de cisalhamento com Pinus:  $V_0C_{90}$



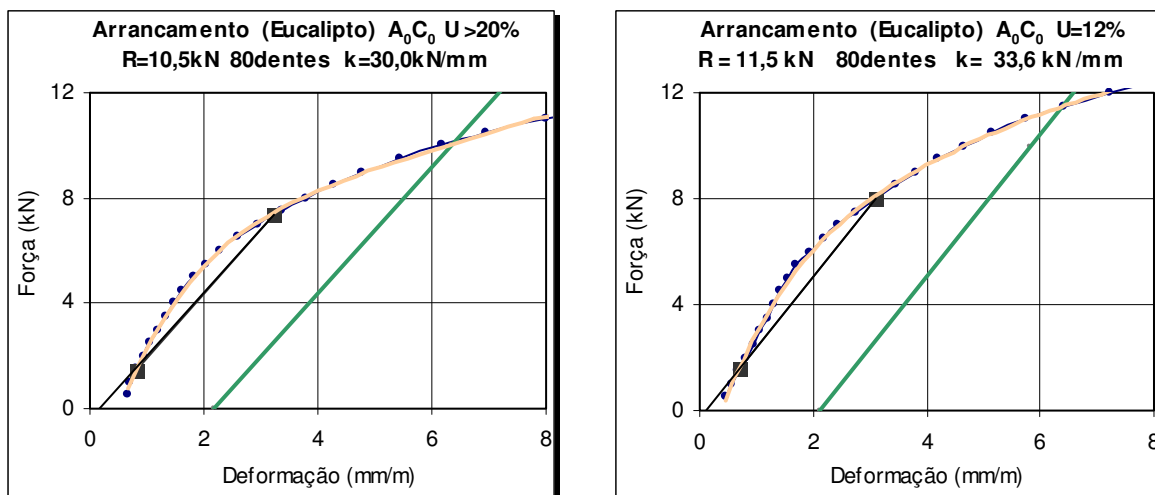
**Figura 65** – Ensaio de tração com Pinus:  $T_0C_0$



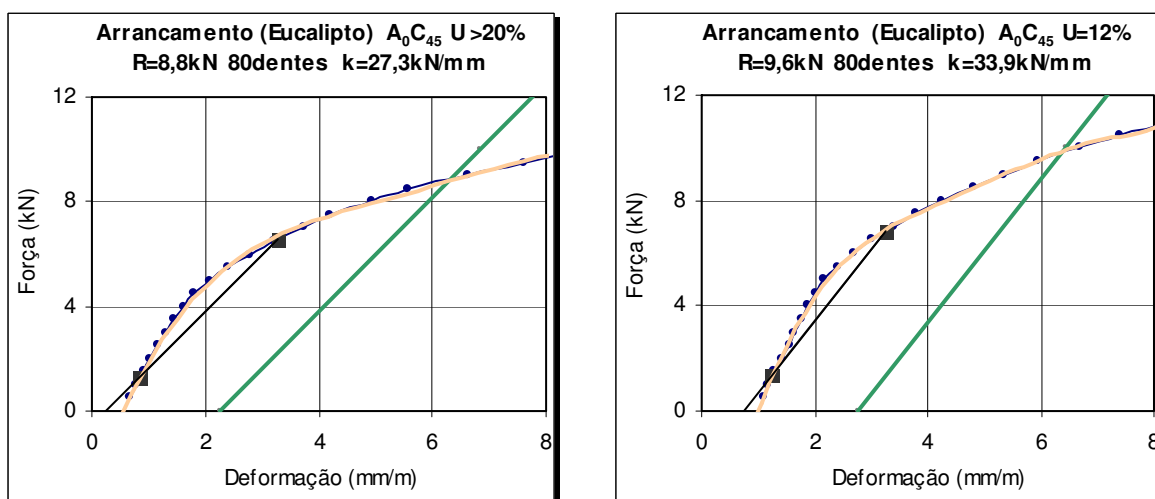
**Figura 66** – Ensaio de tração com Pinus:  $T_0C_{45}$



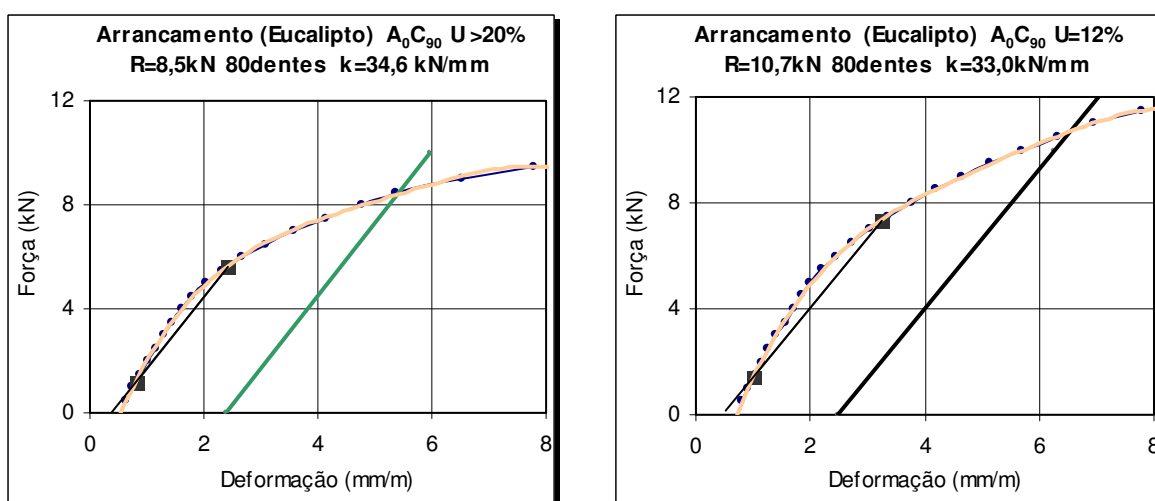
**Figura 67** – Ensaio de tração com Pinus:  $T_0C_{90}$



