

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS**

***MÉTODO DE ENSAIO DE LIGAÇÕES DE ESTRUTURAS DE MADEIRA POR  
CHAPAS COM DENTES ESTAMPADOS***

**LÍVIO TÚLIO BARALDI**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do Título de **Mestre em Engenharia de Estruturas.**

**ORIENTADOR : Prof. Dr. Carlito Calil Junior**

São Carlos

1996

**DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS**

Class.	7500
CHA	B 179 m
Tombo	117/26-551

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP

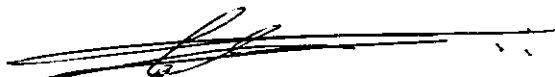
B224m Baraldi, Lívio Túlio  
Método de ensaio de ligações de estruturas de  
madeira por chapas com dentes estampados / Lívio  
Túlio Baraldi. -- São Carlos, 1996.

Dissertação (Mestrado). -- Escola de Engenharia  
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1996.  
Orientador: Prof. Dr. Carlito Calil Junior.

1. Madeira-estruturas. 2. Chapa com dentes  
estampados. 3. Ensaaios. I. Título

## FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 11-10-1996  
pela Comissão Julgadora:



---

Prof. Doutor **CARLITO CALIL JUNIOR (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



---

Prof. Doutor **MAXIMILIANO MALITE**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



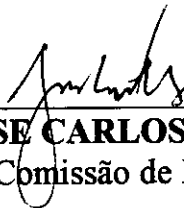
---

Prof. Doutor **PEDRO AFONSO DE OLIVEIRA ALMEIDA**  
(Escola Politécnica - Universidade de São Paulo)



---

Prof. Dr. **MOUNIR KHALIL EL DEBS**  
Coordenador da área - Engenharia de Estruturas



---

Prof. Dr. **JOSE CARLOS A. CINTRA**  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

*À Deus pela sabedoria,  
e à minha esposa,pais e avós pelo apoio e confiança.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Carlito Calil Junior pela orientação e amizade durante a elaboração deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento - CNPq pela bolsa de estudos concedida.

A GANG-NAIL do BRASIL pelo material fornecido para a realização dos ensaios e pela bolsa de estudos de Iniciação Científica.

Aos amigos do LaMEM:

Arnaldo

Bragatto

Cido

Jaime

José Francisco

Roberto

Silvana

Silvio

Tânia

pelo apoio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Paulo H. M. Daroz pelo cooperação na realização dos ensaios.

A Fernando Okimoto e Roberto Pinheiro pela amizade.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	i
LISTA DE TABELAS .....	ix
LISTA DE SIGLAS .....	x
LISTA DE SÍMBOLOS .....	xi
RESUMO .....	xii
<i>ABSTRACT</i> .....	xiii
1 INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Histórico .....	1
1.2 Características do sistema GANG-NAIL .....	3
1.3 Justificativa e objetivos .....	4
2 REVISÃO BIBLIGRÁFICA .....	5
2.1 Artigos .....	5
2.2 Normas .....	7
2.2.1 Ensaios de tração da chapa.....	8
2.2.2 Ensaios de arrancamento da chapa de aço.....	9
2.2.3 Ensaios de cisalhamento da chapa.....	10
2.2.4 Resistência e rigidez das ligações .....	11
3 MÉTODO DE ENSAIO PROPOSTO .....	14
3.1 Madeira .....	14
3.2 Chapas com dentes estampados .....	16
3.3 Confecção dos corpos-de-prova .....	18
3.4 Execução dos ensaios .....	21
3.4.1 Considerações gerais .....	21
3.4.1.1 Procedimentos de ensaio .....	21
3.4.2 Ensaio de tração da chapa .....	22
3.4.3 Ensaio de cisalhamento da chapa de aço .....	25
3.4.4 Ensaio de arrancamento .....	27
3.4.4.1 Arrancamento paralelo às fibras da madeira .....	27

3.4.4.2 Arrancamento perpendicular às fibras da madeira .....	29
4 RESULTADOS .....	33
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	45
5.1 Ensaio de tração da chapa .....	45
5.1.1 Tração longitudinal à chapa .....	45
5.1.2 Tração transversal à chapa .....	48
5.2 Ensaio de resistência ao arrancamento .....	49
5.2.1 Arrancamento paralelo às fibras .....	49
5.2.2 Arrancamento perpendicular às fibras .....	53
5.3 Ensaio de cisalhamento da chapa .....	53
5.4 Valores de resistência das ligações .....	56
5.4.1 Tração da chapa .....	56
5.4.2 Cisalhamento da chapa .....	57
5.4.3 Arrancamento da chapa .....	58
6 CONCLUSÕES .....	59
ANEXO A .....	61
APÊNCIDE	

**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1 - Corpo-de-prova para ensaio de tração da chapa .....	08
FIGURA 2 - Corpo-de-prova para ensaio de arrancamento perpendicular	09
FIGURA 3 - Diferença nos modelos de ensaios para cisalhamento da chapa .....	10
FIGURA 4 - Determinação da resistência (R) e rigidez (k) da ligação .....	12
FIGURA 5 - Diagrama de carregamento .....	12
FIGURA 6 - Conector do tipo chapa com dentes estampados .....	18
FIGURA 7 - Prensagem dos conectores .....	19
FIGURA 8 - Exemplo de corpo-de-prova de cisalhamento preparado para ensaio .....	20
FIGURA 9 - Máquina de ensaio .....	20
FIGURA 10 - Descrição das peças de madeira para ensaio de tração da chapa .....	22
FIGURA 11 - Dispositivo de fixação do corpo-de-prova à máquina de ensaio .....	23
FIGURA 12 - Corpos-de-prova para ensaios de tração da chapa de aço..	24
FIGURA 13 - Descrição das peças de madeira para ensaio de cisalhamento da chapa .....	25
FIGURA 14 - Corpos-de-prova para ensaios de cisalhamento da chapa...	26



FIGURA 15 - Corpos-de-prova para ensaios de arrancamento paralelo às fibras .....	28
FIGURA 16 - Descrição das peças de madeira para ensaio de arrancamento perpendicular às fibras da madeira .....	30
FIGURA 17 - Dispositivo de ensaio .....	30
FIGURA 18 - Corpos-de-prova para ensaio de arrancamento perpendicular às fibras da madeira .....	29
FIGURA 19 - Ruptura da chapa por tração ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ).....	45
FIGURA 20 - Falha no ensaio de tração da chapa ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ).....	46
FIGURA 21 - Gráfico modelo de ensaio de tração da chapa .....	47
FIGURA 22 - Variação dos resultados nos ensaios de tração ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ )...	48
FIGURA 23 - Variação dos resultados nos ensaios de tração ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ). ..	49
FIGURA 24 - Variação dos resultados de arrancamento de acordo com a espécie de madeira .....	50
FIGURA 25 - Variação dos resultados de arrancamento para a mesma espécie de madeira ( $\alpha=0^\circ$ ).....	51
FIGURA 26 - Ruptura por arrancamento paralelo da chapa .....	51
FIGURA 27 - Gráfico modelo de ensaio de arrancamento .....	52
FIGURA 28 - Ruptura por arrancamento perpendicular .....	53
FIGURA 29 - Variação dos resultados nos ensaios de cisalhamento da chapa para a mesma espécie de madeira .....	54
FIGURA 30 - Variação dos resultados nos ensaios de cisalhamento da de acordo com a espécie de madeira .....	54

FIGURA 31 - Falha nos ensaios de cisalhamento .....	55
FIGURA 32 - Ruptura por cisalhamento da chapa .....	55
FIGURA 33 - Gráfico modelo do ensaio de cisalhamento da chapa .....	56
FIGURA 34 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Pinus Elliottii .....	62
FIGURA 35 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Pinus Elliottii .....	62
FIGURA 36 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Pinus Elliottii .....	63
FIGURA 37 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=45^\circ$ ) com Pinus Elliottii .....	63
FIGURA 38 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Pinus Elliottii .....	64
FIGURA 39 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Pinus Elliottii .....	65
FIGURA 40 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Pinus Elliottii .....	65
FIGURA 41 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Pinus Elliottii .....	66
FIGURA 42 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=30^\circ$ ) com Pinus Elliottii .....	67
FIGURA 43 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=60^\circ$ ) com Pinus Elliottii .....	68

FIGURA 44 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Pinus Elliottii .....	69
FIGURA 45 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Cupiúba .....	70
FIGURA 46 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Cupiúba .....	70
FIGURA 47 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Cupiúba .....	71
FIGURA 48 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=45^\circ$ ) com Cupiúba .....	71
FIGURA 49 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Cupiúba .....	72
FIGURA 50 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Cupiúba .....	73
FIGURA 51 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Cupiúba .....	73
FIGURA 52 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Cupiúba .....	74
FIGURA 53 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=30^\circ$ ) com Cupiúba .....	75
FIGURA 54 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=60^\circ$ ) com Cupiúba .....	76

FIGURA 55 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Cupiúba .....	77
FIGURA 56 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Garapa .....	78
FIGURA 57 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Garapa .....	78
FIGURA 58 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Garapa .....	79
FIGURA 59 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=45^\circ$ ) com Garapa .....	79
FIGURA 60 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Garapa .....	80
FIGURA 61 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Garapa .....	81
FIGURA 62 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Garapa .....	81
FIGURA 63 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Garapa .....	82
FIGURA 64 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=30^\circ$ ) com Garapa .....	83
FIGURA 65 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=60^\circ$ ) com Garapa .....	84

FIGURA 66 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Garapa .....	85
FIGURA 67 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora .....	86
FIGURA 68 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora .....	86
FIGURA 69 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora .....	87
FIGURA 70 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=45^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora .....	87
FIGURA 71 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora .....	88
FIGURA 72 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora.....	89
FIGURA 73 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora .....	89
FIGURA 74 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora .....	90
FIGURA 75 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=30^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora .....	91
FIGURA 76 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=60^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora .....	92

FIGURA 77 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora .....	93
FIGURA 78 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Jatobá .....	94
FIGURA 79 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Jatobá .....	94
FIGURA 80 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Jatobá .....	95
FIGURA 81 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=45^\circ$ ) com Jatobá .....	95
FIGURA 82 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Jatobá .....	96
FIGURA 83 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Jatobá .....	97
FIGURA 84 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Jatobá .....	97
FIGURA 85 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Jatobá .....	98
FIGURA 86 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=30^\circ$ ) com Jatobá .....	99
FIGURA 87 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=60^\circ$ ) com Jatobá .....	100

**FIGURA 88 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ )****com Jatobá ..... 101**

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1 - Agrupamento de classes de resistência .....	16
TABELA 2 - Dimensões das chapas utilizadas nos ensaios de tração ....	24
TABELA 3 - Dimensões das chapas utilizadas nos ensaios de cisalhamento .....	27
TABELA 4 - Dimensões das chapas utilizadas nos ensaios de arrancamento paralelo às fibras .....	29
TABELA 5 - Dimensões das chapas utilizadas nos ensaios de arrancamento perpendicular às fibras .....	32
TABELA 6 - Características das vigas: <i>Pinus elliottii</i> .....	34
TABELA 7 - Características das vigas: Cupiúba .....	35
TABELA 8 - Características das vigas: Garapa .....	36
TABELA 9 - Características das vigas: Eucalipto <i>Citriodora</i> .....	37
TABELA 10 - Características das vigas: Jatobá .....	38
TABELA 11 - Resultados - Agrupamento de classes de resistência .....	39
TABELA 12 - Resultados: <i>Pinus elliottii</i> .....	40
TABELA 13 - Resultados: Cupiúba .....	41
TABELA 14 - Resultados: Garapa .....	42
TABELA 15 - Resultados: Eucalipto <i>Citriodora</i> .....	43
TABELA 16 - Resultados: Jatobá .....	44
TABELA 17 - Comparação entre valores de resistência à tração da chapa (por par de conectores) .....	57



**LISTA DE SIGLAS**

<b>ANSI</b>	<b>American National Standards Institute</b>
<b>ASTM</b>	<b>American Society for Testing and Materials</b>
<b>BS/BSI</b>	<b>British Standard Institute</b>
<b>CDE</b>	<b>Chapas com Dentes Estampados</b>
<b>CEN/EN</b>	<b>European Standard</b>
<b>CSA</b>	<b>Canadian Standards Association</b>
<b>DIN</b>	<b>Deutsche Institut für Normung</b>
<b>NBR</b>	<b>Norma Brasileira</b>
<b>NCH</b>	<b>Norma Chilena</b>
<b>PNBR</b>	<b>Projeto de Norma Brasileira</b>
<b>TPI</b>	<b>Truss Plate Institute</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$E$	Módulo de elasticidade
$F$	Força
$F_{rup}$	Força de ruptura
$L_r$	Dimensão da chapa na seção de solicitação
$R$	Resistência da ligação
$R_{est}$	Resistência estimada da ligação
$U$	Umidade (%)
$f_{12}$	Valores de resistência na umidade padrão de 12%
$f_c$	Resistência à compressão
$f_t$	Resistência à tração
$f_v$	Resistência ao cisalhamento
$f_{(w)k}$	Valores de resistência característicos da madeira
$k$	Rigidez da ligação (kN/mm)
$\alpha$	Ângulo entre a direção da força e das fibras de madeira
$\alpha_{CH}$	Ângulo entre a direção das fibras da madeira e o comprimento da chapa
$\delta$	Coefficiente de variação
$\varepsilon$	Deformação específica
$\rho_{bas}$	Densidade básica (massa seca por volume saturado)
$\rho_{apa}$	Densidade aparente (na umidade padrão de referência de 12%)
$\sigma_x(n)$	Desvio padrão (população)

## RESUMO

BARALDI, L.T. Método de ensaio de ligações em estruturas de madeira por chapas com dentes estampados. São Carlos, 1996. 105p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

Este trabalho apresenta uma proposta de método de ensaio para determinação da resistência de ligações em peças estruturais de madeira por chapas com dentes estampados e também verifica os modos de ruptura destas ligações. Para esta finalidade foram realizados ensaios com 5 (cinco) espécies de madeira classificadas de acordo com as classes de resistência apresentadas no projeto da nova norma brasileira para estruturas de madeira, a **PNBR 7190/1996 - Projeto de Estruturas de Madeira**. No trabalho são verificados 3 (três) modos básicos de ruptura das ligações, a saber: tração da chapa, cisalhamento da chapa e arrancamento dos dentes da chapa da peça de madeira. Dentro de cada modo de ruptura verifica-se os efeitos da variação da posição da chapa em relação à direção de aplicação da força. Determina-se também a resistência da ligação de acordo com o proposto pelo projeto da nova norma brasileira para estruturas de madeira (**PNBR 7190, 1996**).

Palavras-chave : Madeira - estruturas; Chapa com dentes estampados; Ensaios

## ABSTRACT

BARALDI, L.T. Test method for joints of timber structures made with metal plate connector. São Carlos, 1996. 105p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The aim of this work is to propose a test method to determine the strength and to verify failure modes of timber joints made with metal connectors plate. To this purpose, several tests were made with 5 species of wood, which were classified according to the strength class introduced in the new Brazilian Standard for Timber Structures, NBR 7190/1996 - Timber Structure Project. In this work are verified 3 failure modes: metal connector plates under shear force and pure tension force, and lateral resistance strength of metal connector plate teeth. For each failure mode is verified the effect of the position of the plate under the direction of force. The resistance of joints are determine in agreement to the new Brazilian Standard for Timber Structures.

Keywords : wood structures; metal plate connectors; test methods; punched metal plate fasteners.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Histórico

Como material estrutural a madeira compete com o aço e o concreto, e para a grande maioria dos profissionais da engenharia é tida como de qualidade inferior.

Esta idéia foi formada ao longo dos anos principalmente pelo fato das indústrias do concreto e do aço sempre terem sido em menor número que as indústrias da madeira para suprir as necessidades do mercado e de terem sido acompanhadas de constantes pesquisas com seus resultados sendo rapidamente divulgados e acompanhados pelos profissionais da engenharia, propiciando a elaboração de projetos com elevado grau de qualidade técnica, principalmente para o concreto e, em menor escala, para o aço.

Já para a madeira, com o grande número de indústrias, as chamadas serrarias, e a utilização do material de forma desordenada e sem acompanhamento técnico adequado, não foi possível atingir o mesmo grau de desenvolvimento do concreto e do aço.

Para o desenvolvimento da madeira como material estrutural de construção é necessária a industrialização dos sistemas construtivos.

A nível mundial o desenvolvimento da indústria de estruturas de madeira ocorreu, principalmente, na Europa do pós-guerra devido à necessidade de

reconstrução rápida e econômica das cidades destruídas pela guerra. O desenvolvimento da indústria da madeira para estruturas de cobertura propiciou o surgimento de um novo conector, que possibilitou a montagem das estruturas em escala industrial, as chapas com dentes estampados, doravante denominadas CDE.

Dentro desta linha de conectores destaca-se os fabricados pela GANG-NAIL, inventados nos Estados Unidos em 1955 por J. Calvin Jurgit (**GANG-NAIL, 1980**), presidente da Automated Building Components, INC.

No Brasil, de acordo com **BARROS (1989)**, as estruturas de madeira não atingiram um alto nível de industrialização devido principalmente aos seguintes aspectos: a falta de conscientização dos proprietários quanto à elaboração técnica dos projetos de cobertura, que na maioria das vezes fica a cargo de carpinteiros; poucos são os profissionais da área da Engenharia Civil e da Arquitetura que conhecem as propriedades e sabem trabalhar com o material madeira; e a inexistência de uma política para utilização adequada e racional da madeira.

Dados fornecidos pela GANG-NAIL do Brasil (**SOUZA, 1995**), mostram que aproximadamente 75% das construções no Brasil têm suas estruturas de cobertura executadas com madeira, mas somente 2% destas construções utilizam estruturas racionalizadas, ou seja, processos industriais para produção de estruturas de madeira para cobertura.

Este baixo índice ocorre, além dos motivos citados anteriormente, devido à pouca divulgação por parte das universidades e indústrias do Brasil deste tipo de conector, e também por se tratar de um conector ainda não normalizado, uma vez que o texto da norma brasileira para estruturas de madeira foi escrito antes da industrialização deste conector.

Enquanto em outros países as pesquisas e normas foram sendo atualizadas juntamente com o avanço tecnológico, no Brasil a nível de norma só no início dos anos 90 iniciou-se a revisão da norma brasileira para estruturas de madeira. Nesta revisão (**PNBR 7190, 1996**), procurou-se suprir a deficiência apresentada em relação a utilização de conectores do tipo CDE.

## 1.2 Características do sistema GANG-NAIL

O conector GANG-NAIL não necessita de acessórios, como por exemplo os parafusos nas ligações por anéis metálicos, para garantir a fixação dos membros de madeira.

A resistência necessária à ligação é obtida pela escolha adequada da dimensão da chapa, sempre trabalhando com pares de conectores.

Dentre as principais características das estruturas de coberturas executadas por CDE, destacam-se:

- Propicia uma redução do peso da estrutura em até 40% com relação ao sistema tradicional (vigas de 6x12 e 6x16), sem projetos elaborados por profissionais da engenharia;
- Alívio das cargas concentradas: nas treliças, devido ao menor espaçamento entre as mesmas, e nas fundações, com a diminuição do peso próprio da estrutura devido ao menor consumo de madeira;
- Facilidade na instalação de equipamentos em função do menor espaçamento das treliças;
- Melhor aproveitamento do material;
- Qualidade técnica dos projetos;
- Industrialização;
- Controle de qualidade;
- O sistema apresenta um bom desempenho estrutural para vãos de até 20 metros;

- Limitação do raio de transporte econômico: Falta de indústrias de telhados espalhadas pelo Brasil, encarecendo a execução de estruturas em certas regiões;
- Não trabalha com peças de seção transversal robustas aparentes.

O processo de fabricação pode ser dividido em três etapas: na primeira, a partir do projeto são cortadas as peças de madeira nas dimensões especificadas; em seguida as peças são posicionadas sobre uma mesa gabarito; e na seqüência é executada a prensagem dos conectores. Montadas as treliças, estas podem ser armazenadas na própria indústria ou no canteiro de obras de maneira adequada para, na seqüência, executar-se a montagem da estrutura.

### 1.3 Justificativa e objetivos

Este trabalho surgiu pela necessidade da Comissão de Estudos da ABNT, para a revisão da norma de estruturas de madeira, com a finalidade da proposta de um método de ensaio para ligações por CDE.

Cabe destacar também que, com a inclusão deste tipo de conector na nova norma brasileira para estruturas de madeira, ele será mais uma boa opção de ligações em estruturas de madeira para os profissionais da Engenharia Civil.

Este trabalho tem, portanto, como objetivo principal, a elaboração de um método de ensaio e sua verificação experimental para ligações em estruturas de madeira por CDE, com ênfase à proposta de um método de ensaio para a determinação da resistência e rigidez destas ligações para a **PNBR 7190/1996** e a verificação dos modos de ruptura avaliados nos ensaios.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A bibliografia para a realização deste trabalho pode ser dividida em dois grupos principais: o primeiro está relacionado com as normas referentes a estruturas treliçadas de madeira utilizando-se CDE; o segundo refere-se aos artigos publicados em revistas técnicas das pesquisas sobre este tipo de conector realizadas no Brasil e no exterior.

As normas foram importantes para a realização da primeira etapa do trabalho contendo um método de ensaio para o estudo do comportamento da ligação. Já as pesquisas realizadas por outros pesquisadores foram importantes para a verificação da validade dos resultados obtidos nos ensaios.

### 2.1 Artigos

A base do levantamento bibliográfico sobre pesquisas realizadas com este tipo de conector foi o artigo publicado por **Stern (1992)**, onde o autor apresenta uma lista com aproximadamente 250 (duzentos e cinquenta) trabalhos desenvolvidos nos últimos 35 (trinta e cinco) anos com conectores do tipo CDE e outros similares. A partir desta lista foi possível adquirir várias outras publicações de trabalhos desenvolvidos no exterior.

Outro trabalho de grande importância para o desenvolvimento desta pesquisa foi o desenvolvido por **McCarthy e Wolfe (1987)**, que verifica a influência das variáveis: tamanho e número de dentes; tamanho e

orientação da chapa; orientação das fibras da madeira; espécie de madeira e umidade, na determinação da rigidez e resistência das ligações. Deste mesmo trabalho foram adaptados os dispositivos de ensaio a serem utilizados para adaptar os corpos-de-prova à máquina de ensaio.

**Gupta e Gebremedhin (1990)**, apresentam um novo dispositivo de ensaio onde simulam em laboratório um comportamento da ligação mais próximo da estrutura real, considerando também o coeficiente de rigidez da ligação. O ponto mais importante a ser destacado deste trabalho é a verificação dos modos de ruptura que ocorreram nos ensaios: ruptura da chapa, ruptura da madeira e arrancamento, que são os mesmos encontrados nos ensaios realizados em corpos-de-prova padronizados.