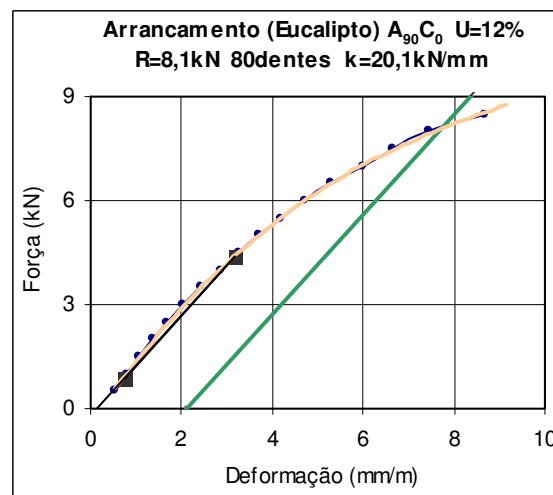
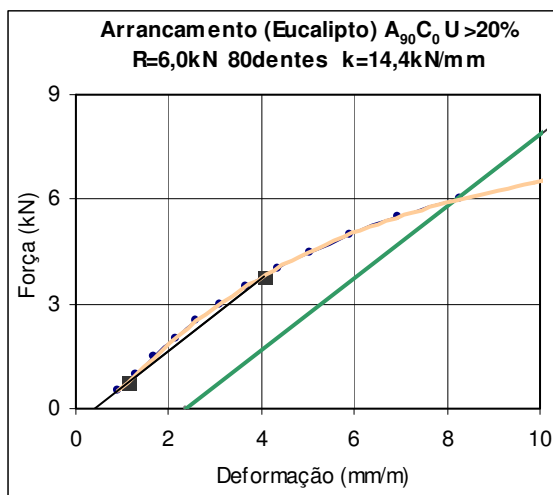
**Figura 68** – Ensaio de arrancamento com Eucalypto:  $A_0C_0$



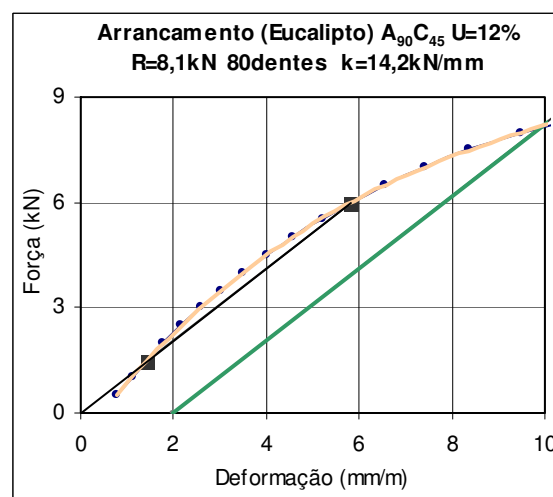
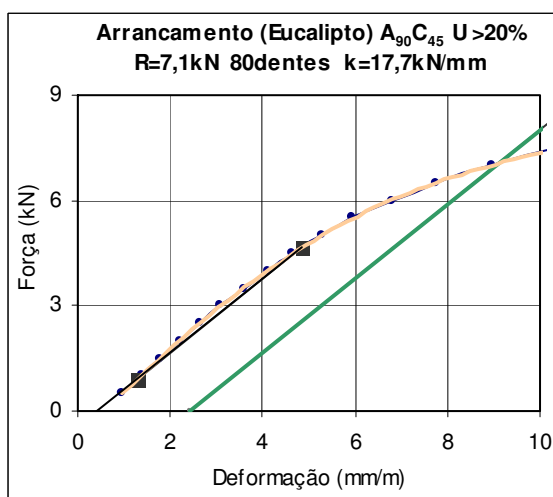
**Figura 69** – Ensaio de arrancamento com Eucalypto:  $A_0C_{45}$



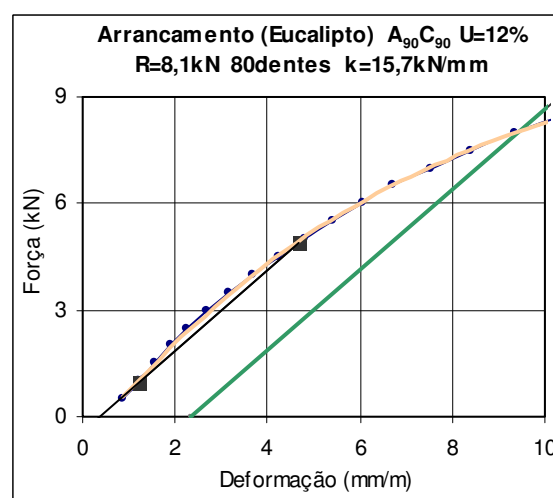
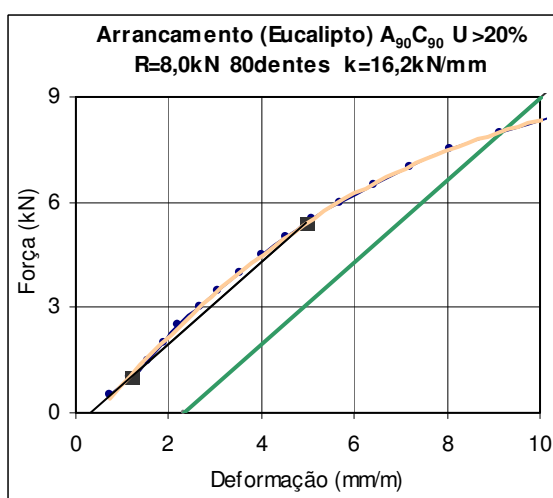
**Figura 70** – Ensaio de arrancamento com Eucalypto:  $A_0C_{90}$



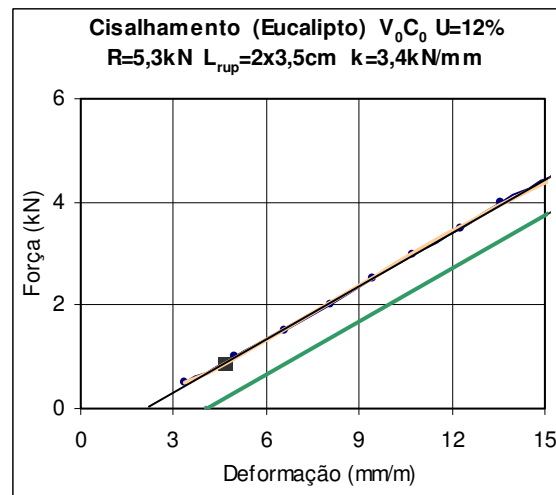
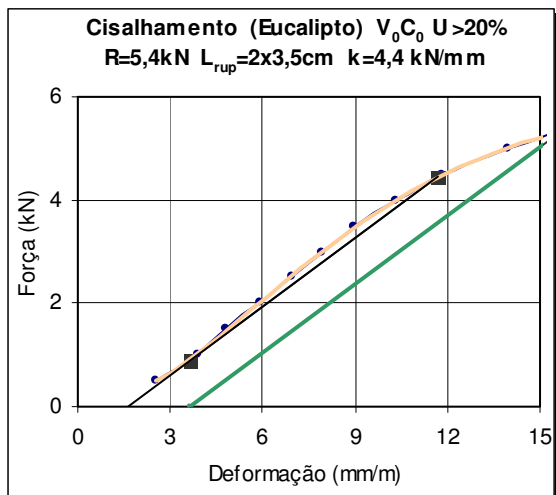
**Figura 71 – Ensaio de arrancamento com Eucalipto:  $A_{90}C_0$**



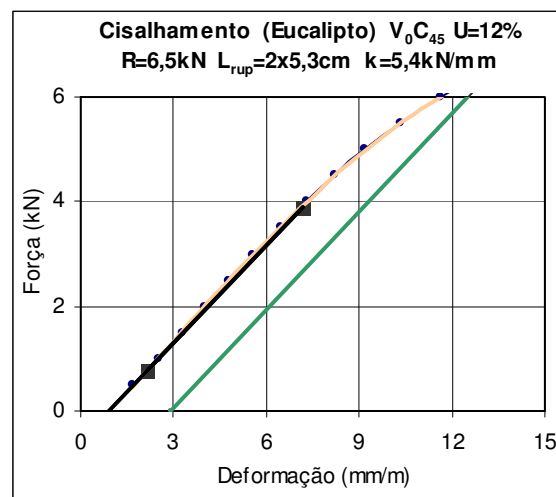
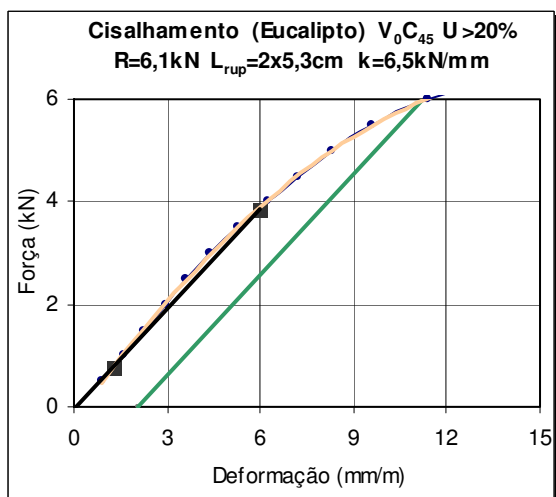
**Figura 72 – Ensaio de arrancamento com Eucalipto:  $A_{90}C_{45}$**



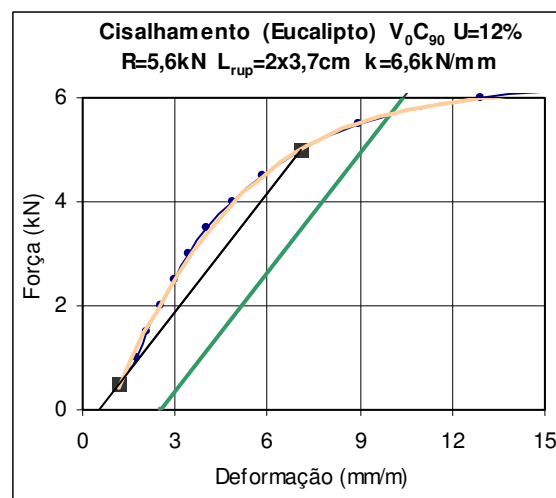
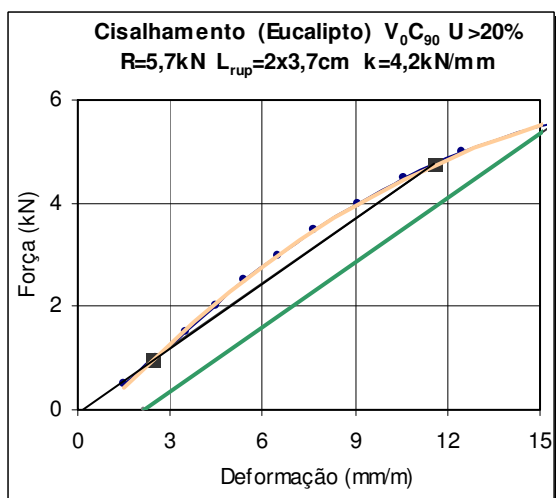
**Figura 73 – Ensaio de arrancamento com Eucalipto:  $A_{90}C_{90}$**