Testes realizados por **Mackenzie e McNamara (1994)**, para a verificação da resistência de ligações por CDE, mostram que três modos de ruptura podem ocorrer nos ensaios, que são: arrancamento da chapa; ruptura da madeira e ruptura da chapa. Observa também a importância da cravação da chapa na madeira por meio de prensas para garantir a boa penetração dos dentes da chapa nas peças de madeira, garantindo assim o número efetivo de dentes trabalhando na ligação. As conclusões apresentadas pelos autores são que a utilização de chapas com dimensões diferentes apresentam desempenhos diferentes, a má penetração dos dentes na madeira diminui a resistência ao arrancamento, e esta mesma resistência aumenta com o aumento da densidade da madeira. Verificam ainda que a exposição das ligações por pequeno período de tempo às variações climáticas não afetam a resistência das ligações, mas a prática tem mostrado que a exposição por um longo período de tempo pode provocar o afrouxamento do conector na peça de madeira.

O estudo da deformação devido a carregamento repetido foi avaliado por **Emerson e Fridley (1996)**, onde concluiu-se que sobre carregamento

dinâmico as ligações apresentam rigidez um pouco inferior à apresentada para carregamento estático, mas em contrapartida apresentam maior resistência à ruptura.

## 2.2 Normas

Foram estudadas as seguintes normas :

- British Standard Institution (1989) - BS 6948 - Methods of Test;
- Instituto Nacional de Normalización. NCH 1198 - Madera : Construciones de madera - Calculo;
- Deutsche Institut für Normung (1988). DIN 1052 - Structural Use of Wood;
- CEN-TC 124 (1994). pr EN 1075 - Timber Structures - Test Methods - Joints made with punched metal plate fasteners;
- American National Standards Institute/Truss Plate Institute (1995). ANSI/TPI 1 (Draft 6) - National design standard for metal plate connected wood truss construction;
- American Society for Testing and Materials. ASTM E489 - Test methods for tensile strength properties of steel truss plates (1992);

ASTM E767 - Test methods for shear resistance of steel truss plate;

- Canadian Standards Association. CSA S347 - Methods of test for evaluation of truss plate used in lamber joints (1980);
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira (1996).

As normas chilena (**NCH 1198**), e alemã (**DIN 1052, 1988**), não apresentam métodos de ensaio para a caracterização das ligações, apresentando apenas critérios de dimensionamento para as ligações executadas por CDE, e por isso não serão utilizadas neste trabalho.

Os modelos de ensaios apresentados pela norma canadense foram estudados a partir de pesquisas realizadas, tendo como base esta norma.

Já as normas da ASTM não foram utilizadas por terem sido substituídas pela ANSI/TPI, exclusiva para conectores do tipo CDE.

A partir destes estudos o trabalho concentrou-se principalmente em três normas: a inglesa **BS 6948**, a europeia **prEN 1075** e a americana **ANSI/TPI 1**.

Estas normas apresentam métodos de ensaio baseados em três modos básicos de ruptura a serem analisados, que são:

- Tração da chapa de aço;
- Cisalhamento da chapa de aço;
- Arrancamento dos dentes da chapa da peça de madeira.

Para cada modo de ruptura as normas especificam variações da posição da chapa, especificando ângulos do eixo longitudinal da chapa em relação à direção das fibras da madeira ( $\alpha_{CH}$ ) e o ângulo entre a direção da força e as fibras da madeira ( $\alpha$ ). Apresentam ainda as dimensões a serem utilizadas na confecção das peças de madeira que compõem os corpos-de-prova.

### 2.2.1 Ensaio de tração da chapa

Todas as normas especificam um mesmo modelo básico de corpo-de-prova para este tipo de verificação, composto por duas peças de madeira, unidas por um par de conectores, como pode ser visto na figura 1.



FIGURA 1 - Corpo-de-prova para ensaio de tração da chapa

As normas inglesa (**BS 6948, 1989**), e a americana (**ANSI/TPI 1, 1995**), especificam duas variações da posição da chapa, com ângulos de  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , com relação à direção de aplicação da força. Já a norma européia (**prEN 1075, 1995**), especifica variações da chapa no intervalo de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , sendo que os ângulos intermediários podem ser definidos de acordo com os interesses da pesquisa.

### 2.2.2 Ensaio de arrancamento da chapa de aço

Os ensaios de arrancamento são divididos em duas categorias: o arrancamento com aplicação da força paralela às fibras da madeira e o arrancamento com a força aplicada perpendicular às fibras da madeira.

O corpo-de-prova para ensaio de arrancamento paralelo às fibras é o mesmo apresentado para os ensaios de tração da chapa. Já para os ensaios de arrancamento perpendicular às fibras é especificado o seguinte corpo-de-prova pelas normas:

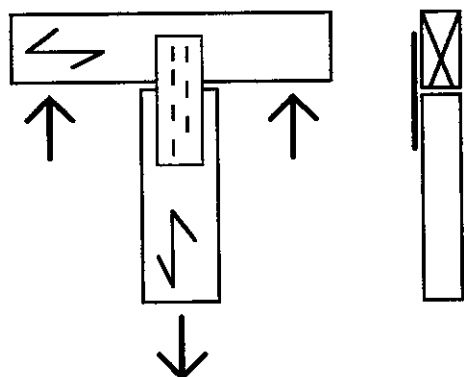


FIGURA 2 - Corpo-de-prova para ensaio de arrancamento perpendicular

Para a verificação do arrancamento paralelo às fibras, as três normas especificam variações distintas com relação ao posicionamento da chapa. A norma inglesa (**BS 6948, 1989**), especifica 4(quatro) variações da posição da chapa com ângulos de  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  e  $90^\circ$ . Já a norma americana

(ANSI/TPI 1, 1995), especifica apenas duas variações da posição da chapa com ângulos de  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , enquanto que a norma européia (prEN 1075, 1995), especifica dois ângulos,  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , e ainda ângulos intermediários de acordo com os interesses da pesquisa.

Na verificação do arrancamento perpendicular às fibras todas as normas especificam duas variações da posição da chapa com ângulos de  $0^\circ$  e  $90^\circ$ , sendo que a norma européia (prEN 1075, 1995), especifica verificações com ângulos dentro deste intervalo

### 2.2.3 Ensaio de cisalhamento da chapa

Nos ensaios de cisalhamento da chapa, encontrou-se 3(três) variações nos modelos dos corpos-de-prova, como mostra a figura 3.

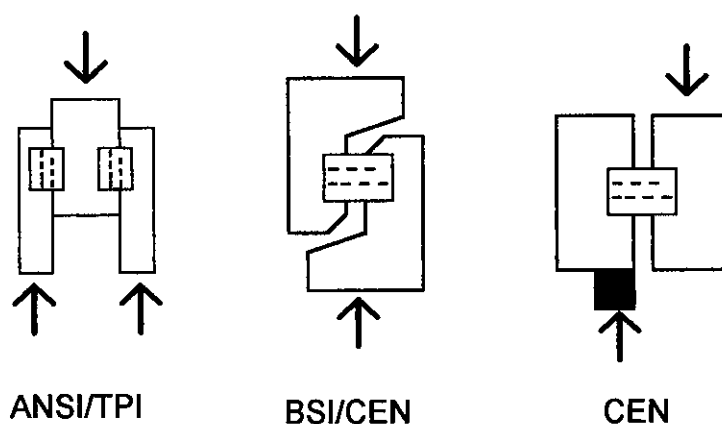


FIGURA 3 - Diferença nos modelos de ensaios para cisalhamento da chapa

São especificadas por todas as normas variações da chapa com ângulos no intervalo de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , sendo que a norma inglesa (BS 6948, 1989) especifica uma variação com incremento de  $15^\circ$ , a européia (prEN 1075, 1995) não apresenta ângulos pré-definidos deixando a escolha de acordo com os objetivos da pesquisa, e a americana (ANSI/TPI 1, 1995) especifica ângulos com incremento de  $30^\circ$ .

## 2.2.4 Resistência e rigidez das ligações

De acordo com a **PNBR 7190, 1996**, temos a seguinte definição para a resistência das ligações por CDE: “É definida pelo escoamento da chapa metálica, ou pelo início de arrancamento da chapa metálica, ou por qualquer fenômeno de ruptura da madeira, não se tomando valor maior que a carga aplicada ao corpo-de-prova, para uma deformação específica residual da ligação de 0,2%, medida em uma base de referência padronizada, igual ao comprimento da chapa metálica na direção do esforço aplicado, como mostra o diagrama da figura 4.

Para esta finalidade a deformação específica residual da ligação é medida a partir da intersecção da reta secante, definida pelos pontos  $(F_{71}; \varepsilon_{71})$  e  $(F_{85}; \varepsilon_{85})$  do diagrama força  $\times$  deformação específica, representados pelos pontos 71 e 85 do diagrama de carregamento da figura 5, com o eixo das deformações. A partir desta intersecção constrói-se uma reta paralela afastada de 0,2% até a intersecção do diagrama força deformação específica da ligação. A força correspondente é definida como a resistência da ligação **R**”.

A rigidez da ligação corresponde à inclinação da reta utilizada na determinação da resistência da ligação.

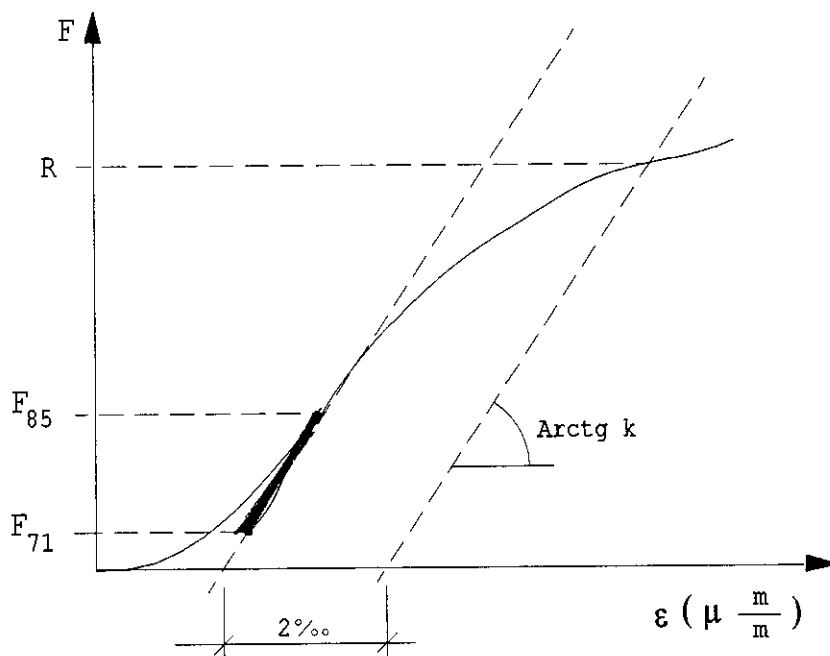


FIGURA 4 - Determinação da resistência (R) e rigidez (k) da ligação (Fonte PNBR 7190/1996)

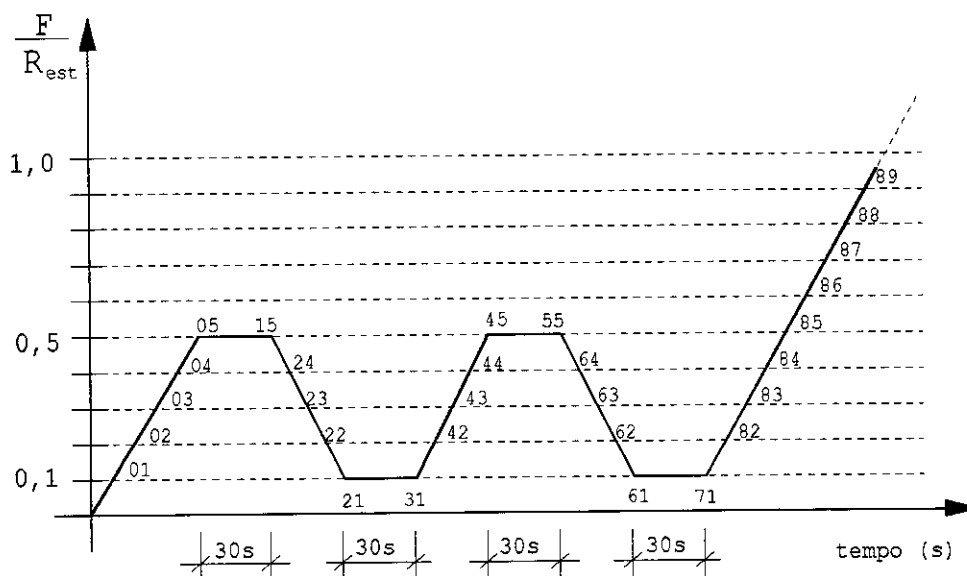


FIGURA 5 : Diagrama de carregamento (Fonte PNBR 7190/1996)

Da revisão bibliográfica conclui-se que :

- Os modos de ruptura que ocorrem nas ligações por CDE são :
  - a) Ruptura da chapa de aço por tração;



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

O método de ensaio proposto deve permitir a determinação da resistência e rigidez da ligação de acordo com a definição apresentada no projeto da nova norma brasileira para estruturas de madeira (**PNBR 7190, 1996**).

Para os modos de ruptura obtidos na revisão bibliográfica, optou-se pelas seguintes variações dos corpos-de-prova a serem avaliados:

- Ensaio de tração da chapa: serão avaliadas duas variações da posição da chapa com  $\alpha_{CH}=0^\circ$  e  $90^\circ$ ;
- Ensaio de cisalhamento da chapa: serão avaliadas quatro variações da posição da chapa com  $\alpha_{CH}=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$  e  $90^\circ$ ;
- Ensaio de arrancamento paralelo às fibras da madeira: serão avaliadas três variações da posição da chapa com  $\alpha_{CH}=0^\circ, 45^\circ$  e  $90^\circ$ ;
- Ensaio de arrancamento normal às fibras da madeira: serão avaliadas três variações da posição da chapa com  $\alpha_{CH}=0^\circ, 45^\circ$  e  $90^\circ$ , sendo que para o ângulo de  $45^\circ$  será avaliado apenas o modo de ruptura.

As dimensões das peças de madeira que constituem os corpos-de-prova foram definidas de acordo com a norma inglesa (**BS 6948**) e são da mesma ordem de grandeza das peças utilizadas na prática de estruturas de madeira com CDE.

Apresenta-se no capítulo 3 a proposta do método de ensaio para conectores do tipo CDE em ligações de estruturas de madeira para a Comissão de Estudos da ABNT de revisão da norma brasileira de estruturas de madeira. No final do trabalho encontra-se um apêndice com o método proposto pela **PNBR 7190/1996**.

## 3 MÉTODO DE ENSAIO PROPOSTO

### 3.1 Madeira

A madeira utilizada nos ensaios foi selecionada aleatoriamente de lotes comerciais em quantidade suficiente para a realização de duas repetições para cada tipo de ligação, este número de repetições foi recomendado pela comissão da ABNT para a revisão da norma brasileira de estruturas de madeira. São consideradas ligações diferentes todo modelo que apresentar variação da espécie de madeira ou da posição dos conectores que formam o corpo-de-prova.

Os ensaios foram realizados em 5 (cinco) espécies diferentes de madeira, sendo 2 (duas) de reflorestamento e 3 (três) nativas. Estas espécies de madeira estão contidas nas quatro classes de resistência, para classificação de madeiras, apresentadas no projeto da nova norma brasileira (**PNBR 7190, 1996**).

Apresenta-se na tabela 1 a relação das espécies de madeira que foram utilizadas nos ensaios e suas classificações de acordo com as classes de resistência apresentadas pela nova norma brasileira para estruturas de madeira (**PNBR 7190, 1996**).

Para a realização dos ensaios, utilizou-se a madeira no estado verde, por apresentar menor variabilidade nos valores de suas propriedades de resistência e elasticidade e, também, menores valores de resistência para

as ligações. Para a saturação das peças de madeira, estas foram colocadas em um reservatório com água e feito o controle do peso, até o equilíbrio, garantindo-se assim a saturação das fibras da madeira.

Todas as vigas de madeira utilizadas nos ensaios passaram por inspeção visual e foram caracterizadas para obter-se as seguintes propriedades para projeto de estruturas:

- Densidade
- Resistência ao cisalhamento;
- Resistência à tração normal às fibras;
- Resistência à tração paralela às fibras;
- Resistência à compressão normal às fibras;
- Resistência à compressão paralela às fibras;
- Módulo de elasticidade paralelo às fibras;
- Módulo de elasticidade normal às fibras.

Os cálculos para obtenção dos valores característicos da resistência à compressão paralela, foram feitos de acordo com os procedimentos especificados pela **PNBR 7190/1996**, como descrito abaixo:

O valor característico da resistência deve ser estimado pela expressão:

$$f_{wk} = \left( 2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - f_{\frac{n}{2}} \right) \times 1,1; \text{ (p/ n=número de CPs)}$$

onde os resultados devem ser colocados em ordem crescente, desprezando-se o valor mais alto se o número de corpos-de-prova for ímpar, não se tomando para  $f_{wk}$  valor inferior a  $f_1$ , nem a 0,7 do valor médio.

Os valores característicos devem ainda ser corrigidos para a umidade padrão de 12% pelas expressões abaixo:

$$f_{12} = f_{U\%} \left[ 1 + \frac{3(U\% - 12)}{100} \right] \text{ para resistência}$$

$$E_{12} = E_{U\%} \left[ 1 + \frac{2(U\% - 12)}{100} \right] \text{ para rigidez}$$

Para estas correções adotou-se como valor da umidade saturada das peças o valor máximo especificado pela norma de 20%, pois, para valores da umidade maiores que 20% admite-se como desprezíveis as variações das propriedades de resistência e rigidez da madeira.

Encontram-se no capítulo 4 as tabelas com as características físicas e mecânicas descritas acima para todas as vigas utilizadas nos ensaios. O número da viga corresponde ao número dado ao corpo-de-prova nos ensaios.

TABELA 1 - Agrupamento de classes de resistência

Características das espécies de madeira						
Espécie	Classe	$f_{c0,k}$ (MPa)	$f_{v,k}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{bas,m}$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{apa}$ (Kg/m <sup>3</sup> )
Pinus	C20	20	4	9500	500	650
Cupiúba	C30	30	5	14500	650	800
Garapa	C40	40	6	19500	750	950
Jatobá	C60	60	8	24500	800	1000
Eucalipto o	C60	60	8	24500	800	1000

### 3.2 Chapas com dentes estampados

Foram utilizados nos ensaios conectores fabricados e fornecidos pela GANG-NAIL do BRASIL. Eles foram selecionados aleatoriamente de um lote de produção normal.

Os conectores são fabricados com aço galvanizado a quente de primeira qualidade, com as seguintes especificações fornecidas pelo fabricante :

Obedece os requisitos da ASTM A446-72 Grau A;

- Tensão admissível à tração: 14 kN/cm<sup>2</sup>;
- Cisalhamento admissível: 9,8 kN/cm<sup>2</sup>;
- Limite de escoamento: 23,2 kN/cm<sup>2</sup>;
- Alongamento em 5 cm : 20% (mínimo);
- Limite de resistência à tração: 31,64 kN/cm<sup>2</sup>.

A GANG-NAIL do BRASIL prescreve ainda as seguintes características para os conectores:

- Número de dentes : 1,5 dentes/cm<sup>2</sup>;
- Peso : 1,05 g/cm<sup>2</sup>;
- Espessura : 1,23 mm (podendo variar até um máximo de 1,38 mm);
- Comprimento dos dentes : 7,8 mm;
- Aço efetivo longitudinalmente : 32,7%;
- Aço efetivo transversalmente : 70,2%.

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

- Tração longitudinal : 2,1 kN/cm de largura do conector;
- Tração transversal : 0,95 kN/cm de comprimento do conector;
- Cisalhamento longitudinal : 0,8 kN/cm de comprimento do conector;
- Cisalhamento transversal : 1,7 kN/cm de largura do conector.

Para a resistência ao arrancamento não <sup>se</sup> é apresentado neste trabalho valores de resistência para projetos, uma vez que o fabricante não fornece valores relacionados com as madeiras brasileiras.

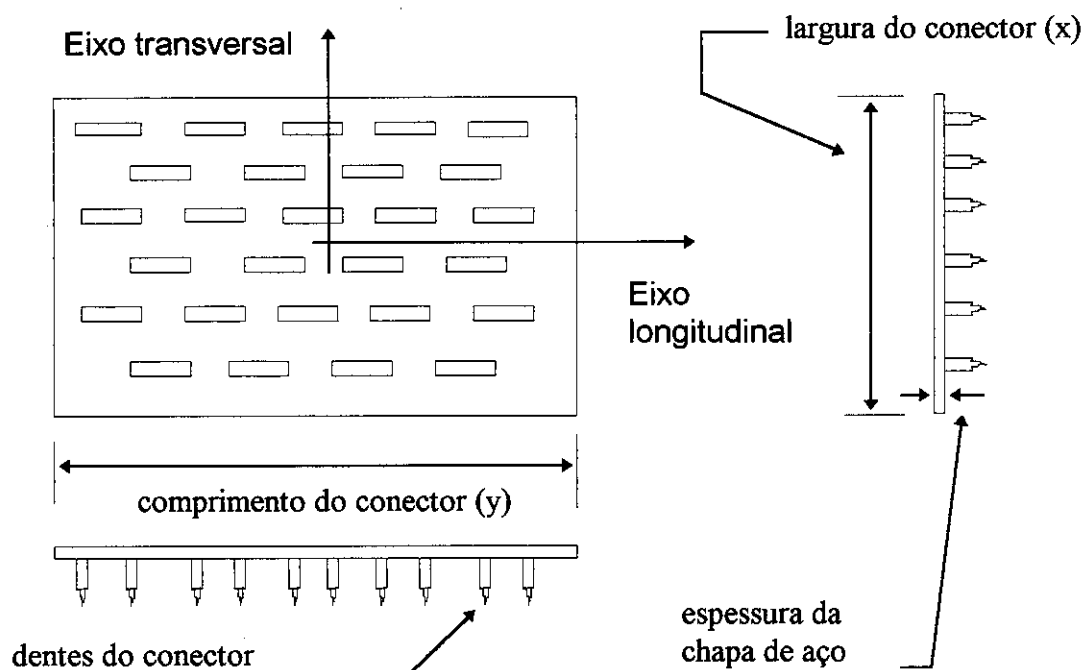


FIGURA 6 - Conector do tipo chapa com dentes estampados

### 3.3 Confeção dos corpos-de-prova

Para a confecção dos corpos-de-prova os seguintes procedimentos foram adotados :

- Primeiro passo : Todas as vigas foram numeradas por espécie;
- Segundo passo : Foram extraídos de cada viga os corpos-de-prova necessários para sua caracterização, os quais foram acondicionados em um tanque de água até atingirem o ponto de saturação das fibras para em seguida, serem feitos os ensaios de classificação. Cada corpo-de-prova recebeu o número da viga a que correspondia;

- Terceiro passo : Do restante de cada viga foram confeccionadas as peças dos corpos-de-prova para o ensaio das ligações. Cada conjunto de peças foi numerado de acordo com o número da viga correspondente e o código "CP" foi acrescentado para especificar que estavam relacionados com os ensaios de ligações por CDE.
- Quarto passo : As peças foram acondicionadas em um tanque de água até atingirem o ponto de saturação das fibras. Este controle foi feito por medições do peso de testemunhos colocados juntos às peças no tanque.
- Quinto passo : As peças foram retiradas do tanque e os corpos-de-prova foram montados em um intervalo de tempo de no máximo 24 horas antes de serem ensaiados.