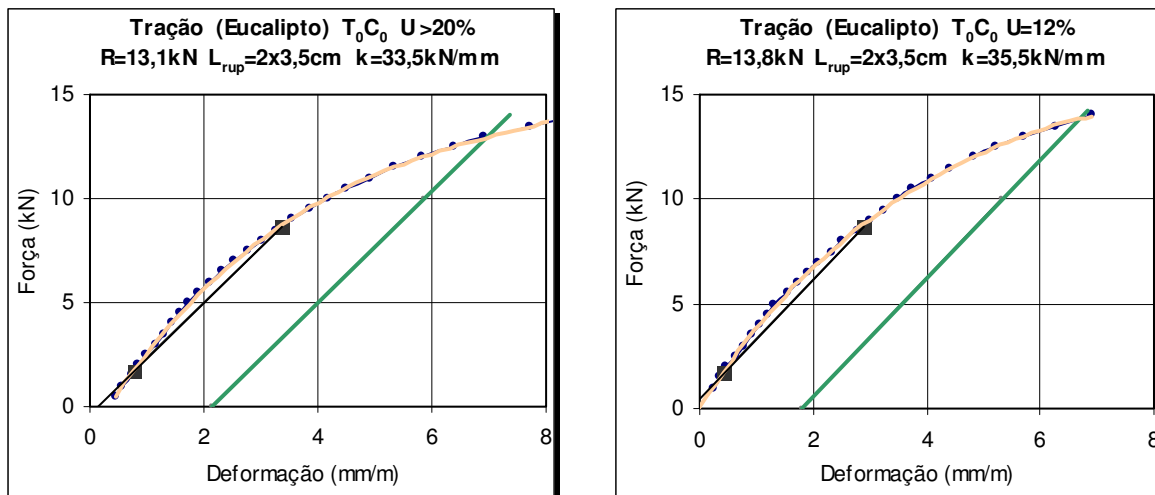
**Figura 74** – Ensaio de cisalhamento com Eucalipto:  $V_0C_0$



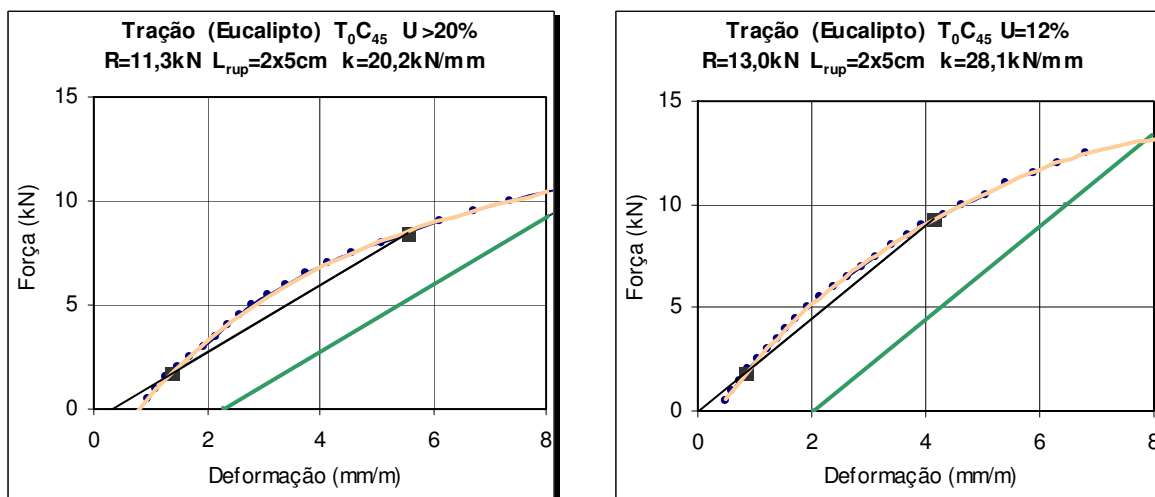
**Figura 75** – Ensaio de cisalhamento com Eucalipto:  $V_0C_{45}$



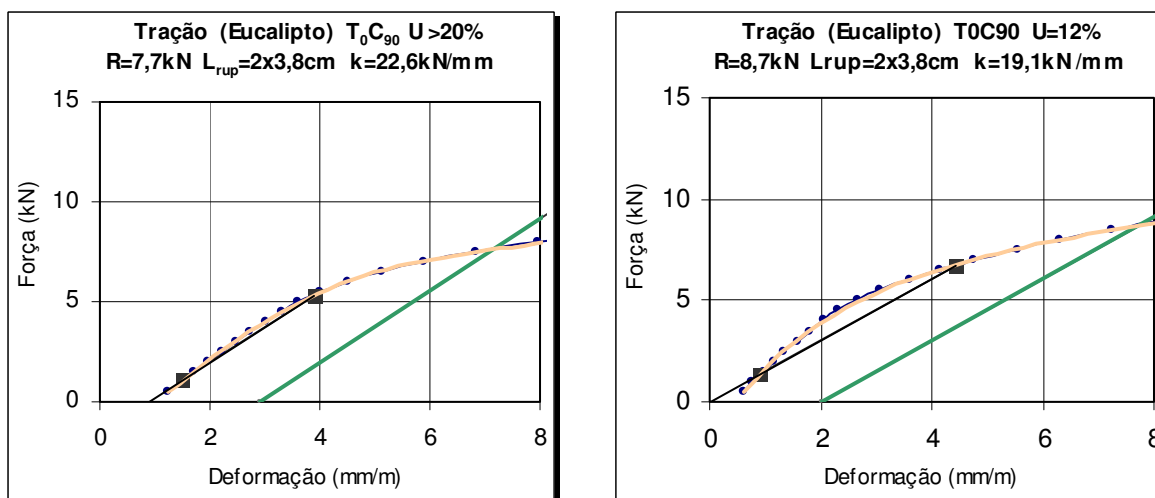
**Figura 76** – Ensaio de cisalhamento com Eucalipto:  $V_0C_{90}$