Para a prensagem dos conectores nas peças de madeira utilizou-se um pórtico de reação com um cilindro hidráulico acoplado, comandado por um sistema VICKER. Na base do pistão do cilindro foi acoplada uma chapa metálica para distribuir a força sobre toda a área do conector com o objetivo de conseguir uma penetração dos dentes mais uniforme possível.

As cargas de prensagem do conector variaram de 6 a 16 toneladas, de acordo com o tamanho do conector e a densidade da madeira.



FIGURA 7 - Prensagem dos conectores

- Sexto passo : Em seguida os corpos-de-prova foram preparados para o ensaio com os relógios comparadores e os dispositivos de adaptação de ensaio, quando necessários, como está descrito no item 4.4.

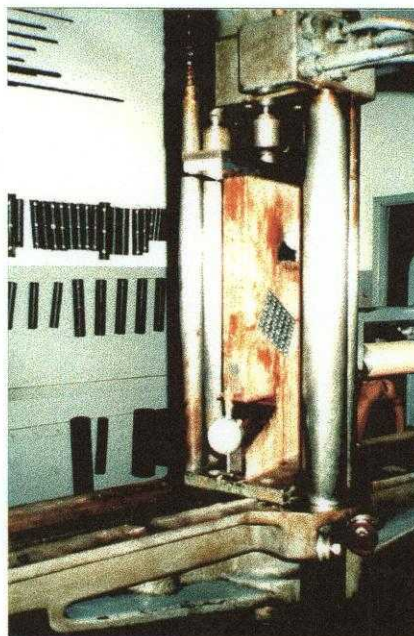


FIGURA 8 - Exemplo de corpo-de-prova de cisalhamento preparado para o ensaio

Os ensaios foram realizados em uma máquina universal de ensaios mecânicos, marca AMSLER, com capacidade máxima de 25 toneladas.

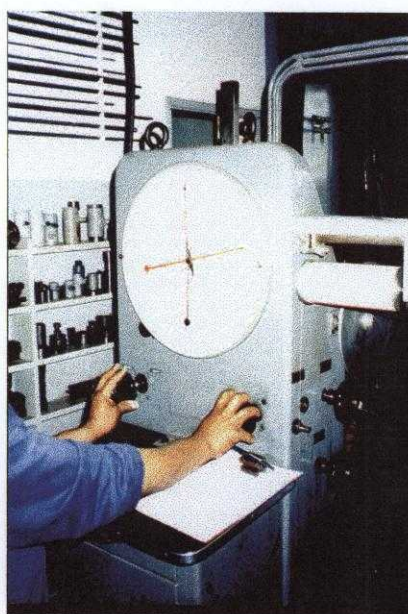


FIGURA 9 - Máquina de ensaio



Todas as etapas descritas acima foram realizadas no LaMEM/SET/EESC/USP.

### 3.4 Execução dos ensaios

#### 3.4.1 Considerações gerais

Todos os modelos de corpos-de-prova foram montados com um par de conectores, sendo um em cada face das peças de madeira e foram fixados simetricamente para evitar os efeitos da excentricidade nas ligações.

Os valores de ruptura estimados para os ensaios foram obtidos a partir dos resultados de ensaios preliminares.

A seção transversal da extremidade das peças carregadas à compressão foram preparadas de modo a apresentar uma superfície plana e lisa, com ângulos retos em relação ao eixo paralelo às direções das fibras da madeira.

As peças que compõem um corpo-de-prova devem apresentar a mesma espessura para evitar problemas na fixação dos conectores.

Para os ensaios de tração foram adaptados dispositivos de ensaio como mostrados nas figuras 11 e 17.

##### 3.4.1.1 Procedimentos de ensaio

a) Estimou-se um valor de carga máxima ( $F_{est}$ ) para cada tipo de modelo testado;

b) Aplicou-se a carga a uma razão constante de  $0,2F_{est}$  por minuto.

Para corpos-de-prova que utilizaram dispositivos de adaptação para o

ensaio, a velocidade de carregamento até atingir o valor de  $0,2F_{est}$  foi mais lenta para que houvesse a acomodação do dispositivo, a partir deste ponto retomou-se a velocidade de  $0,2F_{est}$  por minuto;

c) Mediu-se e registrou-se o deslocamento da ligação pelo menos a cada incremento de carga de  $0,1F_{est}$ . As medições foram feitas com relógios comparadores colocados em pontos correspondentes a lados opostos do modelo. Utilizou-se valores médios nos cálculos.

d) Registrou-se a carga máxima para cada ensaio.

### 3.4.2 Ensaio de tração da chapa

#### a) Descrição das peças do corpo-de-prova

As peças de madeira apresentavam seção transversal com altura mínima de 9,7cm e largura mínima de duas vezes o comprimento dos dentes mais 0,5cm ou 3,3cm, sendo empregado sempre o maior valor. O comprimento das peças foi no mínimo de 20cm.

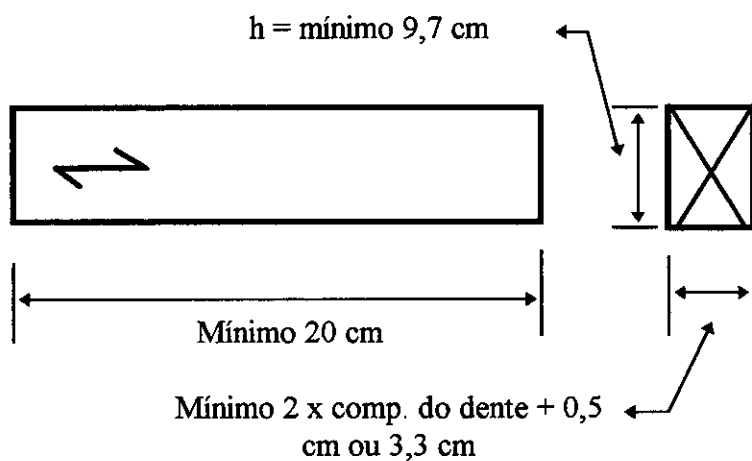


FIGURA 10 - Descrição das peças de madeira para ensaio de tração da chapa

### b) Dispositivo de ensaio

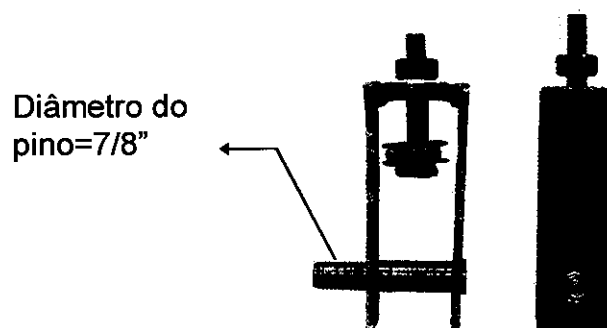


FIGURA 11 - Dispositivo de fixação do corpo-de-prova à máquina de ensaio

### c) Características do conector

As dimensões do conector (comprimento x largura) foram calculadas para que a ruptura ocorresse no conector em sua seção resistente sem que houvesse o arrancamento dos dentes do conector das peças de madeira ou ruptura da madeira por tração paralela às fibras.

### d) Descrição do ensaio

O ensaio foi realizado com a aplicação de uma força de tração axial no corpo-de-prova, onde a direção de aplicação desta força formava um ângulo de  $\alpha=0^\circ$  em relação às fibras da madeira. Foram ensaiados dois modelos de corpo-de-prova, diferindo entre si pela posição das chapas em relação a direção das fibras, formando ângulos de  $\alpha_{CH} = 0^\circ$  e  $90^\circ$ .

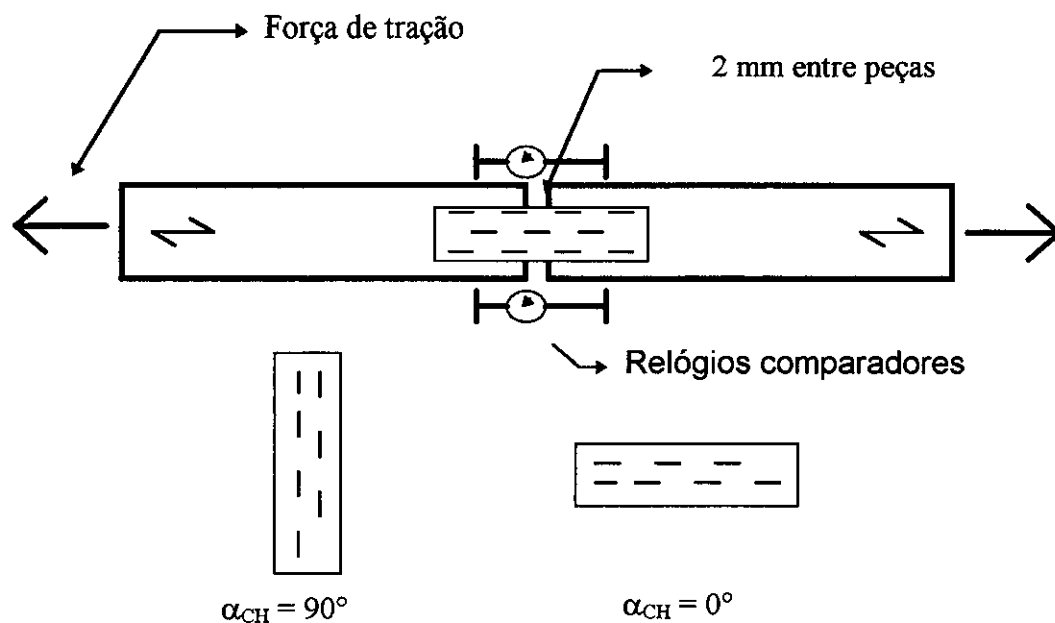


FIGURA 12 - Corpos-de-prova para ensaios de tração da chapa de aço

e) Chapas utilizadas nos ensaios

Apresenta-se na tabela 2 as dimensões da chapa utilizadas, com as dimensões da chapa na seção de solicitação:

TABELA 2 - Dimensões das chapas utilizadas nos ensaios de tração

ENSAIO DE TRAÇÃO DA CHAPA				
ESPÉCIE	$\alpha_{ch}=0^\circ$	$L_{rup}(cm)$	$\alpha_{ch}=90^\circ$	$L_{rup}(cm)$
Pinus	4x23	4	5x14	14
Garapa	5x16	5	11x10	10
Cupiúba	5x16	5	7x8,5	8,5
Eucalipto	7x14	7	11x12	12
Jatobá	7x14	7	11x8	8

f) Base de medida dos relógios comparadores

Para os ensaios de tração da chapa a base de medida para os relógios comparadores foi de 100mm para todas as espécies, com exceção do *Pinus elliottii* onde foi utilizada uma base de medida com 120mm.

### 3.4.3 Ensaio de cisalhamento da chapa de aço

#### a) Descrição das peças do corpo-de-prova

As peças de madeira apresentavam seção transversal com espessura mínima de duas vezes o comprimento dos dentes do conector mais 0,5cm, ou 4,7cm, sendo empregado sempre o maior valor. As demais dimensões das peças estão mostradas na figura 13.

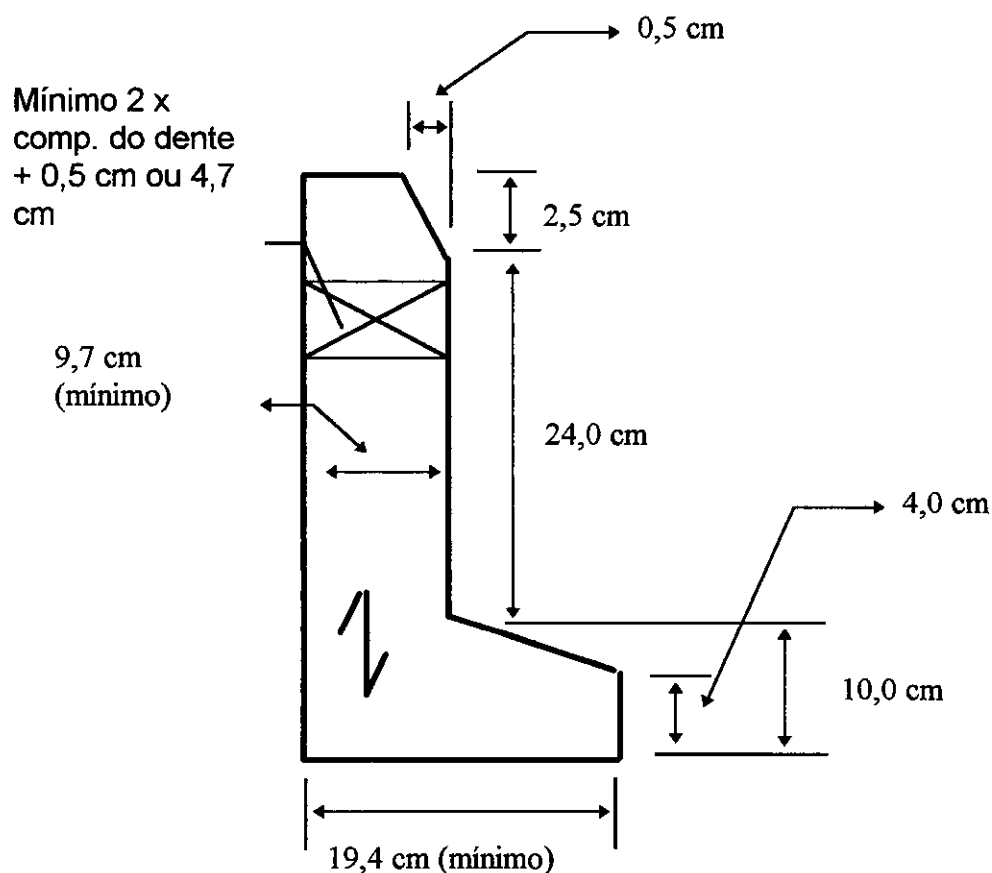


FIGURA 13 - Descrição das peças de madeira para ensaio de cisalhamento da chapa

### b) Características do conector

As dimensões do conector (comprimento x largura) foram calculadas para que a ruptura ocorresse por cisalhamento do conector de aço em sua seção resistente, sem que houvesse o arrancamento dos dentes do conector das peças de madeira ou ruptura da madeira. Além disso procurou-se manter uma proporção entre o comprimento e a largura do conector de aproximadamente 1:1 para  $\alpha_{CH}=0^\circ$ , aumentando para 2:1 com  $\alpha_{CH}=90^\circ$ , e não se prolongando por mais de 75% da espessura da peça de madeira.

### c) Descrição do ensaio

Os ensaios foram realizados por meio da aplicação de uma força de compressão no corpo-de-prova. A direção de aplicação desta força formou um ângulo  $\alpha=0^\circ$  em relação às fibras da madeira. Foram feitas 4 variações da inclinação do conector em relação às fibras da madeira, com  $\alpha_{CH}=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$  e  $90^\circ$ , como mostrado na figura 14.

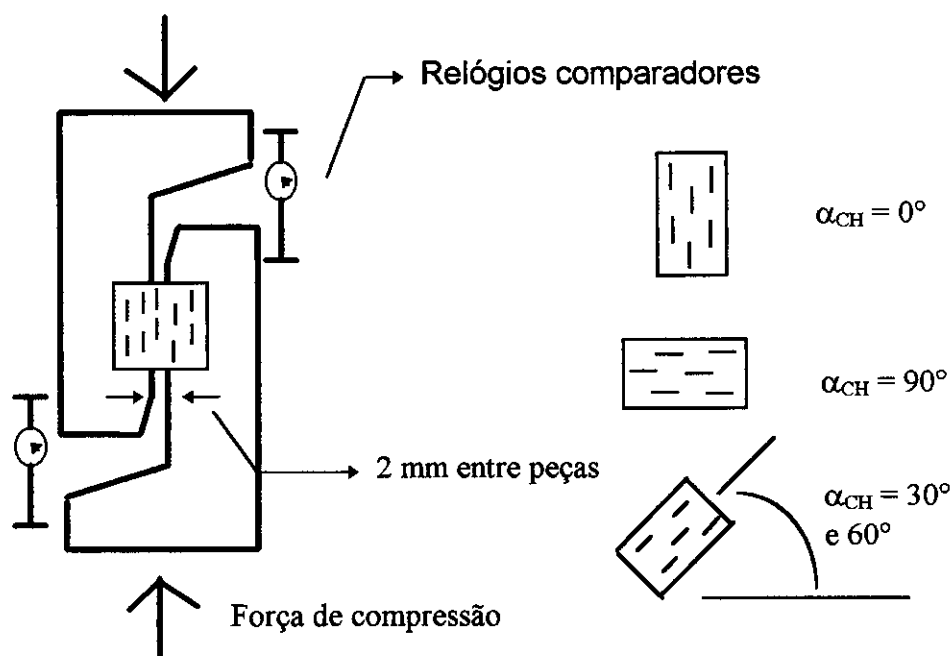


FIGURA 14 - Corpos-de-prova para ensaios de cisalhamento da chapa de aço

d) Chapas utilizadas nos ensaios

Apresenta-se na tabela 3 as dimensões das chapas utilizadas, com a dimensão da chapa na direção da solicitação, para cada tipo de ensaio:

TABELA 3 - Dimensões das chapas utilizadas nos ensaios de cisalhamento

ENSAIO DE CISALHAMENTO DA CHAPA								
ESPÉCIE	$\alpha_{ch}=0^\circ$	$L_r$ (cm)	$\alpha_{ch}=30^\circ$	$L_r$ (cm)	$\alpha_{ch}=60^\circ$	$L_r$ (cm)	$\alpha_{ch}=90^\circ$	$L_r$ (cm)
Pinus	14x6	6	7x20	12	7x20	8	7x20	7
Garapa	7x8	8	7x10	12	7x12	9	7x14	7
Cupiúba	7x8	8	7x14	12	7x14	8	7x14	7
Eucalipto	7x8	8	7x14	12	7x14	8	7x8	7
Jatobá	7x8	8	7x14	12	7x14	8,5	7x8	7

e) Base de medida dos relógios comparadores

Foram adotadas as seguintes bases de medida:

- Cupiúba: 120mm;
- Pinus elliotii: 125mm;
- Garapa, Jatobá e Eucalipto citriodora: 140mm.

### 3.4.4 Ensaio de arrancamento

#### 3.4.4.1 Arrancamento paralelo às fibras da madeira

a) Descrição das peças do corpo-de-prova

As peças de madeira dos corpos-de-prova para ensaios de arrancamento paralelo às fibras seguem as mesmas especificações apresentadas para as

peças utilizadas nos ensaios de resistência à tração da chapa, descritas no item 3.4.2 a.

b) Dispositivo de ensaio

Ver figura 11 no item 3.4.2 b.

c) Características do conector

As dimensões do conector (comprimento x largura) foram calculadas para que a ruptura ocorresse por arrancamento dos dentes do conector das peças de madeira, sem que houvesse ruptura da madeira por tração paralela às fibras ou do conector em sua seção resistente.

d) Descrição do ensaio

O ensaio foi realizado por meio da aplicação de uma força de tração no corpo-de-prova, formando um ângulo  $\alpha=0^\circ$  em relação às fibras da madeira. Foram feitas três variações da inclinação do conector em relação às fibras da madeira, com ângulos  $\alpha_{CH}=0^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $90^\circ$ .

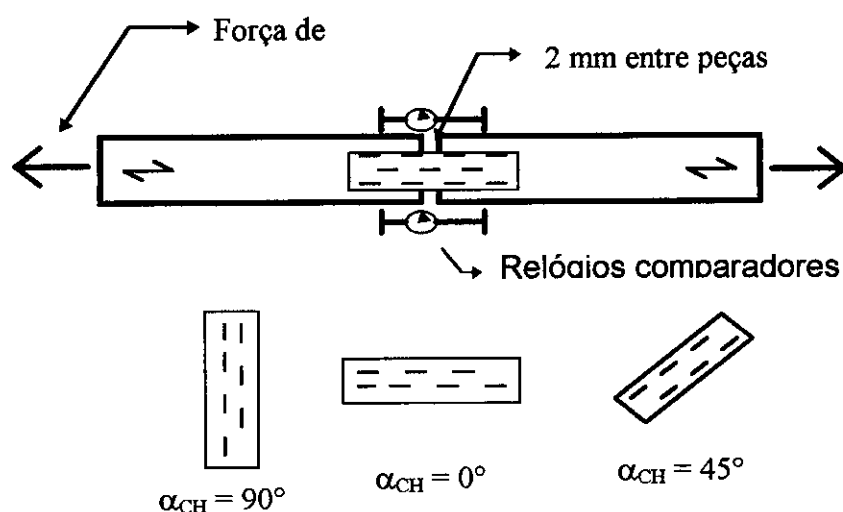


FIGURA 15 - Corpos-de-prova para ensaios de arrancamento paralelo às fibras



e) Chapas utilizadas nos ensaios

Apresenta-se na tabela 4 as dimensões da chapa utilizadas, com o número de dentes trabalhando na ligação, para cada tipo de ensaio:

TABELA 4 - Dimensões das chapas utilizadas nos ensaios de arrancamento paralelo às fibras

<b>ENSAIO DE ARRANCAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS</b>						
<b>ESPÉCIE</b>	$\alpha_{ch}=0^\circ$	<b>Nº DENTES</b>	$\alpha_{ch}=45^\circ$	<b>Nº DENTES</b>	$\alpha_{ch}=90^\circ$	<b>Nº DENTES</b>
Pinus	7x8	160	7x8	160	7x8	160
Garapa	7x8	160	7x8	160	7x8	160
Cupiúba	7x8	160	7x8	160	7x8	160
Eucalipto	7x8	160	7x8	160	7x8	160
Jatobá	7x8	160	7x8	160	7x8	160

f) Base de medida dos relógios comparadores

Foram adotadas as seguintes bases de medidas:

- Jatobá, Cupiúba, Eucalipto citriodora e Garapa: 100mm;
- Pinus elliottii: 120mm.

### 3.4.4.2 Arrancamento perpendicular às fibras da madeira

a) Descrição das peças do corpo-de-prova

O corpo-de-prova é composto por duas peças unidas formando um dispositivo de ligação em forma de 'T'. O elemento transversal (mesa) do corpo-de-prova apresentava seção transversal com largura mínima de duas vezes o comprimento dos dentes do conector mais 0,5 cm, ou 3,3 cm, sendo empregado sempre o maior valor, e uma altura mínima de 9,7 cm. O

comprimento era de no mínimo 50 cm. O elemento longitudinal (alma) segue as especificações das peças do corpo-de-prova para ensaios de tração da chapa, descritas no item 3.4.2.a.