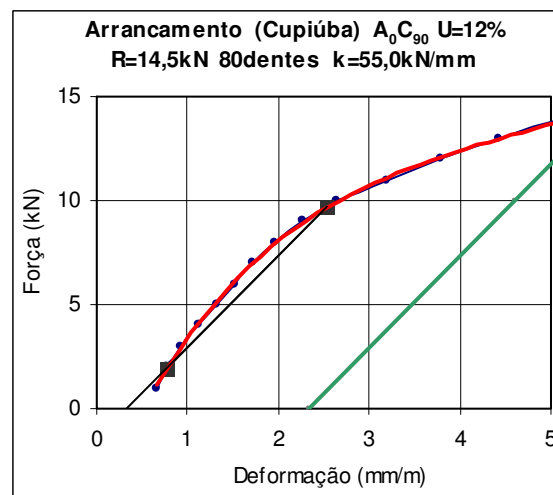
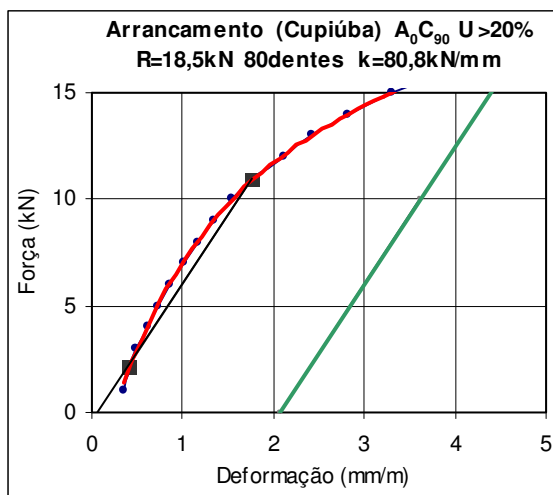
**Figura 77** – Ensaio de tração com Eucalypto:  $T_0C_0$



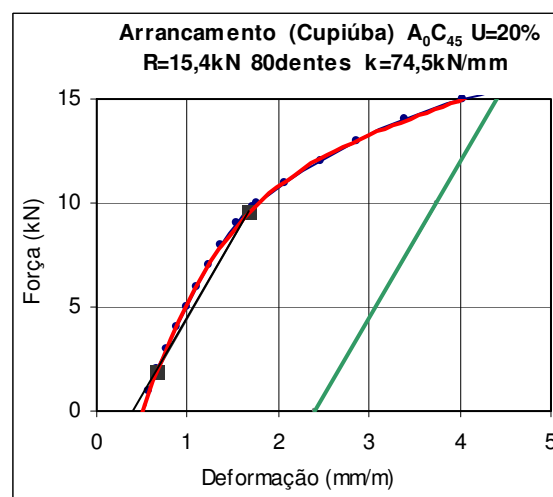
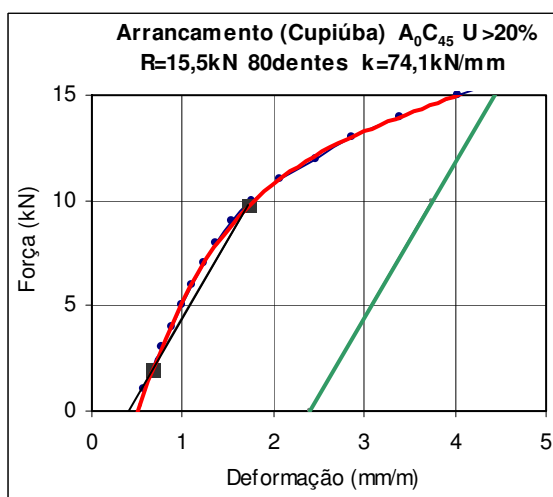
**Figura 78** – Ensaio de tração com Eucalypto:  $T_0C_{45}$



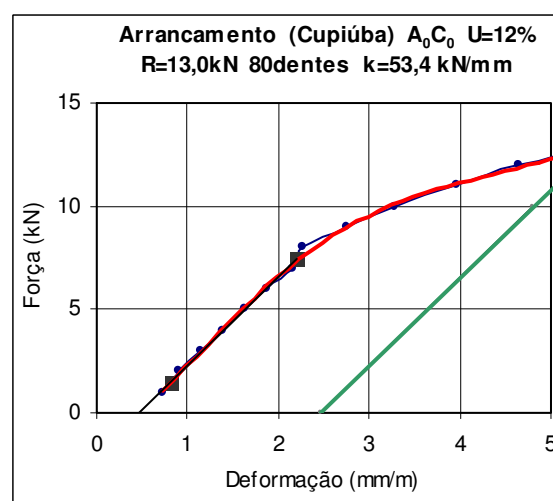
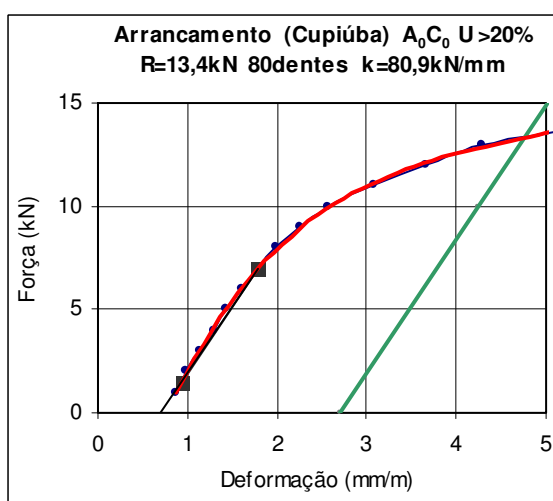
**Figura 79** – Ensaio de tração com Eucalypto:  $T_0C_{90}$