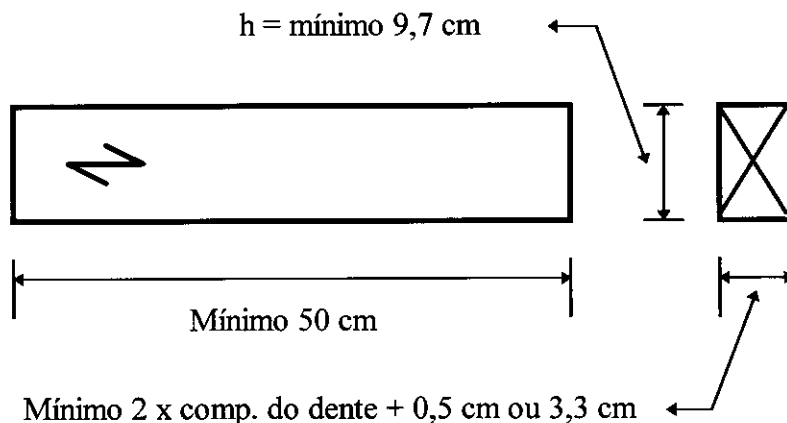


FIGURA 16 - Descrição das peças de madeira para ensaio de arrancamento perpendicular às fibras da madeira

#### b) Dispositivo de ensaio

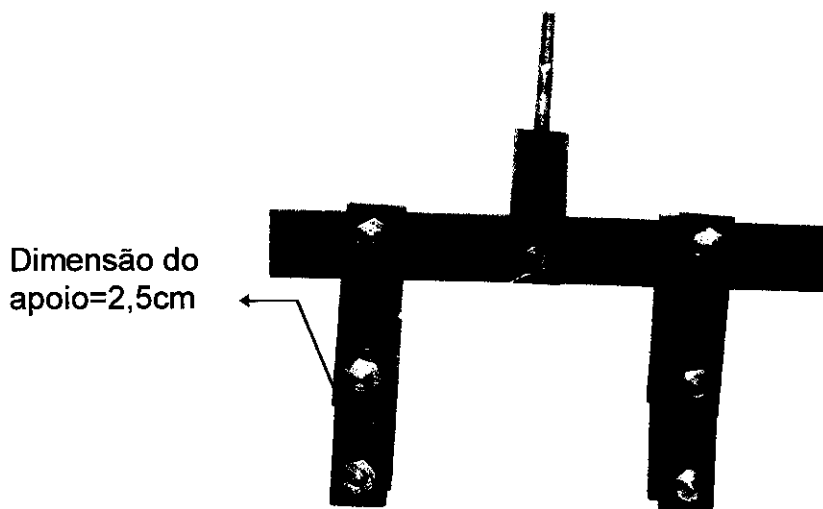


FIGURA 17 - Dispositivo de ensaio

#### c) Características do conector

As dimensões do conector (comprimento x largura) foram calculadas para que a ruptura ocorresse por arrancamento dos dentes do conector da peça

de madeira na transversal sem que houvesse o arrancamento dos dentes do conector da peça longitudinal do corpo-de-prova, ruptura da madeira por tração paralela às fibras ou ruptura do conector em sua seção resistente.

#### d) Descrição do ensaio

O ensaio foi realizado por meio da aplicação de uma força de tração perpendicular à peça transversal do corpo-de-prova. Foram feitas três variações do ângulo que o comprimento do conector formava com as fibras da peça de madeira na transversal do corpo-de-prova ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ,  $45^\circ$  e  $90^\circ$ ), de acordo com a figura 18.

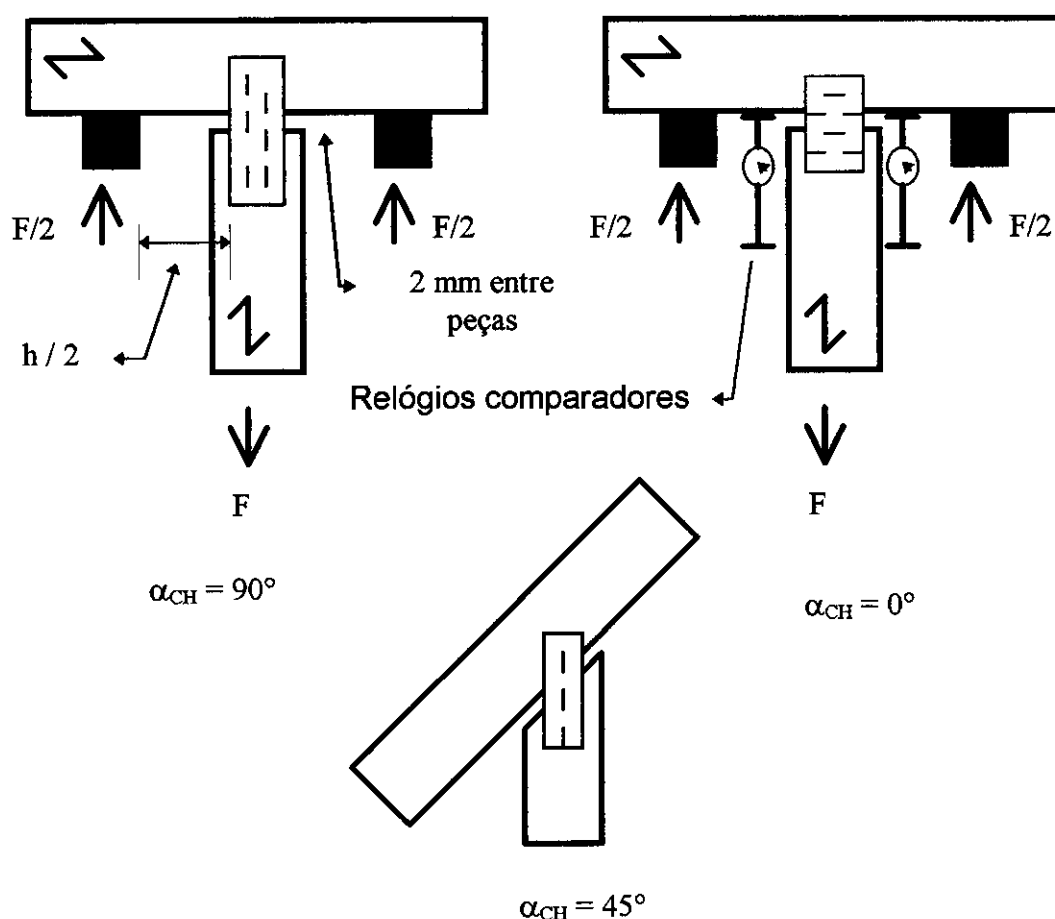


FIGURA 18 - Corpos-de-prova para ensaio de arrancamento perpendicular às fibras da madeira

e) Chapas utilizadas nos ensaios

Apresenta-se na tabela 5 as dimensões da chapa utilizadas, com o número de dentes trabalhando na ligação, para cada tipo de ensaio:

TABELA 5 - Dimensões das chapas utilizadas nos ensaios de arrancamento perpendicular às fibras

<b>ENSAIO DE ARRANCAMENTO PERPENDICULAR ÀS FIBRAS</b>						
<b>ESPÉCIE</b>	$\alpha_{ch}=0^\circ$	<b>Nº DENTES</b>	$\alpha_{ch}=45^\circ$	<b>Nº DENTES</b>	$\alpha_{ch}=90^\circ$	<b>Nº DENTES</b>
Pinus	7x14	80	7x14	100	7x8	80
Garapa	7x16	80	7x14	100	11x8	80
Cupiúba	7x16	80	7x14	100	7x8	48
Eucalipto	7x14	80	7x8/7x14	80/100	7x8	80
Jatobá	7x14	80	7x14	100	7x8	80

f) Base de medida dos relógios comparadores

Foram adotadas as seguintes bases de medida:

- Pinus elliottii: 130mm;
- Garapa e Cupiúba 110mm;
- Eucalipto citriodora: 85mm;
- Jatobá: 130mm.

## **4 RESULTADOS**

Para cada espécie de madeira foram ensaiados 32 corpos-de-prova, com um total de 160 ensaios realizados.

Apresenta-se a seguir dois grupos de tabelas, um contendo os resultados dos ensaios de determinação das propriedades de resistência e rigidez das peças de madeira utilizadas nos ensaios, e outro com os resultados obtidos nos ensaios das ligações.

Encontram-se no anexo A os gráficos com os resultados dos ensaios, mostrando o comportamento das ligações, as forças de ruptura e a reta de determinação da rigidez e resistência das ligações.

No capítulo 5 são feitas considerações a respeito dos resultados obtidos nos ensaios.

TABELA 6 - Características das vigas : Pinus elliptii

CP	$f_{c,0}$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	$f_{c,90}$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	$E_{c,0}$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	$E_{c,90}$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	$f_{t,0}$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	$f_{t,90}$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	$E_{t,0}$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	$f_v$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	Pbas ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )	Papa ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )
01	2	0,22	484	14,2	4,12	0,24	746	0,64	490	600
05	2	0,24	678	12,4	4,73	0,26	693	0,61	390	470
06	2,2	0,26	394	17,2	4,78	0,23	439	0,7	440	550
07	2,3	0,24	646	5,98	3,86	0,26	903	0,64	410	500
08	1,78		744		6,62	0,26	1143	0,55	350	410
09	1,71	0,29	572	15	6,32	0,28	1024	0,52	360	430
10	2,58	0,23	1054	13,9		0,14		0,61	400	490
14	2,26		589		6,13	0,32	916	0,61	430	510
15	2,42	0,27	822	17,2	6,11	0,31	617	0,74	430	530
16	1,91	0,37	507	26,3	6,03	0,25	650	0,59	500	640
17	2,02	0,3	1027	19,3	3,27	0,13	410	0,53	420	520
18	1,31	0,29	622	20,6				0,36	390	470
19	2,06	0,21	722	13,5	8,21	0,26	1026	0,57	420	510
20	1,73		528		3,7	0,33	670	0,67	410	510
21	1,97	0,21	705	10,2	8,8	0,31	1045	0,66	450	560
22	1,53	0,26	719	17,7	4,28	0,18	839	0,49	400	480

TABELA 7 - Características das vigas : Cupiuba

CP	$f_{c,0}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{c,90}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$E_{c,0}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$E_{c,90}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{t,0}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{t,90}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$E_{t,0}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_v$ (kN/cm <sup>2</sup> )	Pbas (Kg/m <sup>3</sup> )	Papa (Kg/m <sup>3</sup> )
05	3,51	0,61	1939	32,2	6,15	0,41	1299	0,56	670	850
06	3,62	0,64	1286	34,9	7,15	0,5	1219	0,47	670	860
07	4,32	0,67	1485	35,8	5,52	0,49	992	0,8	690	900
08	3,53	0,90	873	45,8	5,89	0,36	1304	0,76	700	900
09	3,63	0,66	1520	35,3	5,45	0,46	1240	0,46	670	860
10	3,88	0,98	1042	57,1	7,41	0,5	1142	0,59	700	900
14	5,28	0,98	1951	54,6	9,36	0,67	1341	0,85	690	880
15	5,29	0,95	1499	53,2	13,1	0,84	1390	0,85	680	870
16	4,2	0,66	1461	52,9	12,3	0,71	1385	0,34	610	770
17	4,86	0,94	1367	49,8	9,7	0,47	1199	0,43	680	870
18	5,13	0,85	1565	47,1	13,5	0,5	1515	1,04	650	810
19	5,21	0,82	1417	45,2	9,2	0,67	1375	0,72	660	850
21	4	0,64	1288	37,1	11,8	0,39	1109	0,45	650	820
24	4,77	0,85	1336	46,7	8,5	0,4	1364	0,37	670	870

TABELA 8 - Características das vigas : Garapa

CP	$f_{c,0}$ ( $\text{kN/cm}^2$ )	$f_{c,90}$ ( $\text{kN/cm}^2$ )	$E_{c,0}$ ( $\text{kN/cm}^2$ )	$E_{c,90}$ ( $\text{kN/cm}^2$ )	$f_{t,0}$ ( $\text{kN/cm}^2$ )	$f_{t,90}$ ( $\text{kN/cm}^2$ )	$E_{t,0}$ ( $\text{kN/cm}^2$ )	$f_v$ ( $\text{kN/cm}^2$ )	Pbas ( $\text{Kg/m}^3$ )	Papa ( $\text{Kg/m}^3$ )
01	5,96	1	1726	80,3	13,3	1,21	1582	1,21	800	980
02	4,66	1	1706	73,7	8,9	1	1268	1	830	1040
03	6,08	1,1	1913	83,1	11,34	0,78	1628	0,78	830	1010
04	5,12	0,9	1687	65,4	8,54	1,03	1123	1,03	730	880
06	4,28	0,9	1707	86,9	7,86	0,8	1134	0,8	820	1060
07	4,78	1,1	1386	96,6	13,67	0,82	1237	0,82	710	900
11	5,16	1	2095	92,1	17,72	0,92	2096	0,92	780	980
19	6,11	1,4	1636	136,5	12,6	0,9	1565	0,9	770	960
20	3,92	1	1780	109,7	13,74	0,71	1584	0,71	770	950
25	4,77	1,2	1204	108,2	9,98	0,85	1345	0,85	700	870
26	4,66	1,2	1241	111,5	8,98	0,82	1091	0,82	720	920
27	4,81	1,1	1210	105,3	10,8	0,5	1164	0,5	690	860
28	4,32	1,1	1342	95,1	11,45	0,62	1109	0,62	720	920
30	4,4	1,1	1337	99	9	0,63	1433	0,63	680	860
31	4,46	0,9	1306	84,3	7,38	0,63	1255	0,63	690	870
32	4,81	1,1	1539	89,7	9,92	0,63	1401	0,63	720	930
33	4,28	1,1	1204	95,5	10,91	0,37	1144	0,37	690	870



TABELA 9 - Características das vigas : Eucalipto Citriodora

CP	$f_{c,0}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{c,90}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$E_{c,0}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$E_{c,90}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{t,0}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_{t,90}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$E_{t,0}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$f_v$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$\rho_{bas}$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\rho_{papa}$ (Kg/m <sup>3</sup> )
01	7,56	1,74	2218	97	8,85	0,8	2167	1,02	920	1230
04	7,51	1,73	2423	93,1	12	1,03	2095	1,62	900	1200
06	6,94	1,79	2140	98,6	11,5	0,89	1984	1,32	880	1170
08	5,58	1,47	1358	88,6	8,45	0,98	1446	1,31	890	1180
10	5,81	1,72	1652	94,9	5,41	0,79	1294	1	910	1200
12	6,19	0,99	2102	55,9	8,8		2032	1,23	870	1130
13	6,03		1821		4,37	0,63	1854	1,25	790	1020
14	7,1	1,47	2083	82,3	7,36	0,79	1591	0,86	840	1120
15	4,34	1,67	764	95,1		0,41		1,11	930	1230
16	6,5	1,52	1895	93,1	7,3	0,83	1716	1,36	830	1100
17	6,6	1,43	1996	83,8	11,76	1,02	2031	1,35	870	1150
19	6,86	1,59	2505	90,3	8,14		1670	0,73	890	1180
21	6,4	1,5	2249	88,3	9,52	1	1944	1,1	830	1110
22	6,56	1,39	1309	70,1	12	0,47	1944	0,85	890	1180
24	5,86	1,4	1717	69,7	5,97	0,88	1346	1,11	870	1150

TABELA 10 - Características das vigas : Jatobá

CP	$f_{c,0}$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	$f_{c,90}$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	$E_{c,0}$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	$E_{c,90}$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	$f_{t,0}$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	$f_{t,90}$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	$E_{t,0}$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	$f_v$ ( $\text{KN}/\text{cm}^2$ )	$P_{bas}$ ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )	$P_{papa}$ ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )
01	6,39	0,8	2587	75,2	11,3	0,66	2081	1,67	810	1060
02	5,46	1	1811	75,2		0,3		1,22	730	940
03	6,45	0,9	2749	62,6	14,84	0,46	2717	0,78	840	1090
05	5,62	1,4	1705	72,7	6,6	0,13	1746	1,57	930	1210
07	7,25	2,2	2313	99,4	20,2	0,15	2473	1,87	970	1270
09	5,71	1,2	1721	62,7	10,3	0,27	2118	1,68	810	1050
14	7,56	1,2	1544	102,2	11,6	0,17	2028	0,97	760	990
15	7,75	1,2	1894	98,4	12,5	0,81	2311	0,94	810	1060
16	7,67		2138		13,5	0,68	1519	1,05	790	1040
17	9,23	1,3	2238	115,2	15,7	1,13	2328	1,21	800	1030
18	8,12	1,5	2151	109,3	14,7	0,19	2004	0,88	790	1030
19	7,11	1,1	2264	80,9	19,2	0,08	2758	1,2	720	930
20	6,51	1,1	2288	83,5	13,9	0,09	2375	0,54	800	1040
21	7,97	1,2	2274	92,3	16,3	0,12	2259	0,8	770	1000
22	7,34	1,4	2222	102,8	8,5	0,39	2053	1,2	810	1040

TABELA 11 - Resultados - Agrupamento de classes de resistência

<b>Espécies</b>	<b><math>f_{c0,m}</math> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\sigma_x</math> (n)</b>	<b><math>\delta</math> (%)</b>	<b><math>f_{c0k,12}</math> (kN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Classe</b>
Pinus elliottii	1,986	0,3185	16,04	1,92	C20
Cupiúba	4,374	0,672	15,4	4,35	C40
Garapa	4,858	0,6295	12,9	4,89	C40
Eucalipto citriodora	6,389	0,7908	12,4	6,64	C60
Jatobá	7,076	1,015	14,3	6,73	C60

TABELA 12 - Resultados : Pinus elliottii

Ensaio	CHAPA	RIGIDEZ (k) (kN/mm)	Ruptura	Resistência (PNBR 7190, 1996)
Arrancamento ( $\alpha=0^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x8 (160 dentes)	31,5	0,07kN/dente	0,05 kN/dente
$\alpha_{CH}=45^\circ$	7x8 (160 dentes)	38,1	0,08kN/dente	0,06 kN/dente
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x8 (160 dentes)	35,3	0,08kN/dente	0,05 kN/dente
( $\alpha=90^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x14 (80 dentes)	36,8	madeira	madeira
$\alpha_{CH}=45^\circ$	7x14 (100 dentes)		madeira	madeira
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x8 (80 dentes)	28,7	madeira	madeira
Tração ( $\alpha=0^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	4x23 ( $l_{RUP}=4cm$ )	46,6	madeira no dispositivo	madeira no dispositivo
$\alpha_{CH}=90^\circ$	5x14 ( $l_{RUP}=14cm$ )	48,0	madeira no dispositivo	madeira no dispositivo
Cisalhamento ( $\alpha=0^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	14x6 ( $l_{RUP}=6cm$ )	5,5	arrancou	arrancou
$\alpha_{CH}=30^\circ$	7x20 ( $l_{RUP}=12cm$ )	9,7	madeira	madeira
$\alpha_{CH}=60^\circ$	7x20 ( $l_{RUP}=8cm$ )	10,8	1,12kN/cm arrancou	0,69 kN/cm
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x20 ( $l_{RUP}=7cm$ )	11,7	1,21kN/cm arrancou	0,84 kN/cm

TABELA 13 - Resultados : Cupiúba

Ensaio	CHAPA	RIGIDEZ (k) (kN/mm)	Ruptura	Resistência (PNBR 7190, 1996)
Arrancamento ( $\alpha=0^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x8 (160 dentes)	67,3	0,19kN/dente	0,11 kN/dente
$\alpha_{CH}=45^\circ$	7x8 (160 dentes)	59,9	0,16kN/dente	0,11 kN/dente
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x8 (160 dentes)	65,9	0,16kN/dente	0,12 kN/dente
( $\alpha=90^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x16 (80 dentes)	46,4	madeira	madeira
$\alpha_{CH}=45^\circ$	7x14 (100 dentes)		madeira	madeira
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x8 (48 dentes)	36,1	madeira	madeira
Tração ( $\alpha=0^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	5x16 ( $l_{RUP}=5cm$ )	68,6	3,55kN/cm	2,53 kN/cm
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x8,5 ( $l_{RUP}=8,5cm$ )	145,1	arrancou	arrancou
Cisalhamento ( $\alpha=0^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x8 ( $l_{RUP}=8cm$ )	26,5	1,37kN/cm	0,98 kN/cm
$\alpha_{CH}=30^\circ$	7x14( $l_{RUP}=12cm$ )	33,7	1,4kN/cm	1,16 kN/cm
$\alpha_{CH}=60^\circ$	7x14( $l_{RUP}=8cm$ )	26,3	1,34kN/cm	1,09 kN/cm
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x14( $l_{RUP}=7cm$ )	27,1	1,02kN/cm	0,86 kN/cm

TABELA 14 - Resultados : Garapa

Ensaio	CHAPA	RIGIDEZ (k) (kN/mm)	Ruptura	Resistência (PNBR 7190, 1996)
Arrancamento ( $\alpha=0^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x8 (160 dentes)	87,3	0,23kN/dente	0,15 kN/dente
$\alpha_{CH}=45^\circ$	7x8 (160 dentes)	68,3	0,2kN/dente	0,13 kN/dente
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x8 (160 dentes)	94,2	0,19kN/dente	0,14 kN/dente
( $\alpha=90^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x16 (80 dentes)	57,3	madeira	madeira
$\alpha_{CH}=45^\circ$	7x14 (100 dentes)		madeira	madeira
$\alpha_{CH}=90^\circ$	11x10/7x8(80/60 dentes)	99,9/30,1	madeira	madeira
Tração ( $\alpha=0^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	5x16 ( $l_{RUP}=5cm$ )	91,4	3,67kN/cm	3,03 kN/cm
$\alpha_{CH}=90^\circ$	11x10 ( $l_{RUP}=10cm$ )	169,3	2,23kN/cm	1,93 kN/cm
Cisalhamento ( $\alpha=0^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x8 ( $l_{RUP}=8cm$ )	27,1	1,48kN/cm	1,09 kN/cm
$\alpha_{CH}=30^\circ$	7x10 ( $l_{RUP}=12cm$ )	30	1,45kN/cm	1,1 kN/cm
$\alpha_{CH}=60^\circ$	7x12 ( $l_{RUP}=9cm$ )	27,5	1,33kN/cm	1,22 kN/cm
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x14 ( $l_{RUP}=7cm$ )	27,4	1,12kN/cm	0,87 kN/cm

TABELA 15 - Resultados : Eucalipto Citriodora

Ensaio	CHAPA	RIGIDEZ (k) (kN/mm)	Ruptura	Resistência (PNBR 7190, 1996)
Arrancamento ( $\alpha=0^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x8 (160 dentes)	105,8	0,23kN/dente	0,18 kN/dente
$\alpha_{CH}=45^\circ$	7x8 (160 dentes)	77,3	0,17kN/dente	0,14 kN/dente
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x8 (160 dentes)	97,4	0,18kN/dente	0,15 kN/dente
( $\alpha=90^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x16 (80 dentes)	40,2	madeira	madeira
$\alpha_{CH}=45^\circ$	7x8/7x14 (80/100 dentes)		madeira	madeira
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x8 (80 dentes)	33,4	madeira	madeira
Tração ( $\alpha=0^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x14 ( $I_{RUP}=7cm$ )	98,3	madeira no dispositivo	madeira no dispositivo
$\alpha_{CH}=90^\circ$	11x12 ( $I_{RUP}=12cm$ )	249,8	madeira no dispositivo	madeira no dispositivo
Cisalhamento ( $\alpha=0^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x8 ( $I_{RUP}=8cm$ )	19,1	1,36 kN/cm	1,05 kN/cm
$\alpha_{CH}=30^\circ$	7x14 ( $I_{RUP}=12cm$ )	24,5	1,41kN/cm	1,1 kN/cm
$\alpha_{CH}=60^\circ$	7x14 ( $I_{RUP}=8cm$ )	17,8	1,25kN/cm	1,08 kN/cm
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x8 ( $I_{RUP}=7cm$ )	17,6	1,40kN/cm	1,06 kN/cm

TABELA 16 - Resultados : Jatobá

Ensaio	CHAPA	RIGIDEZ (k) (kN/mm)	Ruptura	Resistência (PNBR 7190, 1996)
Arrancamento ( $\alpha=0^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x8 (160 dentes)	87,5	0,24kN/dente	0,16 kN/dente
$\alpha_{CH}=45^\circ$	7x8 (160 dentes)	88,5	0,21kN/dente	0,14 kN/dente
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x8 (160 dentes)	86,5	0,18kN/dente	0,14 kN/dente
( $\alpha=90^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x14 (80 dentes)	116,2	madeira	madeira
$\alpha_{CH}=45^\circ$	7x14 (100 dentes)		madeira	madeira
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x8 (80 dentes)	73,2	madeira	madeira
Tração ( $\alpha=0^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x14 ( $l_{RUP}=7cm$ )	123,1	3,47kN/cm	2,82 kN/cm
$\alpha_{CH}=90^\circ$	11x8 ( $l_{RUP}=8cm$ )	116,4	2,23kN/cm	1,84 kN/cm
Cisalhamento ( $\alpha=0^\circ$ )				
$\alpha_{CH}=0^\circ$	7x8 ( $l_{RUP}=8cm$ )	25,9	1,45kN/cm	1,04 kN/cm
$\alpha_{CH}=30^\circ$	7x14 ( $l_{RUP}=12cm$ )	34,6	1,44kN/cm	1,2 kN/cm
$\alpha_{CH}=60^\circ$	7x14 ( $l_{RUP}=8,5cm$ )	28,2	1,26kN/cm	1,07 kN/cm
$\alpha_{CH}=90^\circ$	7x8 ( $l_{RUP}=7cm$ )	26,2	1,39kN/cm	1,07 kN/cm



## 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

### 5.1 Ensaio de tração da chapa

#### 5.1.1 Tração longitudinal à chapa ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ )

Neste ensaio observou-se uma variação muito pequena nos valores médios de ruptura. Isto pode ser atribuído ao fato de se tratar de uma ruptura dependente somente da chapa de aço, desde que esteja garantido um número de dentes suficientes para impedir o arrancamento da chapa da peça de madeira, mesmo que não totalmente, ou a ruptura da madeira.