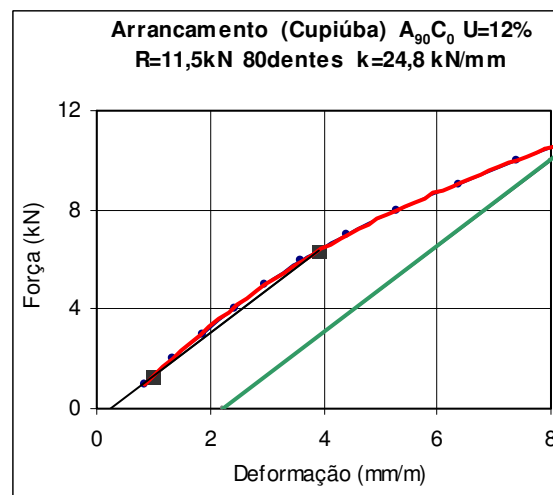
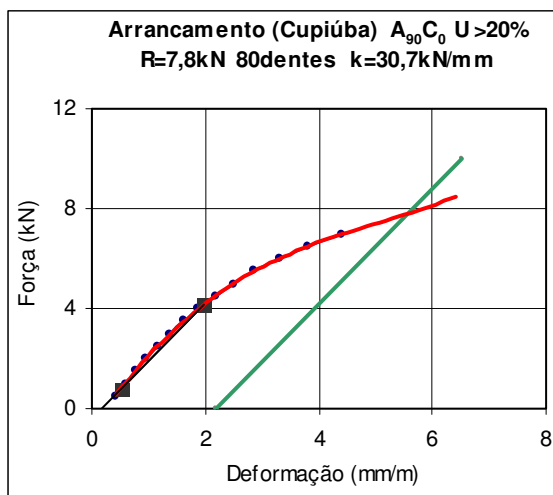
**Figura 80** – Ensaio de arrancamento com Cupiúba:  $A_0C_0$



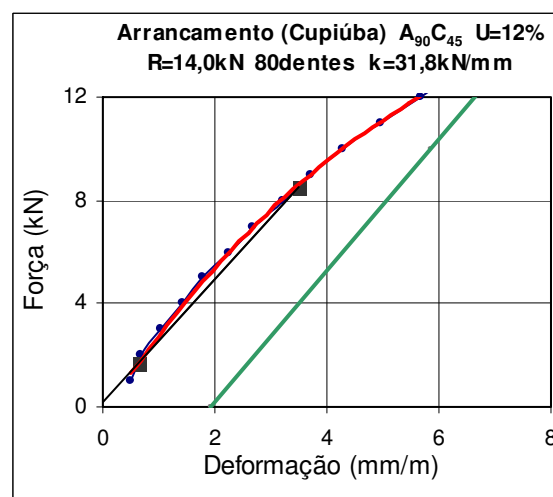
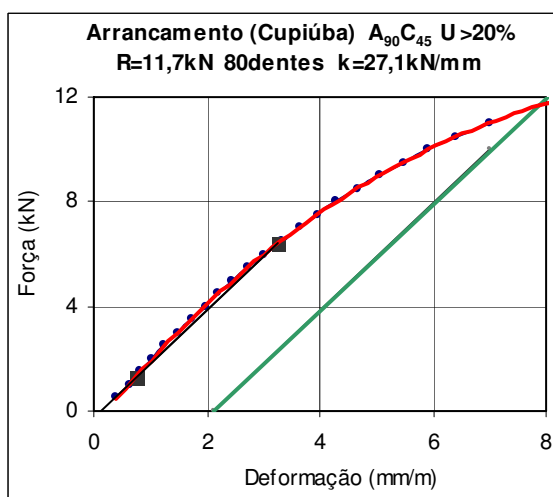
**Figura 81** – Ensaio de arrancamento com Cupiúba:  $A_0C_{45}$



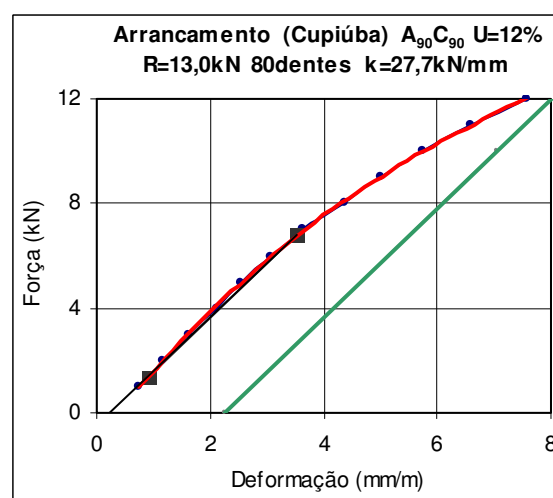
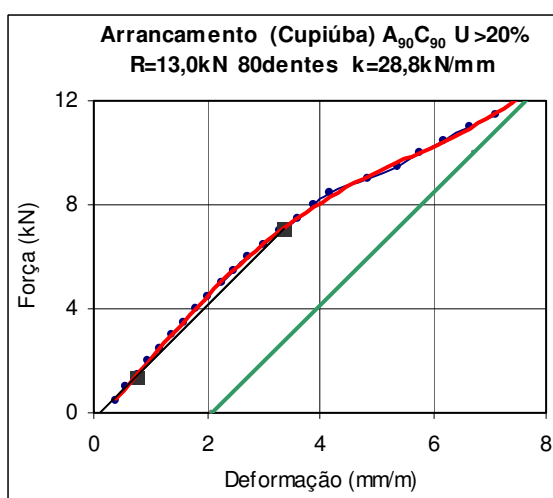
**Figura 82** – Ensaio de arrancamento com Cupiúba:  $A_0C_{90}$