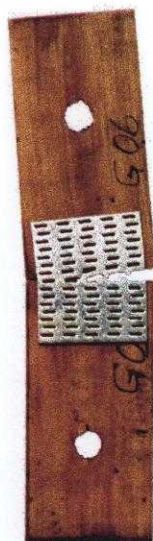


FIGURA 19 - Ruptura da chapa por tração ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ )

Alguns corpos-de-prova apresentaram ruptura no ponto de fixação do dispositivo de ensaio, principalmente no caso do *Pinus Elliottii* e do *Eucalipto Citriodora*, como mostra a figura 20. No caso do *Eucalipto* não foi

possível a verificação da resistência da chapa, pois todos os corpos-de-prova ensaiados romperam na madeira.

Devido à baixa resistência do *Pinus Elliottii* ao arrancamento da chapa e ao embutimento, não foi possível a ruptura da chapa, pois em todos os ensaios a ruptura se deu por arrancamento da chapa ou ruptura da madeira no ponto de fixação do dispositivo.

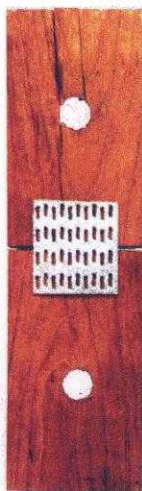


FIGURA 20 - Falha no ensaio de tração da chapa ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ )

A ligação apresentou um comportamento próximo do linear até valores de carga da ordem de 40% da força de ruptura, passando a partir deste ponto a apresentar grandes deformações, sendo importante nos cálculos este controle para evitar grandes deslocamentos da estrutura.

Apresenta-se na figura 21 uma curva modelo do comportamento da ligação para este tipo de solicitação, incluindo a reta para determinação da resistência e rigidez da ligação.

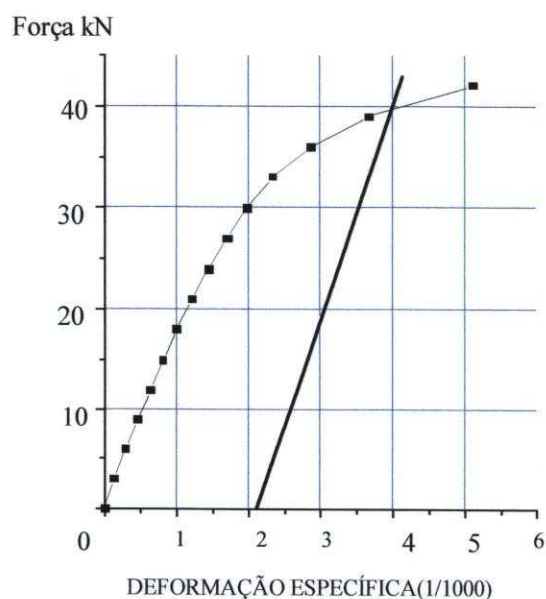


FIGURA 21 - Gráfico modelo de ensaio de tração da chapa

Na determinação da rigidez da ligação para este ensaio, observou-se um acréscimo com o aumento da densidade da madeira, ao contrário do observado para os valores de ruptura, que não apresentaram grandes variações com a mudança da espécie de madeira.

Apresenta-se na figura 22 um gráfico com a variação dos valores de ruptura, resistência e rigidez de acordo com a espécie de madeira.

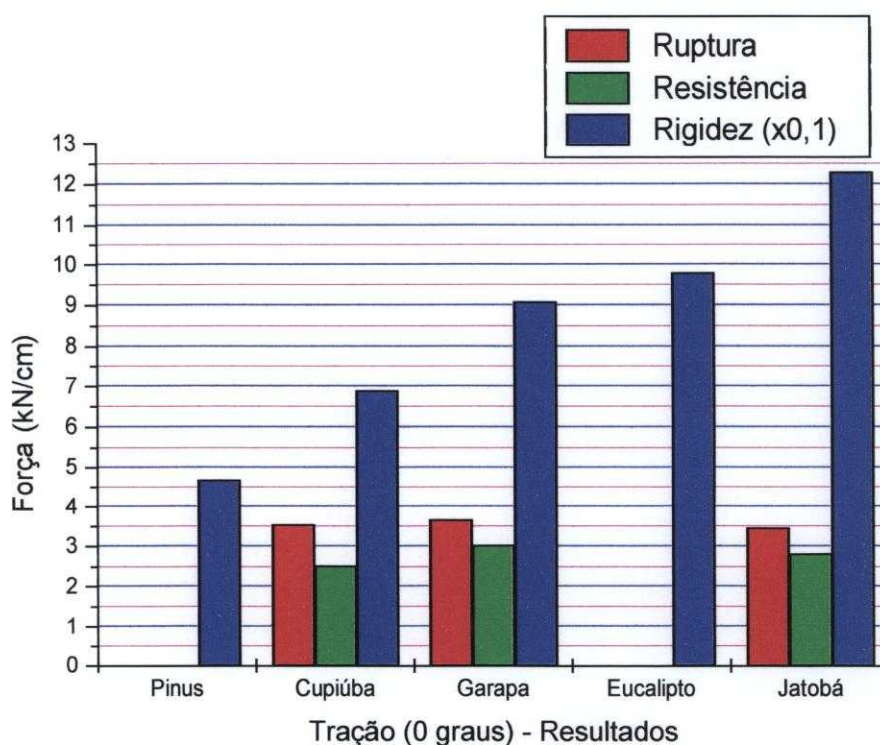


FIGURA 22 - Variação dos resultados nos ensaios de tração ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ )

### 5.1.2 Tração transversal à chapa ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ )

Os valores médios de ruptura dos ensaios realizados não apresentaram variação. A comparação destes valores com os obtidos nos ensaios de tração longitudinal mostraram uma menor resistência no sentido transversal devido à menor área resistente de aço nesta direção.

Assim como nos ensaios de tração longitudinal à chapa, onde alguns corpos-de-prova romperam por arrancamento dos dentes da chapa da madeira ou por ruptura da madeira no ponto de fixação do dispositivo de ensaio, neste caso também ocorreram estas falhas principalmente para o Pinus e o Eucalipto.

A ligação apresentou um comportamento semelhante ao verificado nos ensaios de tração longitudinal à chapa com um comportamento linear até

valores da ordem de 40% da força de ruptura, como pode ser observado na figura 21.

Também neste caso a rigidez aumentou proporcionalmente à densidade da madeira, só que com valores maiores que os apresentados para a tração longitudinal. Isto se deve, principalmente, pelo fato dos dentes serem solicitados na direção de maior inércia.

A figura 23 mostra a variação dos valores de resistência, ruptura e rigidez deste tipo de ligação de acordo com a espécie de madeira.

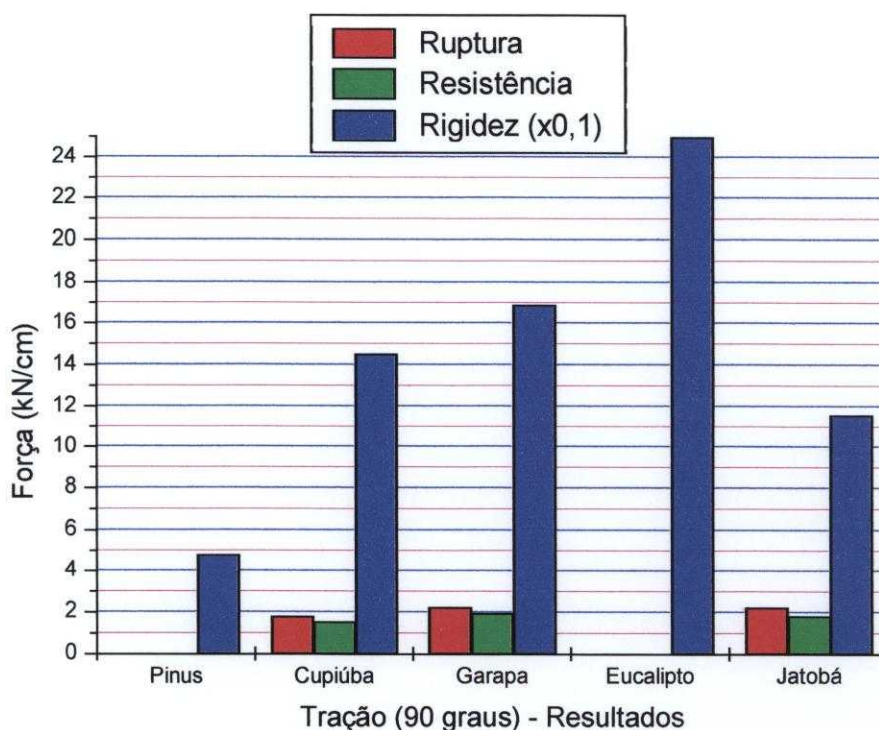


FIGURA 23 - Variação dos resultados nos ensaios de tração ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ )

## 5.2 Ensaio de arrancamento

### 5.2.1 Arrancamento paralelo às fibras ( $\alpha=0^\circ$ )

Os valores de resistência apresentados nos ensaios para este tipo de sollicitação, mostraram que com o aumento da densidade da madeira ocorre também um aumento da resistência, partindo do Pinus (Classe C20) com uma resistência menor e aumentando até chegar ao Jatobá (Classe C60).

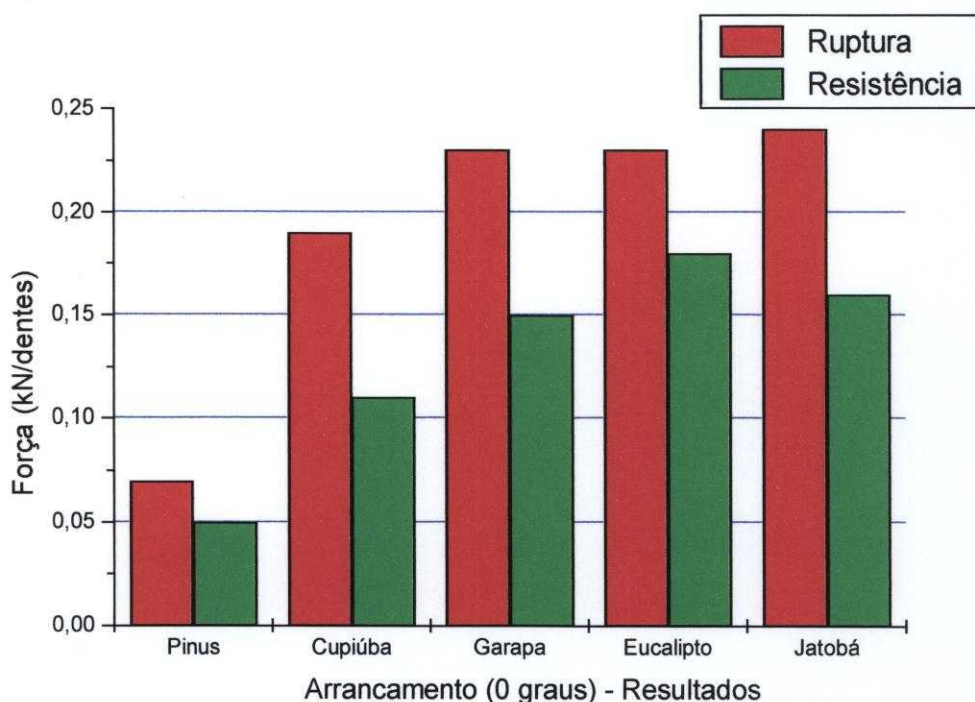


FIGURA 24 - Variação dos resultados de arrancamento de acordo com a espécie de madeira ( $\alpha=0^\circ$ )

Outra observação importante refere-se à variação da resistência dentro de uma mesma espécie com a mudança da posição da chapa, que mesmo não sendo uma variação muito elevada, acreditamos ser necessário levar em conta uma redução no valor da resistência de acordo com a posição da chapa em relação à direção de aplicação da carga, como mostra a figura 25.

O pré-dimensionamento da chapa para este ensaio permitiu que a ruptura sempre ocorresse por arrancamento, pois a ordem de grandeza das forças de ruptura por arrancamento são muito mais baixas que as de ruptura por tração da chapa ou ruptura da madeira.

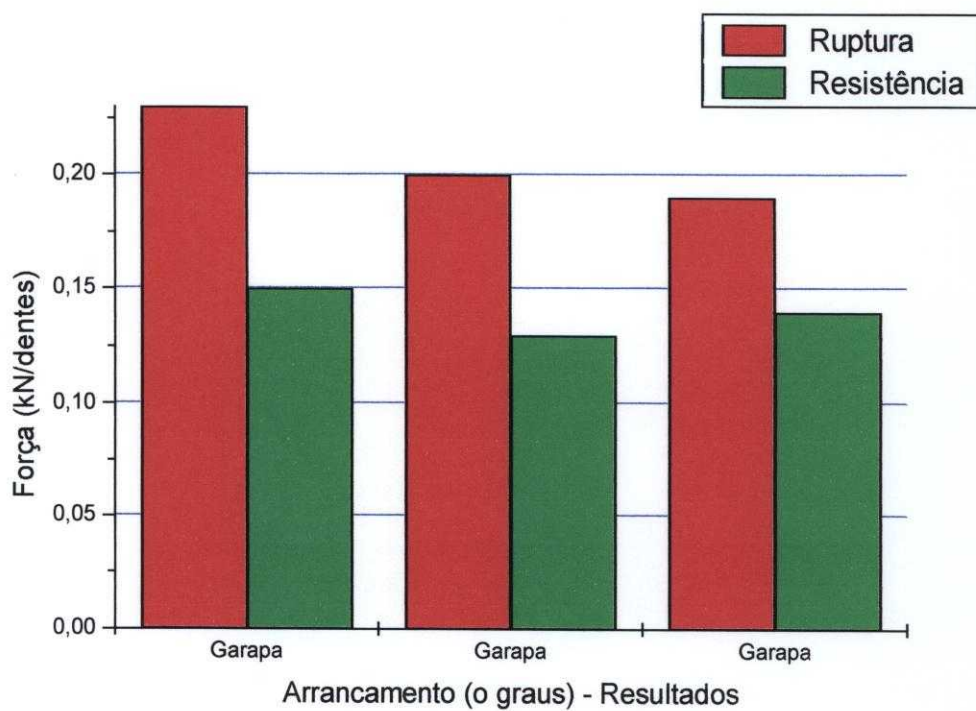


FIGURA 25 - Variação dos resultados de arrancamento para a mesma espécie de madeira ( $\alpha=0^\circ$ )



FIGURA 26 - Ruptura por arrancamento paralelo da chapa

A ligação apresentou uma deformação muito grande devido à flexão dos dentes mesmo com cargas pequenas, mostrando tratar-se de uma ligação deformável.

Apresenta-se a seguir um gráfico mostrando o comportamento típico desta ligação:

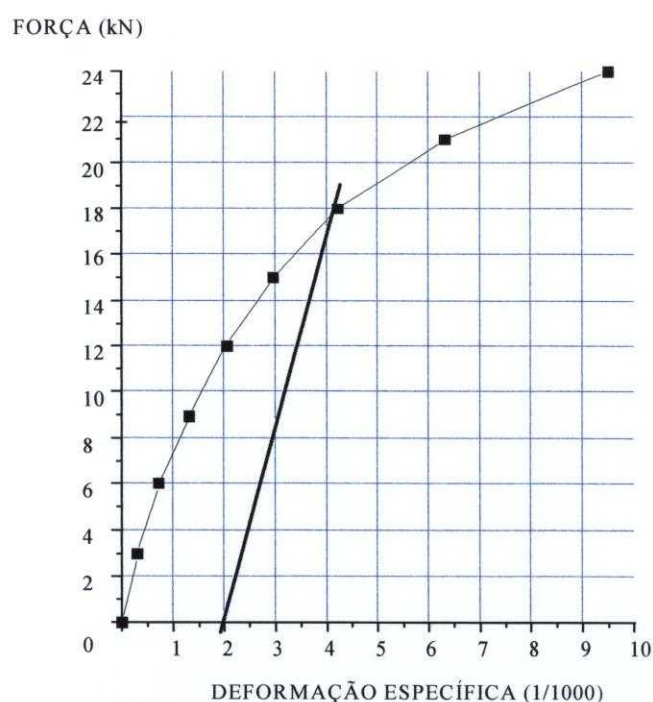


FIGURA 27 - Gráfico modelo de ensaio de arrancamento

Do mesmo modo que o descrito para o ensaio de tração da chapa, o modelo de ensaio proposto para o ensaio de arrancamento permite a determinação da resistência e rigidez da ligação.

A rigidez da ligação é maior para ligações executadas em madeiras de alta densidade, e também ocorre uma pequena variação de acordo com a posição da chapa.



### 5.2.2 Arrancamento perpendicular às fibras ( $\alpha=90^\circ$ )

Todos os corpos-de-prova ensaiados para esta solicitação romperam por tração normal às fibras da madeira na peça transversal, o que tornou impossível a determinação dos valores de resistência ao arrancamento neste caso.

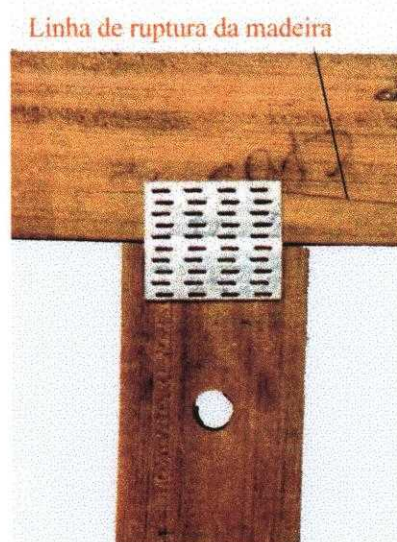


FIGURA 28 - Ruptura por arrancamento perpendicular

### 5.3 Ensaio de cisalhamento da chapa

De acordo com os dados obtidos nos ensaios os seguintes aspectos devem ser destacados:

- Dentro de uma mesma espécie a posição da chapa em relação à direção do carregamento pode variar os valores de ruptura da ligação, como mostra a figura 29;

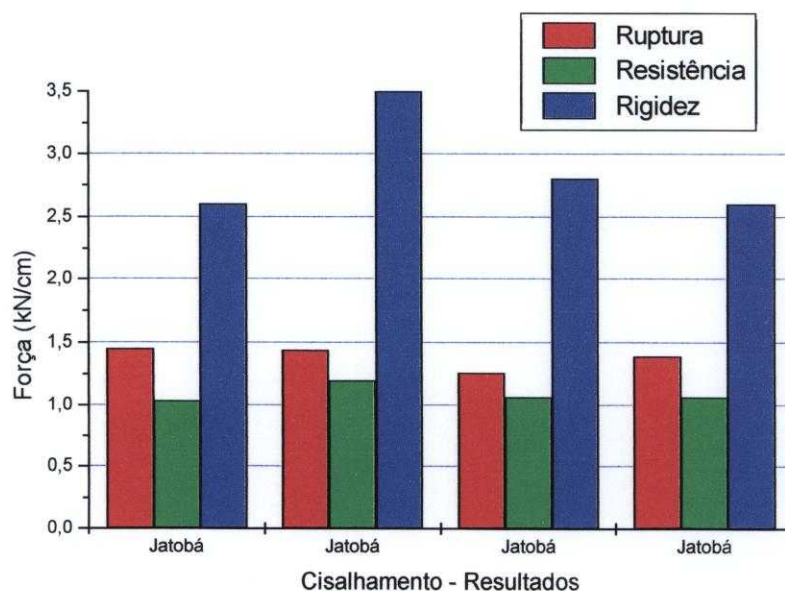


FIGURA 29 - Variação dos resultados nos ensaios de cisalhamento da chapa para a mesma espécie de madeira

•Por último cabe destacar que para a mesma posição da chapa independente da espécie de madeira os valores de ruptura apresentaram pouca variação, como mostra a figura 30.

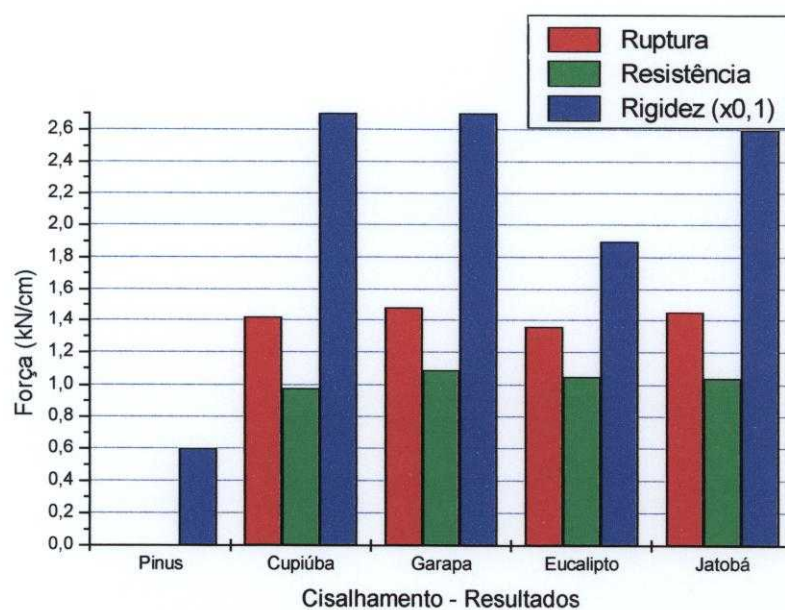


FIGURA 30 - Variação dos resultados de cisalhamento da chapa de acordo com a espécie de madeira

Dois problemas ocorreram nos ensaios: o primeiro refere-se a montagem dos corpos-de-prova, pois dependendo da posição das chapas e das peças de madeira, com a deformação da ligação pode ocorrer o contato entre as peças de madeira gerando uma força de atrito que aumenta o valor da resistência da ligação. Para se evitar este problema devem ser obedecidas as posições das peças de madeira e das chapas como mostradas no capítulo 4; o segundo refere-se a problemas apresentados pela ruptura das peças do corpo-de-prova, como mostra a figura 31.

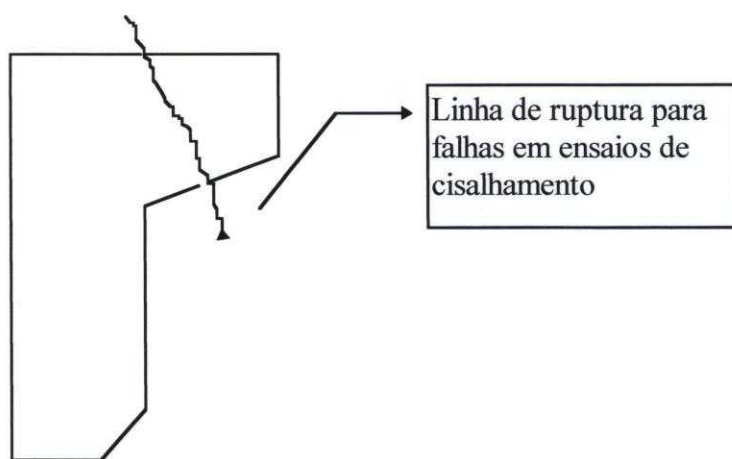


FIGURA 31 - Falha nos ensaios de cisalhamento

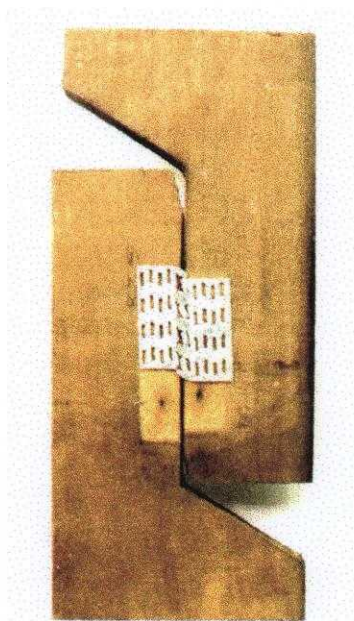


FIGURA 32 - Ruptura por cisalhamento da chapa

O comportamento da ligação mostrou-se próximo do apresentado nos ensaios de tração da chapa com um comportamento linear para valores de até 40% da ruptura, como pode ser observado na figura 33.

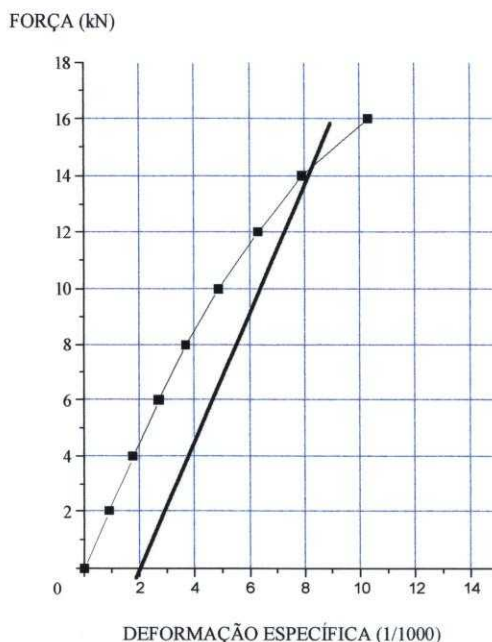


FIGURA 33 - Gráfico modelo do ensaio de cisalhamento da chapa

Também para este modelo de ensaio pode-se verificar que é possível a determinação da resistência e rigidez da ligação.

Para a rigidez verificou-se que a variação foi pequena de uma espécie para a outra e também em relação à posição da chapa no ensaio para uma mesma espécie, por outro lado a rigidez é influenciada pelo comprimento de ruptura da chapa, pois, com o aumento deste comprimento observou-se um aumento na rigidez, como mostra a figura 29, pois, para os ensaios com  $\alpha_{CH}=30^\circ$ , com maior dimensão da chapa na seção de solicitação, a rigidez se mostrou maior que os apresentados para as outras três posições da chapa, que apresentaram valores menores, mas próximos entre si.

## 5.4 Valores de resistência das ligações

### 5.4.1 Tração da chapa

É fornecido pelo fabricante valores de resistência admissível por par de conector para duas direções de solicitação em relação à chapa, como visto no capítulo 3.

Os resultados dos ensaios confirmam a variação da resistência de acordo com a posição da chapa, mas a determinação dos valores de resistência de acordo com a **PNBR 7190/1996**, mostraram uma variação desta resistência em função da espécie, pois, é levado em conta a rigidez da ligação na determinação da resistência.

A tabela abaixo mostra a comparação entre os valores de resistência à tração da chapa:

TABELA 17 - Comparação entre valores de resistência à tração da chapa (por par de conector)

Fonte	$\alpha_{CH}=0^\circ$	$\alpha_{CH}=90^\circ$
Fabricante	2,1 kN/cm	0,95 kN/cm
Ensaio	Pinus: não há ruptura Cupiúba: 2,53 kN/cm(*) Garapa: 3,03 kN/cm Eucalipto: não determinada Jatobá: 2,82 kN/cm	Pinus: não há ruptura Cupiúba: 1,81 kN/cm(*) Garapa: 1,93 kN/cm Eucalipto: não determinada Jatobá: 1,84 kN/cm

(\*) Com arrancamento

#### 5.4.2 Cisalhamento da chapa

Também neste caso é fornecido valores de resistência pelo fabricante para duas direções de solicitação em relação à chapa, como descrito no capítulo 3.

Os resultados dos ensaios mostraram que independente da espécie de madeira e da posição da chapa a resistência da ligação ao cisalhamento apresentou pouca variação, com o valor médio de 1,07 kN/cm de chapa.

Cabe destacar que a nível de projeto o fabricante das chapas recomenda a utilização do valor mínimo da resistência ao cisalhamento de 0,8 kN/cm de chapa.

#### 5.4.3 Arrancamento da chapa

Uma vez que o fabricante não fornece valores de resistência admissível ao arrancamento para as madeiras brasileiras, não foi possível a comparação com os resultados obtidos nos ensaios.

## 6 CONCLUSÕES

O método de ensaio proposto mostrou-se adequado e serve de base para a aferição de critérios de dimensionamento de ligações em estruturas de madeira por CDE.

Dos ensaios realizados recomenda-se a verificação dos seguintes modos de ruptura :

- Tração da chapa;
- Cisalhamento da chapa;
- Arrancamento dos dentes da chapa da peça de madeira.

Nos ensaio podem ocorrer os seguintes modos de ruptura :

- Ruptura da chapa por tração;
- Ruptura da chapa por cisalhamento;
- Ruptura por arrancamento;
- Ruptura da madeira por cisalhamento ou tração normal.

Para os ensaios de resistência à tração e cisalhamento da chapa os ensaios não devem ser executados com madeiras de baixa densidade, pois dificilmente a ruptura ocorrerá na chapa, mas sim por arrancamento.

Nos ensaios de arrancamento perpendicular às fibras da madeira o modo de ruptura característico é por tração normal às fibras da madeira na peça transversal do corpo-de-prova.

A resistência e rigidez da ligação pode ser determinada pelo método de ensaio proposto neste trabalho, e deve ser levada em consideração nos cálculos devido às variações apresentadas de acordo com a espécie de madeira e o tipo de solicitação.

Para a continuidade deste trabalho sugerem-se os seguintes tópicos :

- Critérios de dimensionamento;
- Realização de um número maior de ensaios com uma mesma espécie para obtenção de valores de resistência para a utilização no desenvolvimento de projetos, e a verificação dos valores de resistência e rigidez em função do tamanho e posição da chapa.
- Verificação do modo de ruptura apresentado nos ensaios de arrancamento perpendicular às fibras da madeira com o aumento da parcela da chapa presa na peça transversal do corpo-de-prova.
- Verificação da resistência da ligação para carregamentos fora do plano.
- Verificação da resistência ao arrancamento para madeiras da classe C30.



## **ANEXO A**

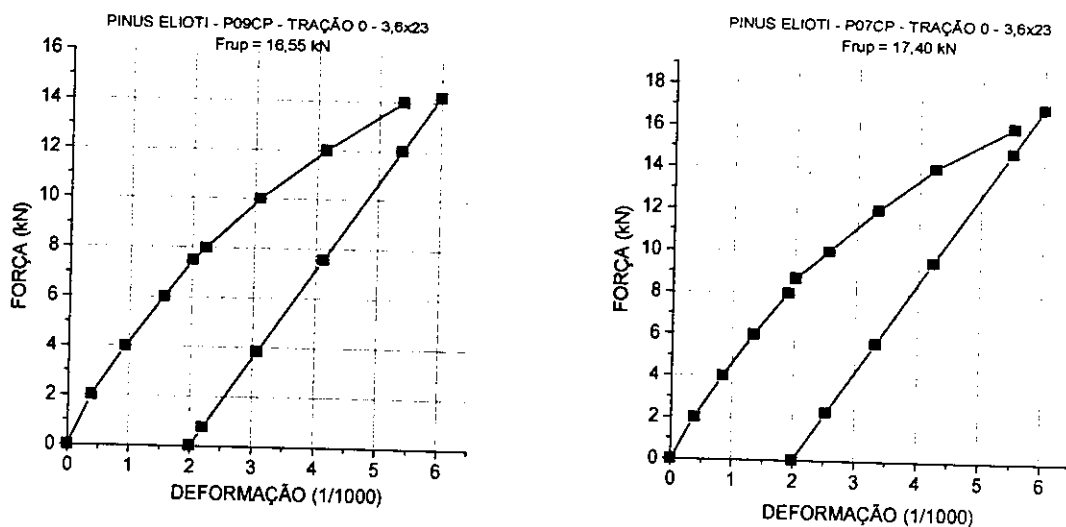


FIGURA 34 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Pinus Elliottii

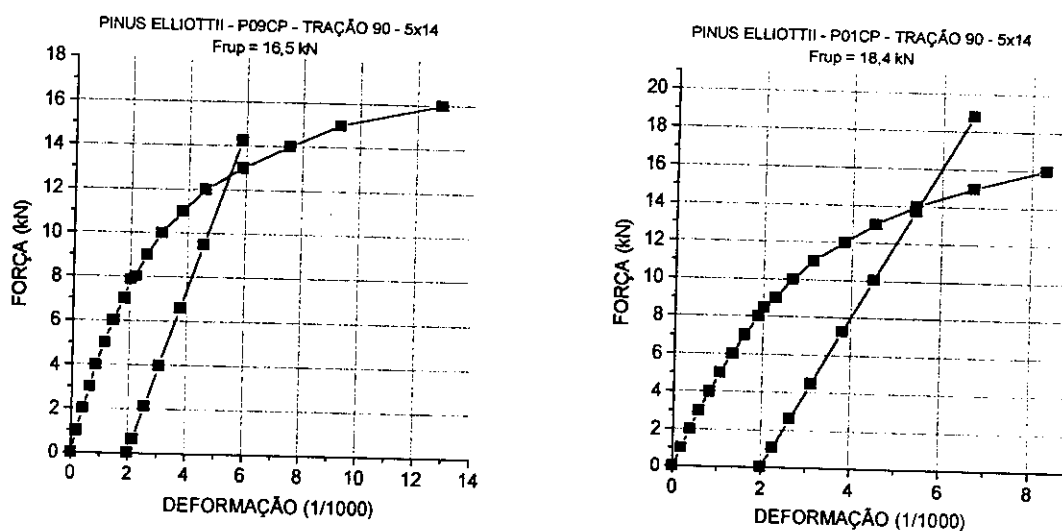


FIGURA 35 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Pinus Elliottii

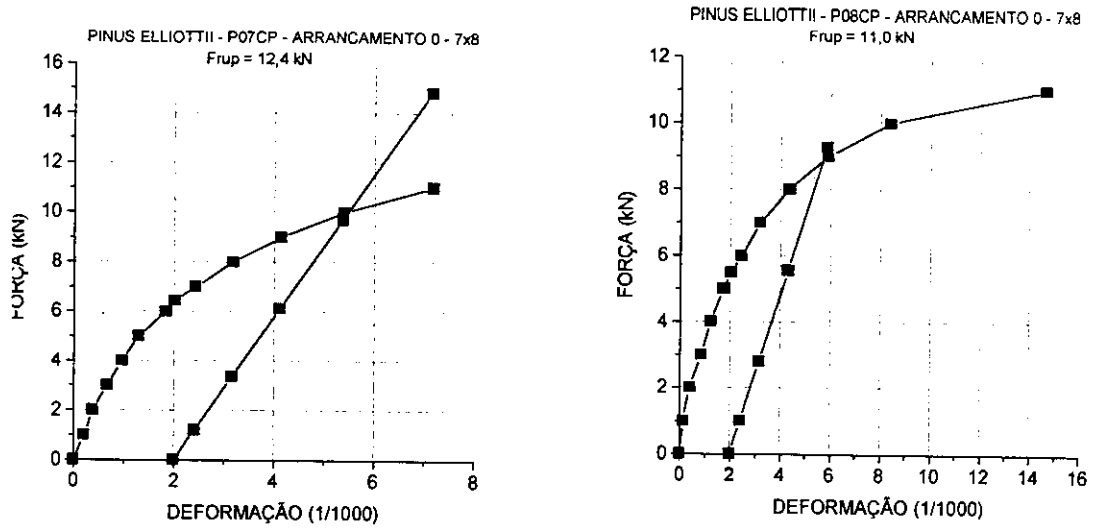


FIGURA 36 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Pinus Elliottii

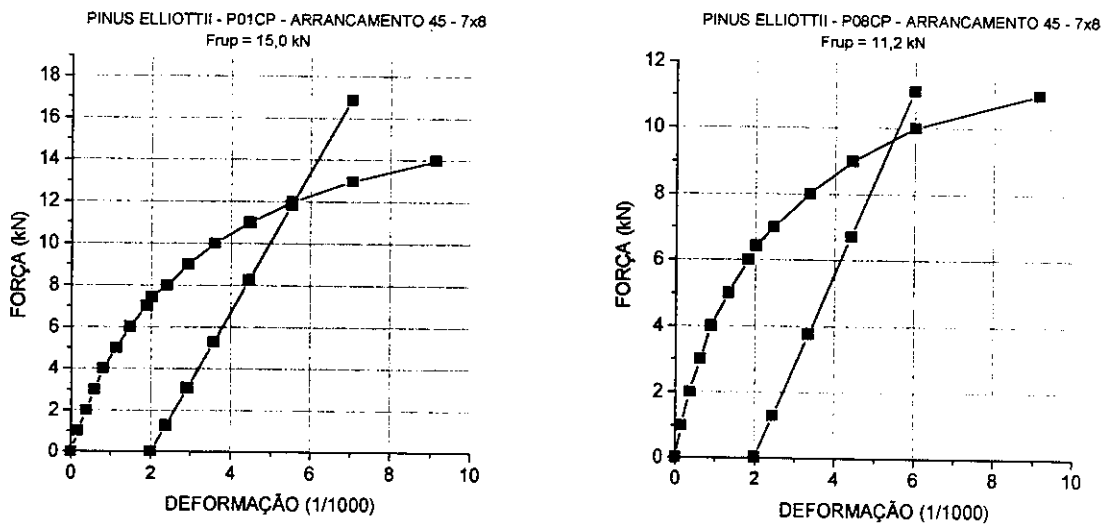


FIGURA 37 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=45^\circ$ ) com Pinus Elliottii

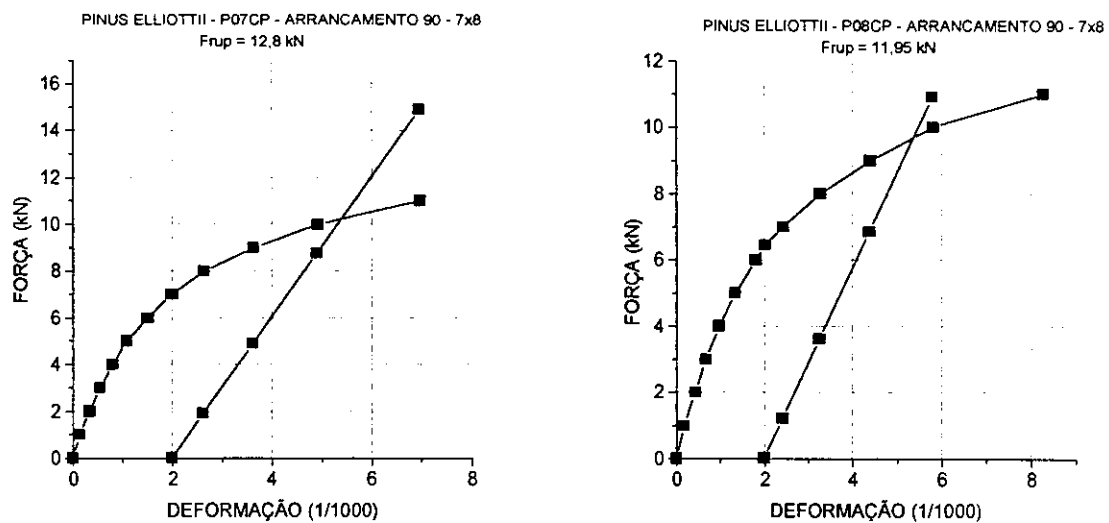


FIGURA 38 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Pinus Elliottii

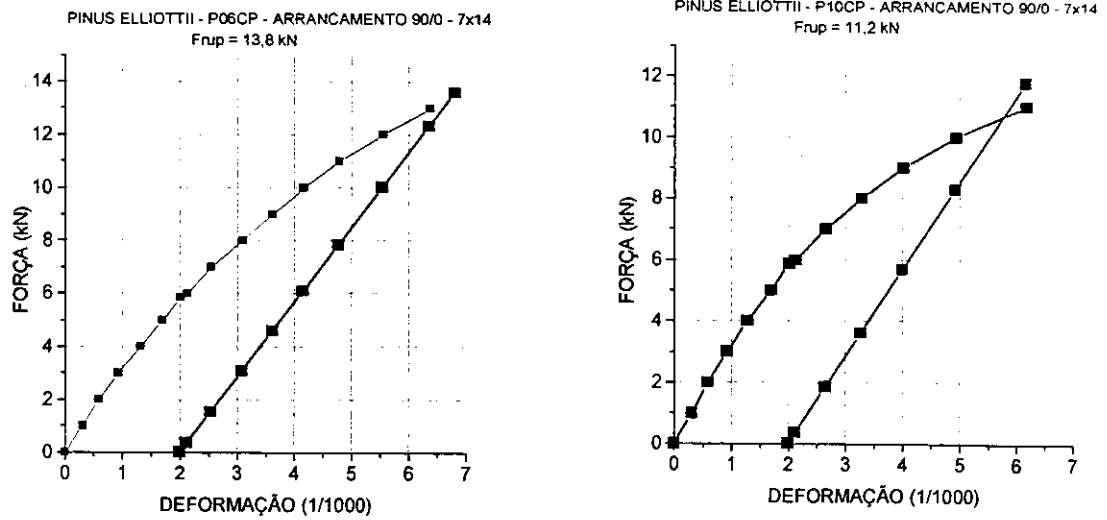


FIGURA 39 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Pinus Elliottii

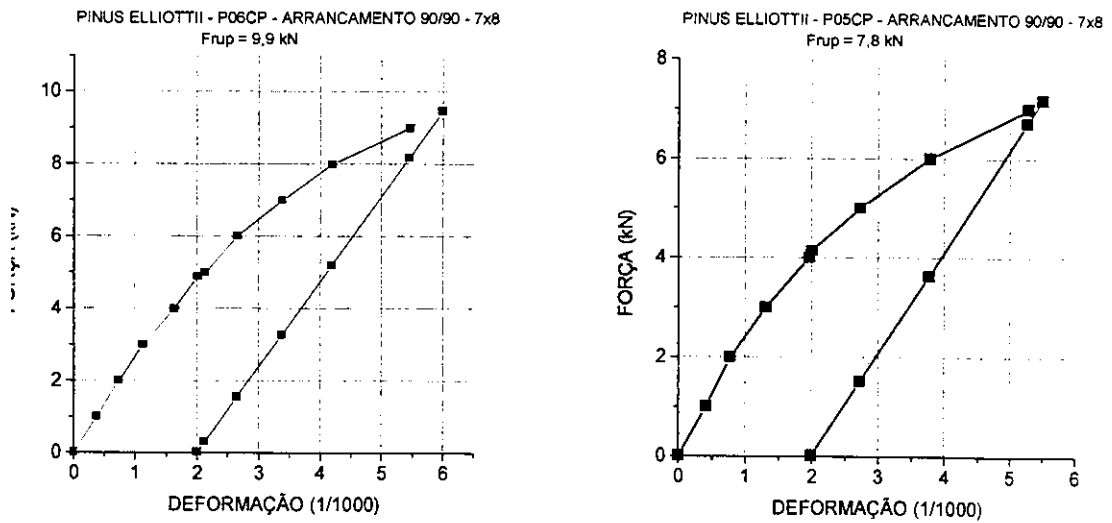


FIGURA 40 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Pinus Elliottii

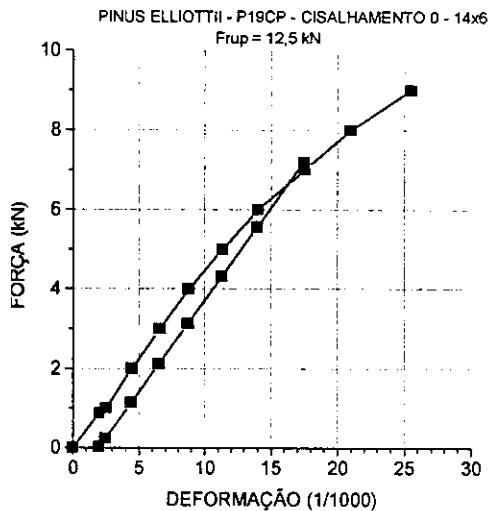
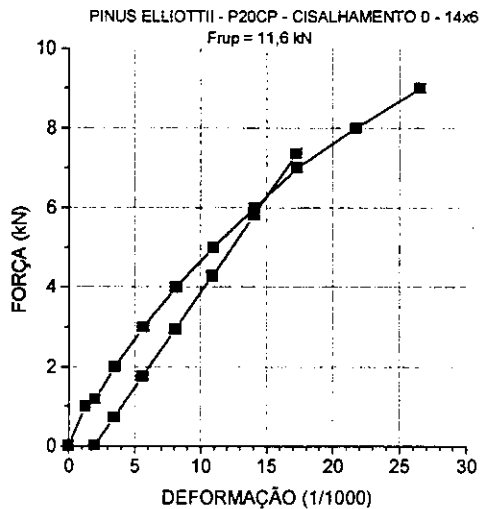
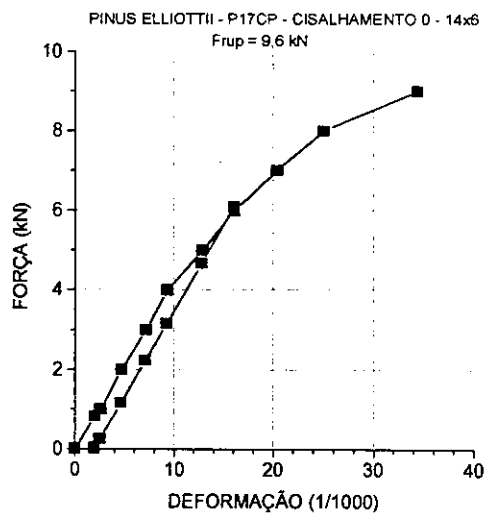
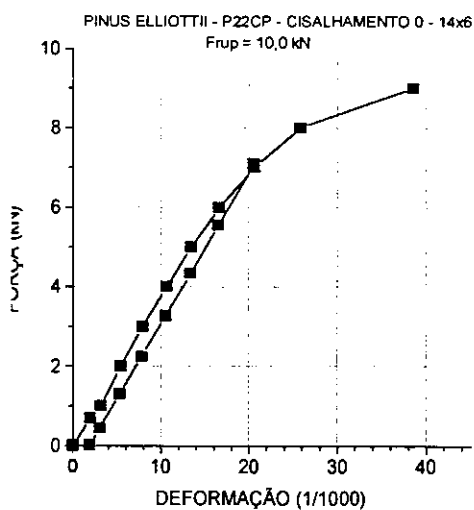