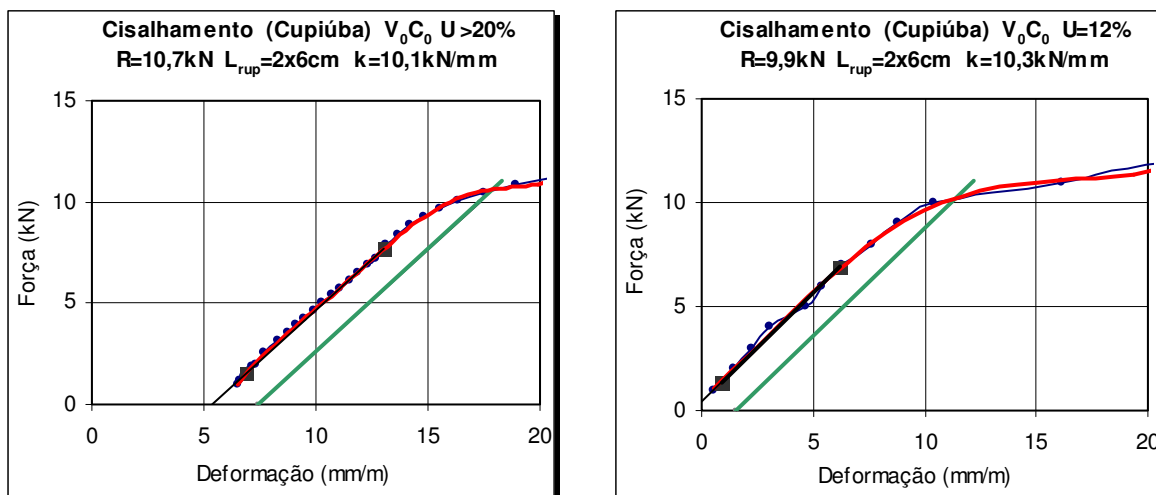
**Figura 83** – Ensaio de arrancamento com Cupiúba:  $A_{90}C_0$



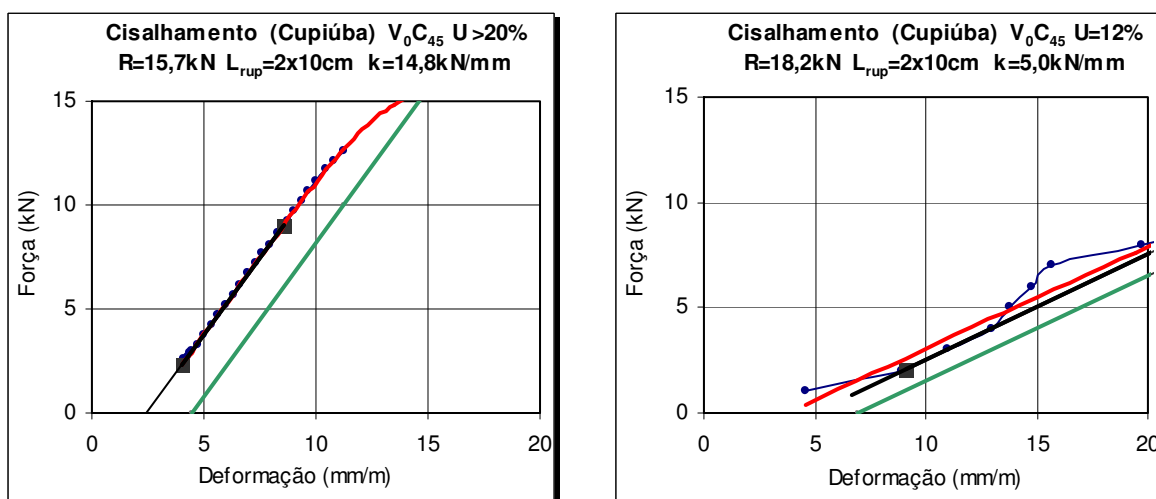
**Figura 84** – Ensaio de arrancamento com Cupiúba:  $A_{90}C_{45}$



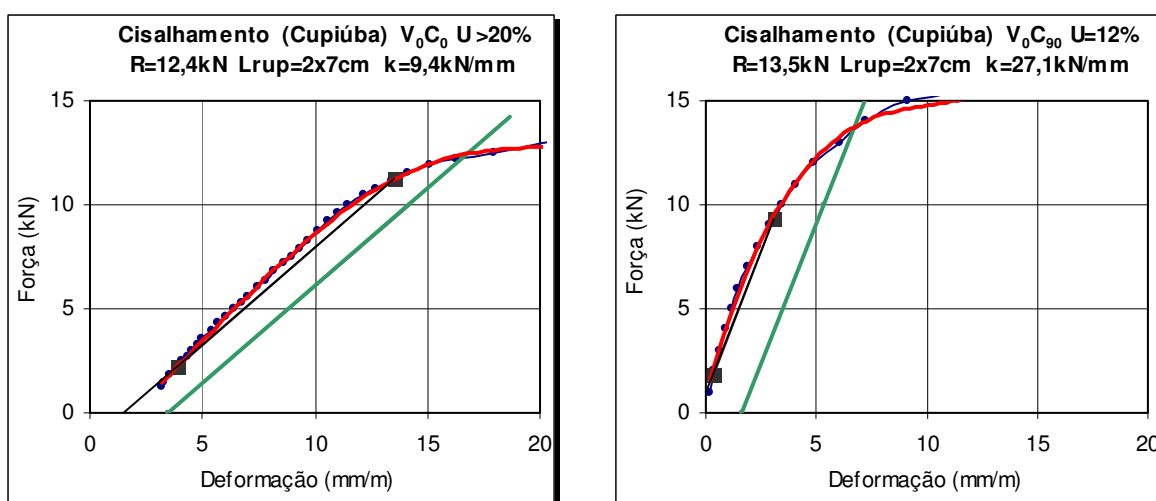
**Figura 85** – Ensaio de arrancamento com Cupiúba:  $A_{90}C_{90}$



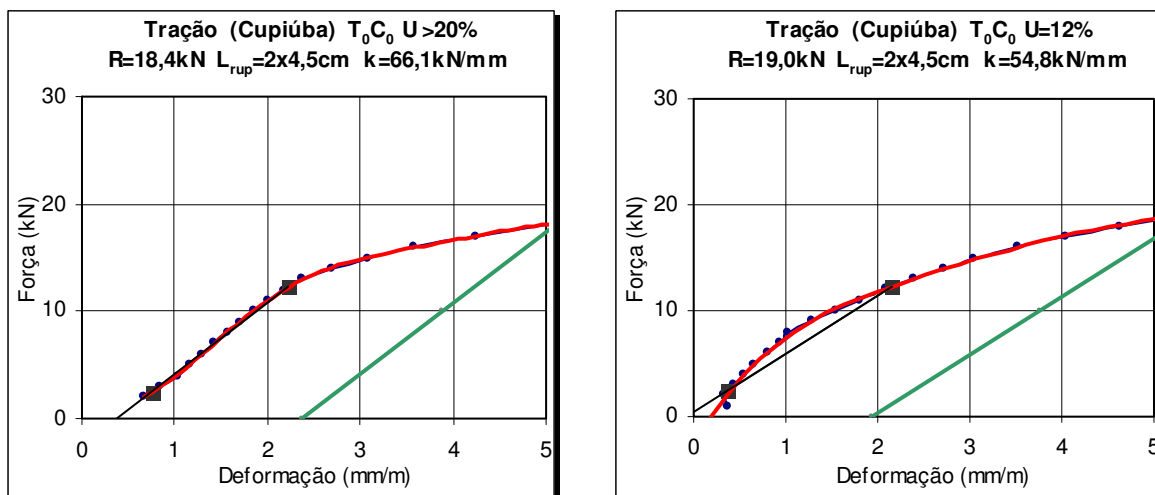
**Figura 86** – Ensaio de cisalhamento com Cupiúba:  $V_0C_0$



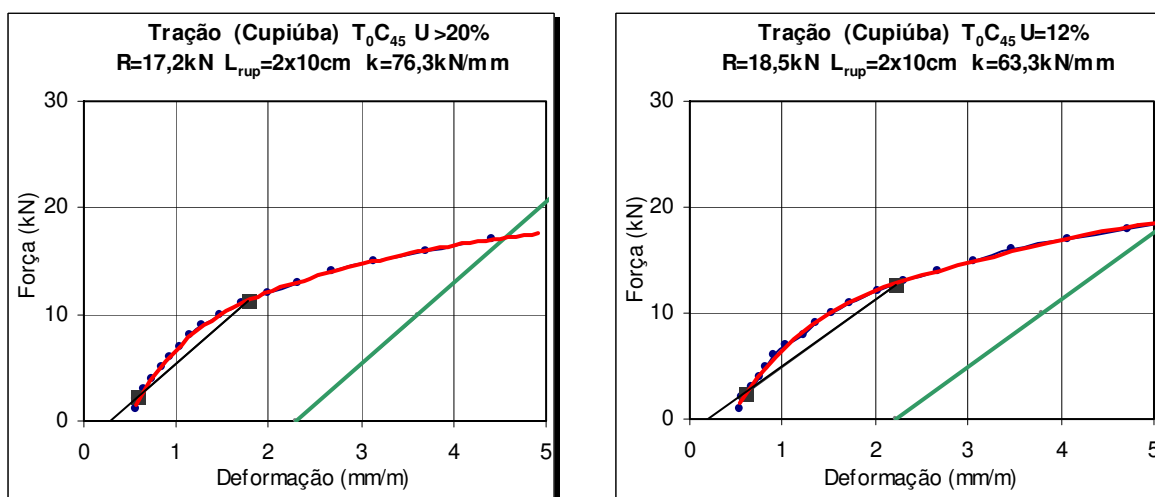
**Figura 87** – Ensaio de cisalhamento com Cupiúba:  $V_0C_{45}$



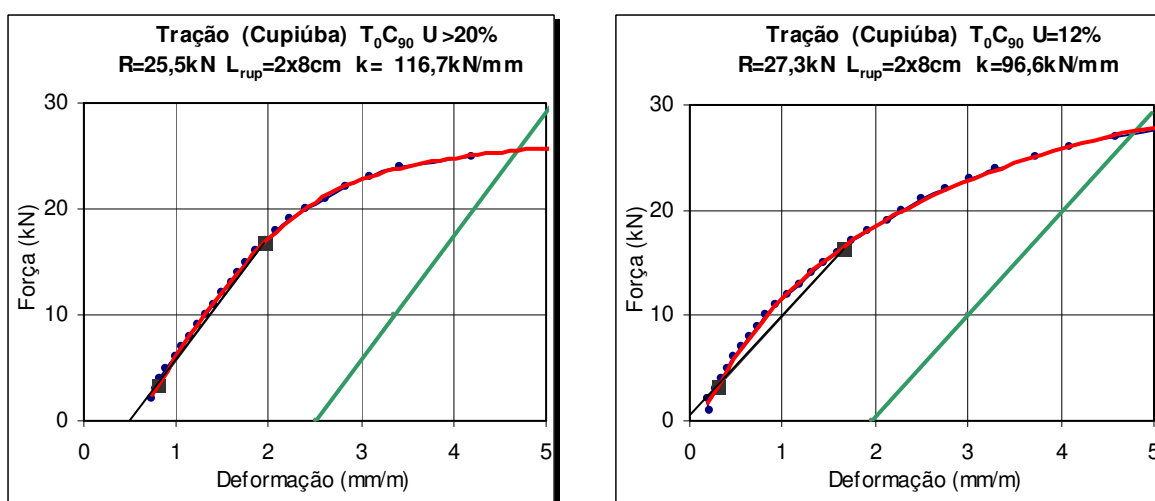
**Figura 88** – Ensaio de cisalhamento com Cupiúba:  $V_0C_{90}$



**Figura 89** – Ensaio de tração com Cupiúba:  $T_0C_0$



**Figura 90** – Ensaio de tração com Cupiúba:  $T_0C_{45}$



**Figura 91** – Ensaio de tração com Cupiúba:  $T_0C_{90}$