FIGURA 41 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Pinus Elliottii

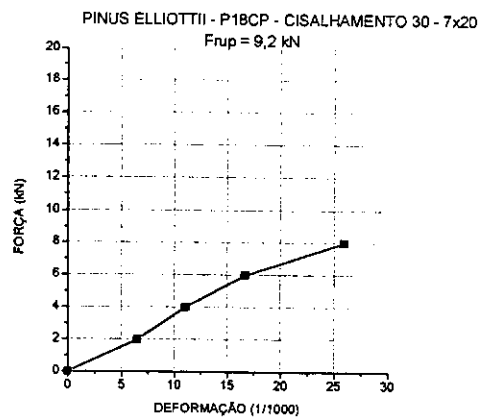
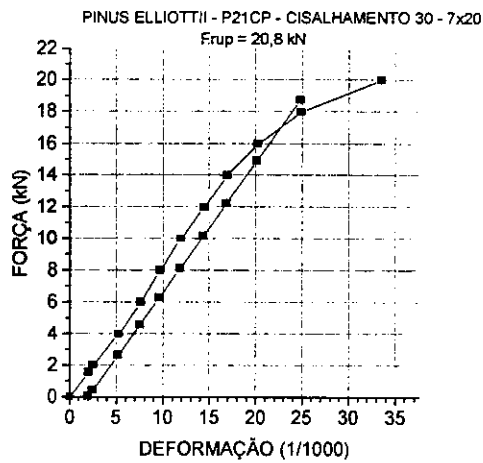
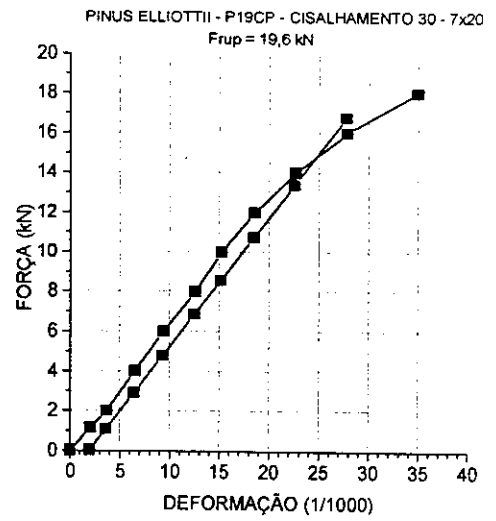
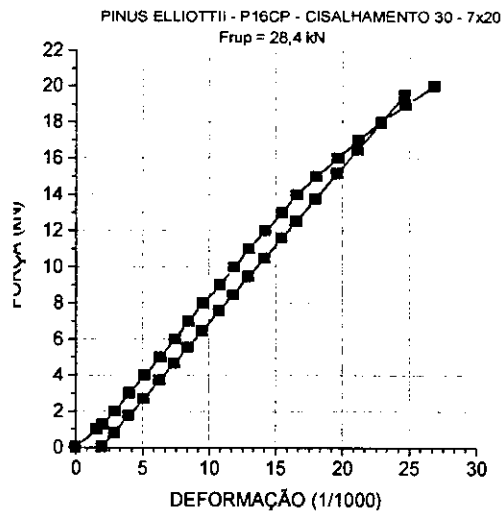


FIGURA 42 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=30^\circ$ ) com Pinus Elliottii

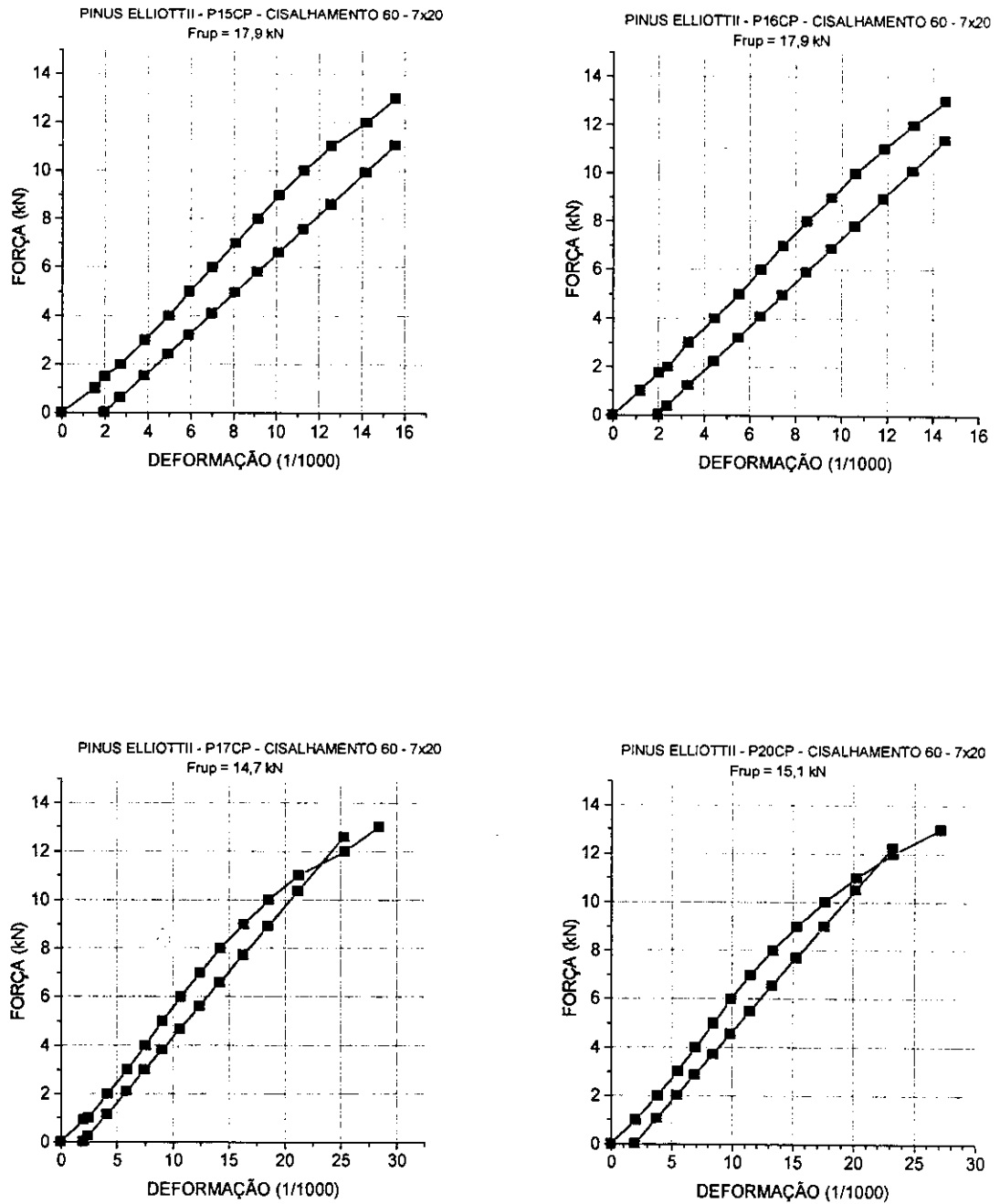


FIGURA 43 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=60^\circ$ ) com Pinus Elliottii



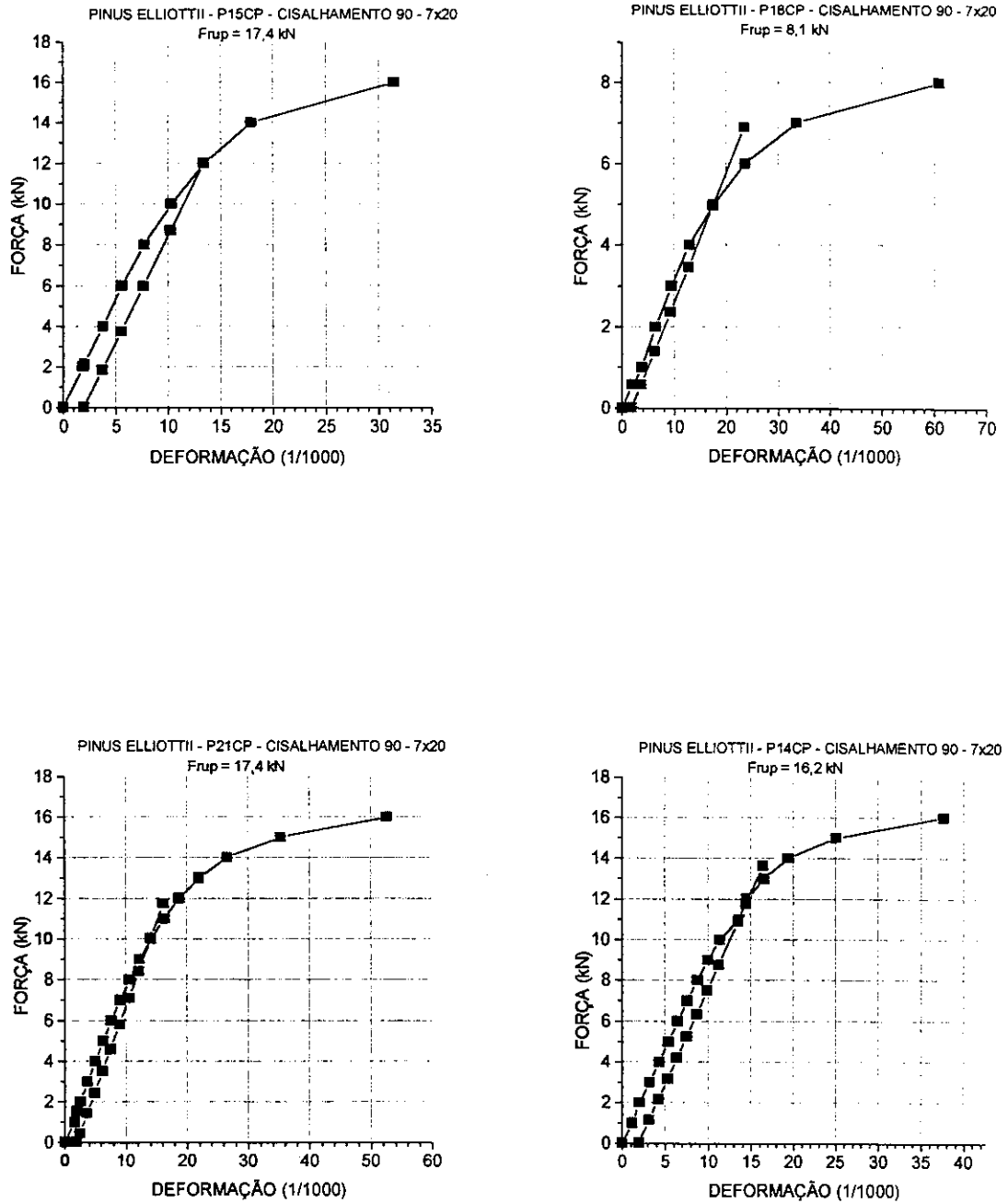


FIGURA 44 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Pinus Elliottii

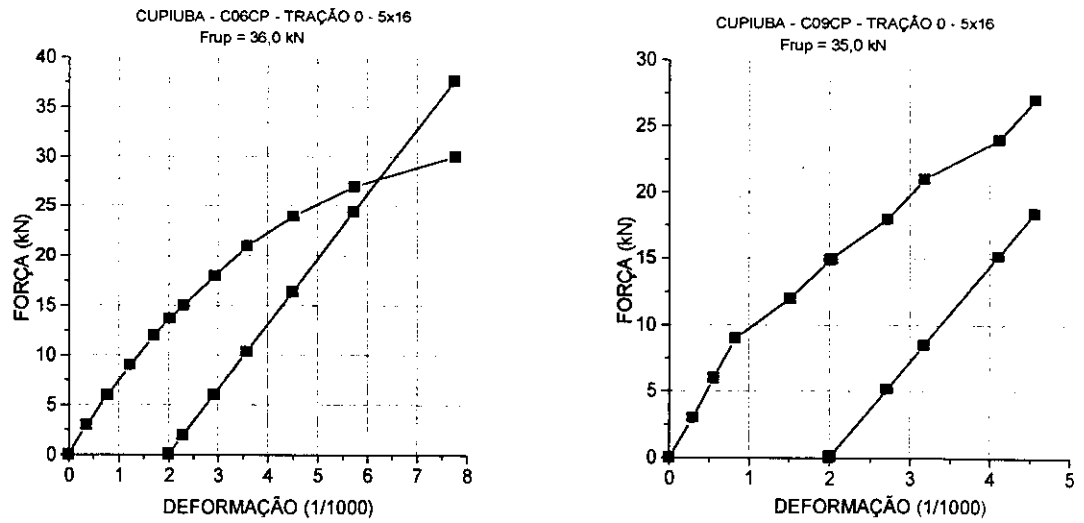


FIGURA 45 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Cupiúba

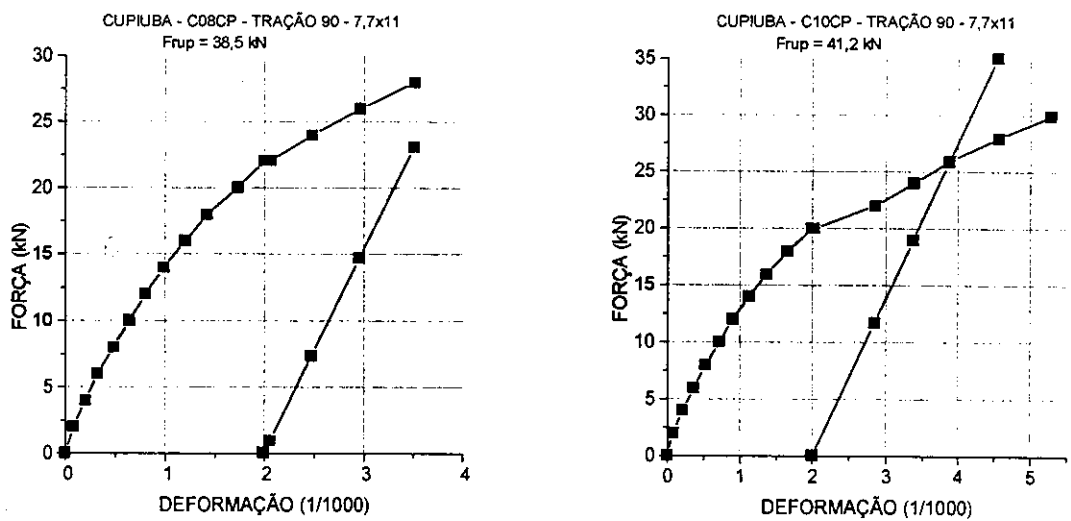


FIGURA 46 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Cupiúba

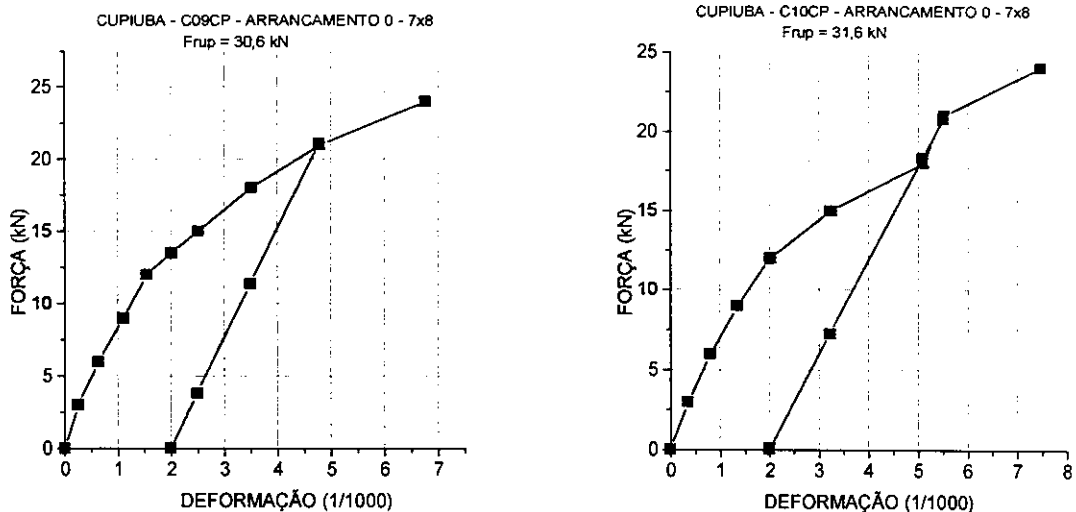


FIGURA 47 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Cupiúba

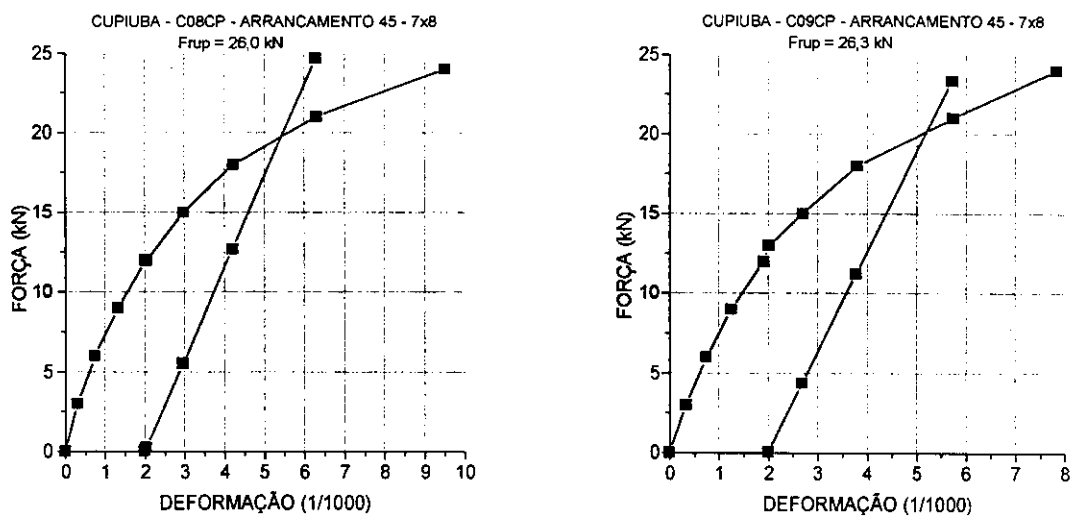


FIGURA 48 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=45^\circ$ ) com Cupiúba

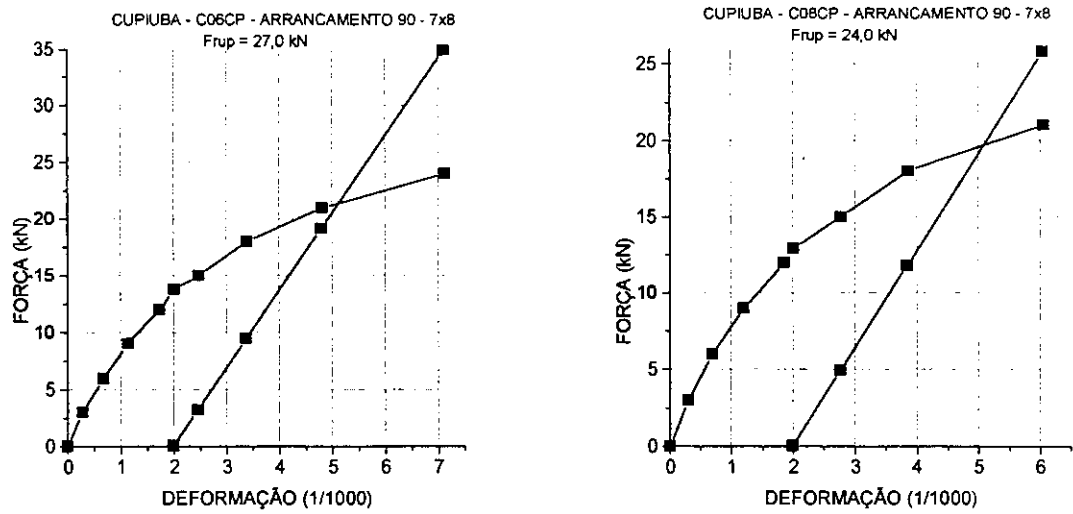


FIGURA 49 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Cupiúba

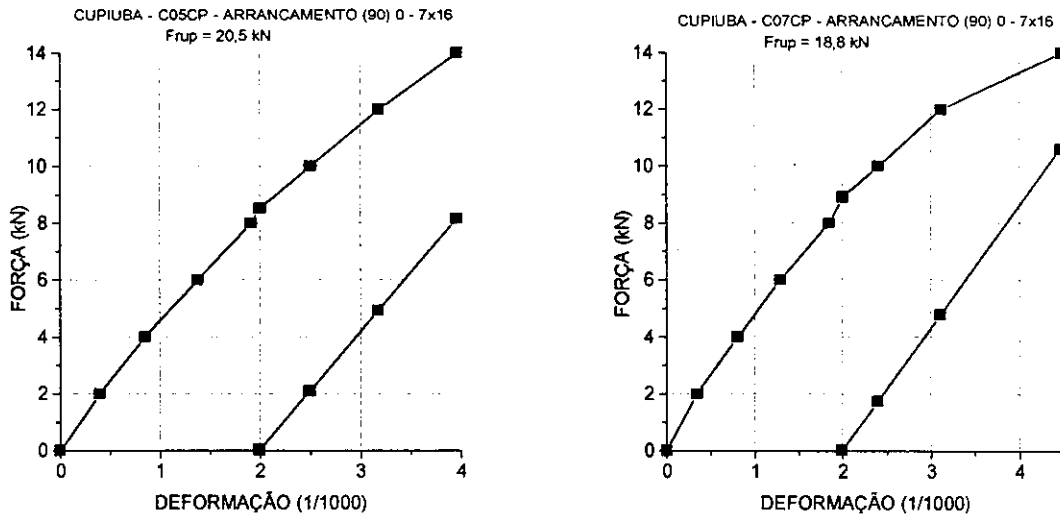


FIGURA 50 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Cupiúba

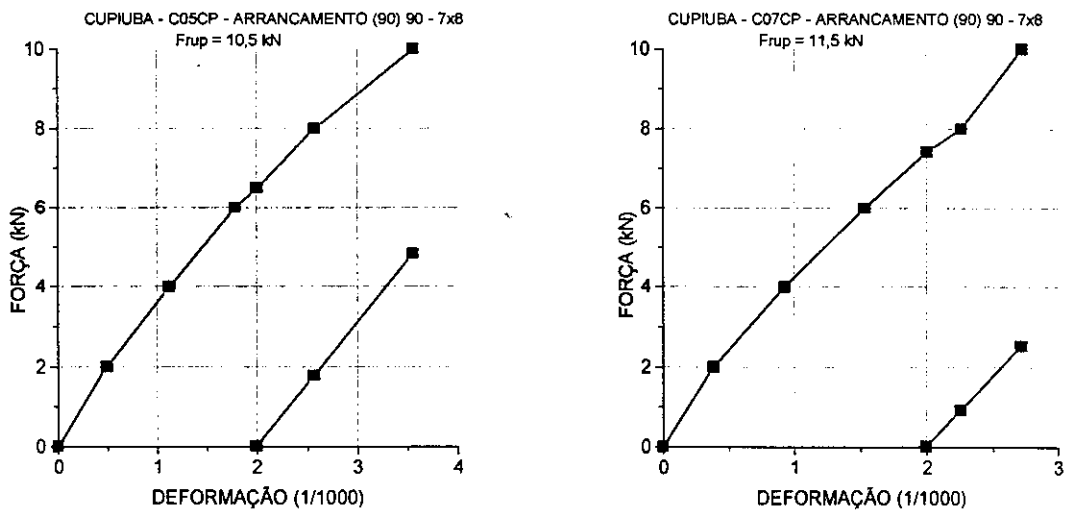


FIGURA 51 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Cupiúba

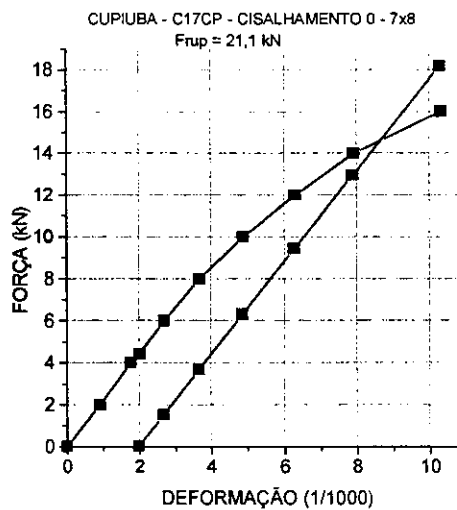
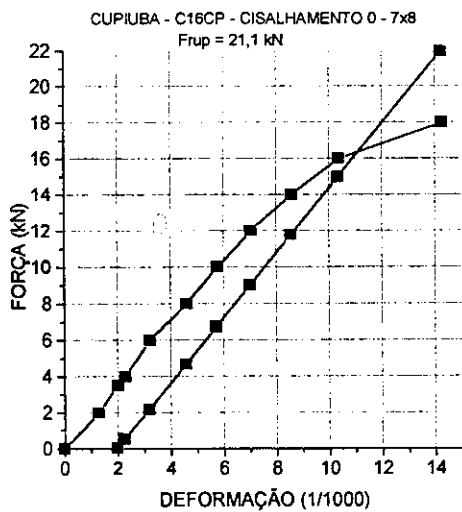
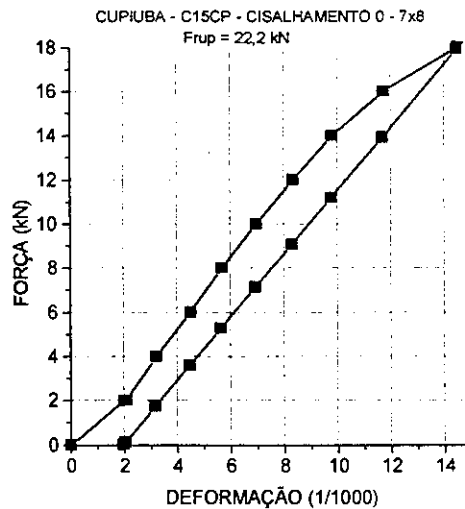
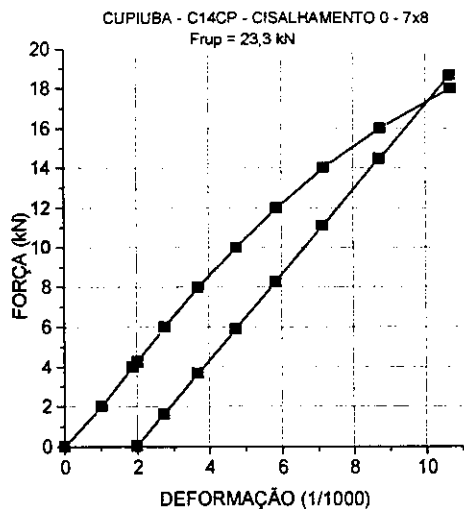


FIGURA 52 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Cupiúba

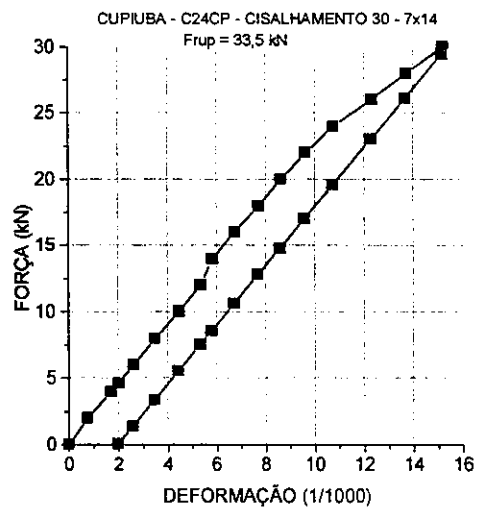
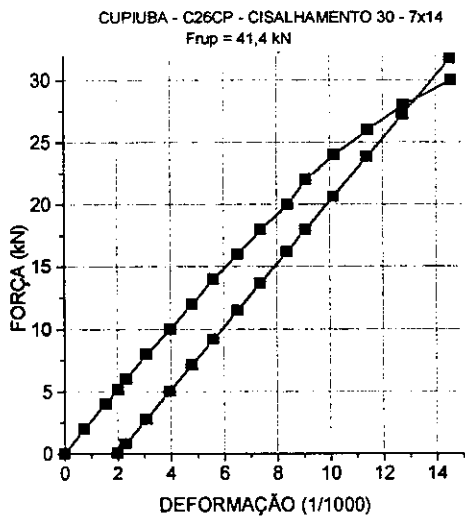
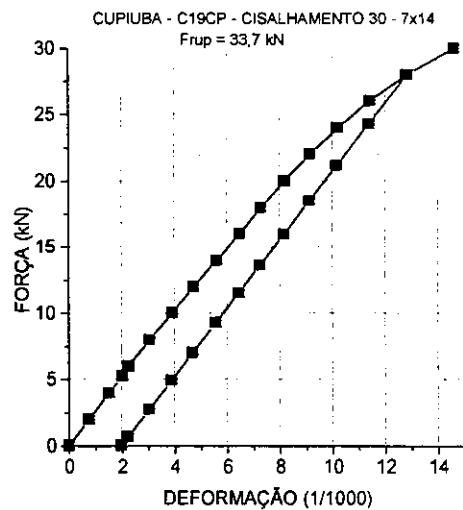
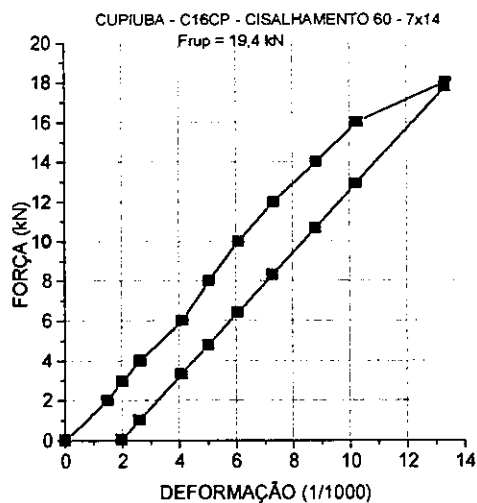


FIGURA 53 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=30^\circ$ ) com Cupiúba

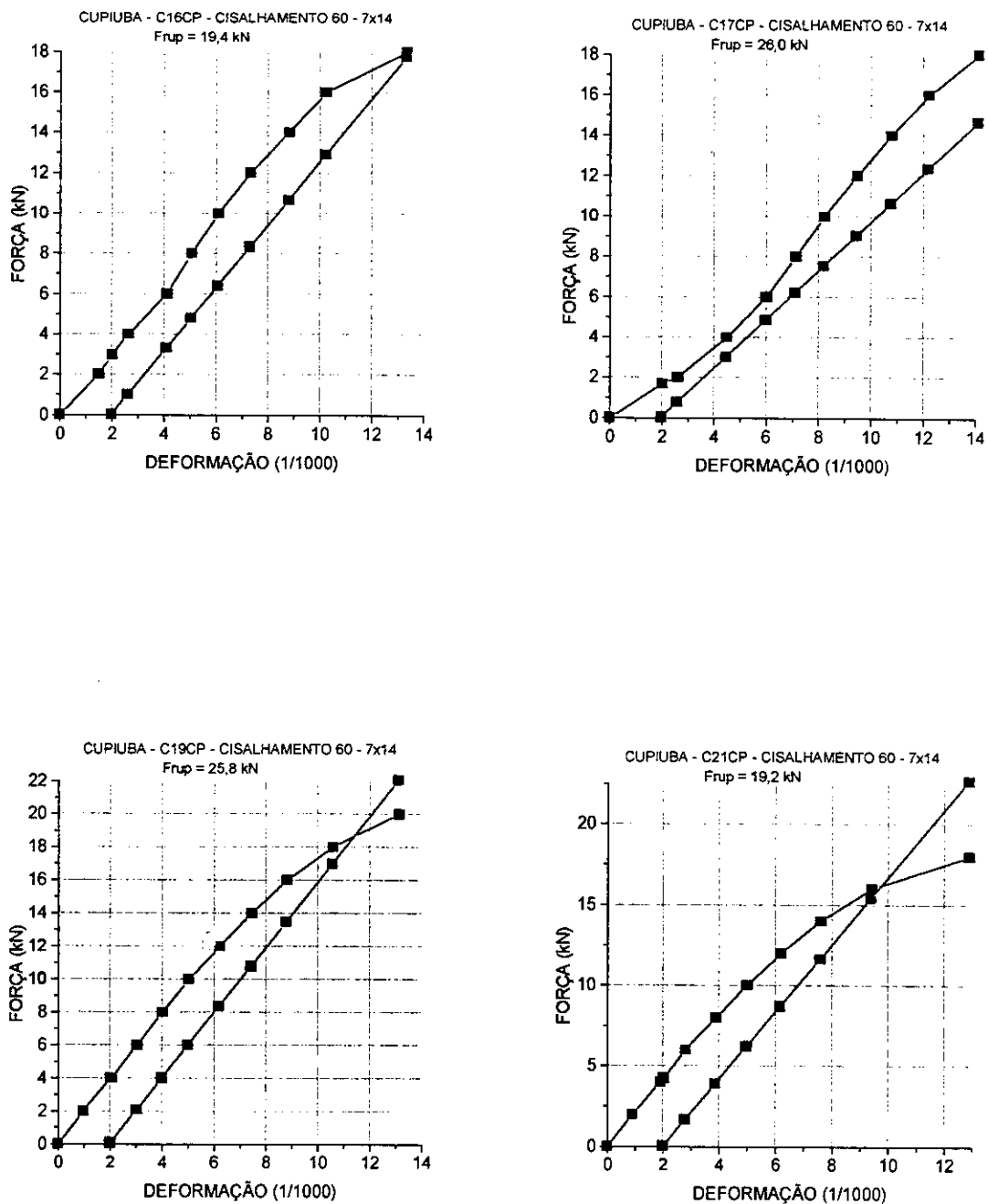


FIGURA 54 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=60^\circ$ ) com Cupiúba



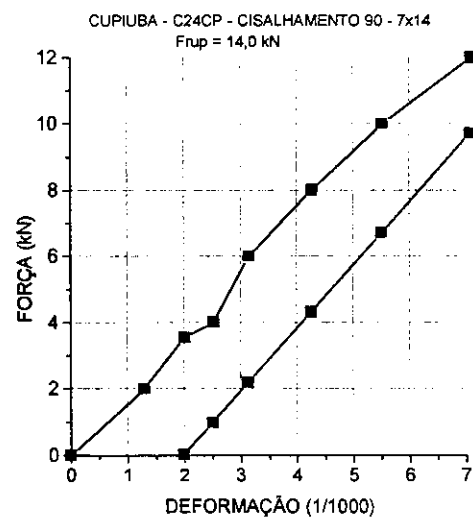
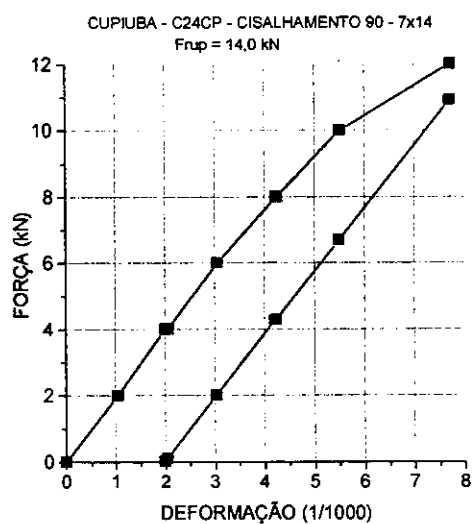
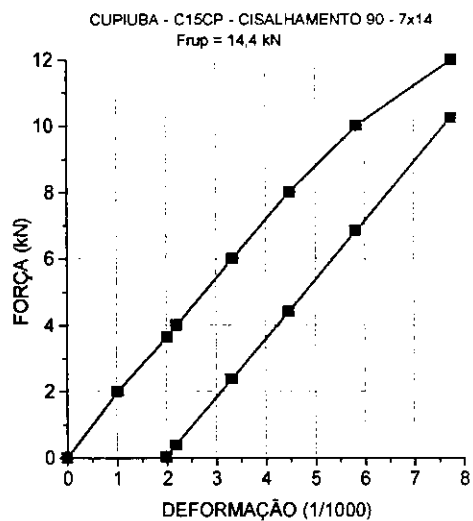
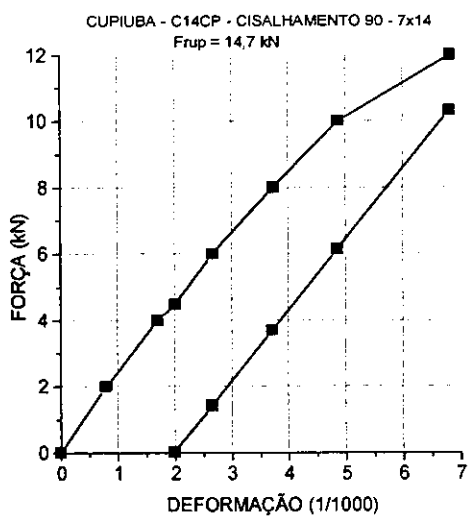


FIGURA 55 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Cupiúba

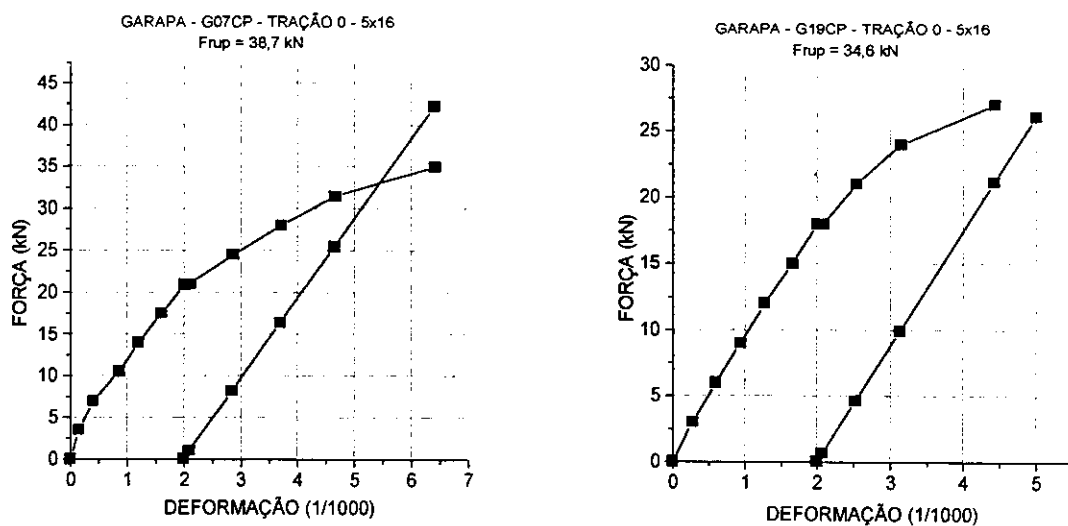


FIGURA 56 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Garapa

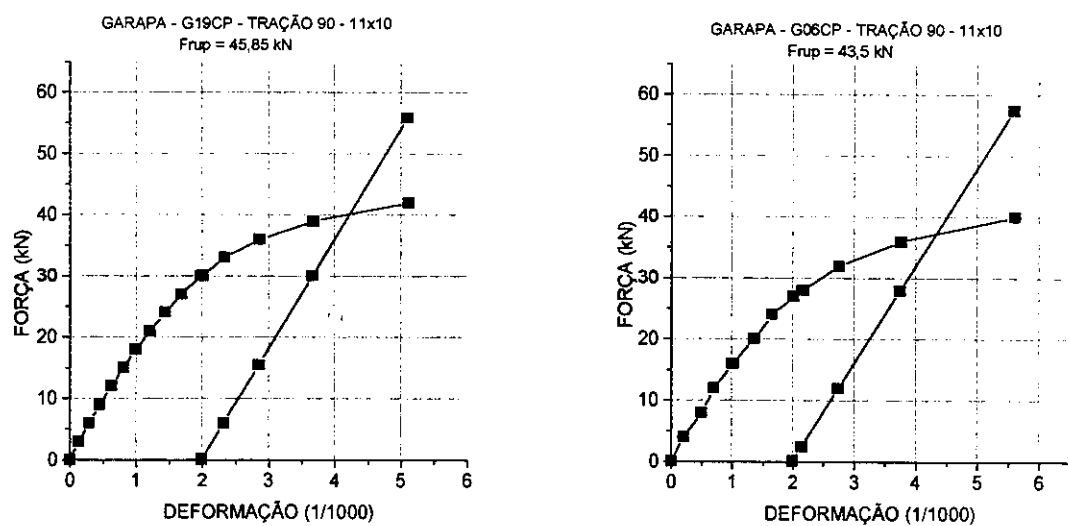


FIGURA 57 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Garapa

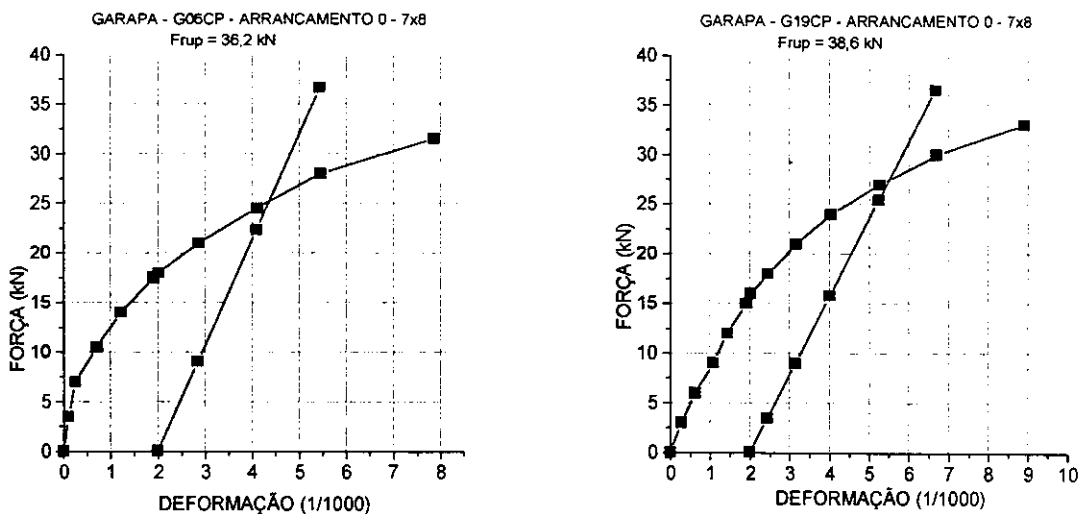


FIGURA 58 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Garapa

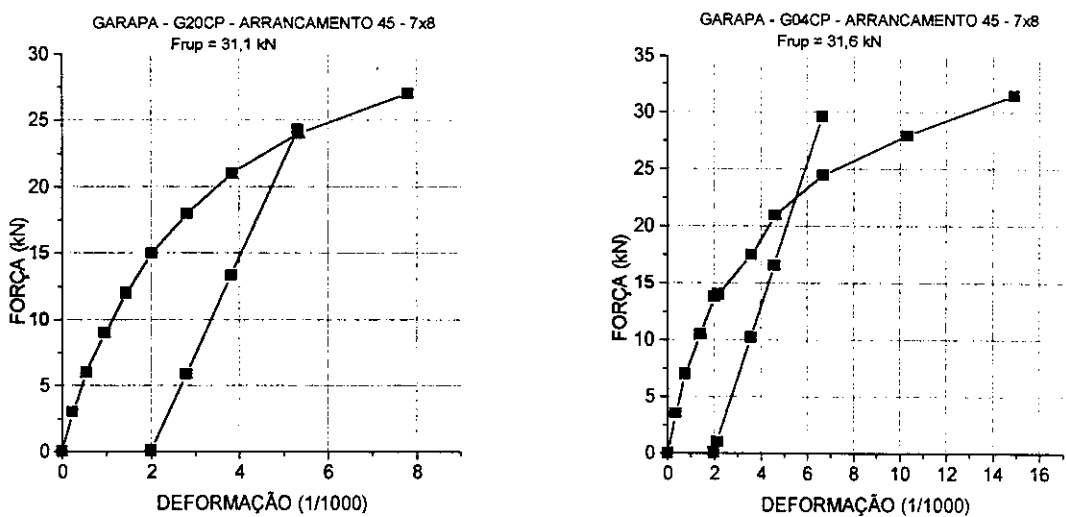


FIGURA 59 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=45^\circ$ ) com Garapa

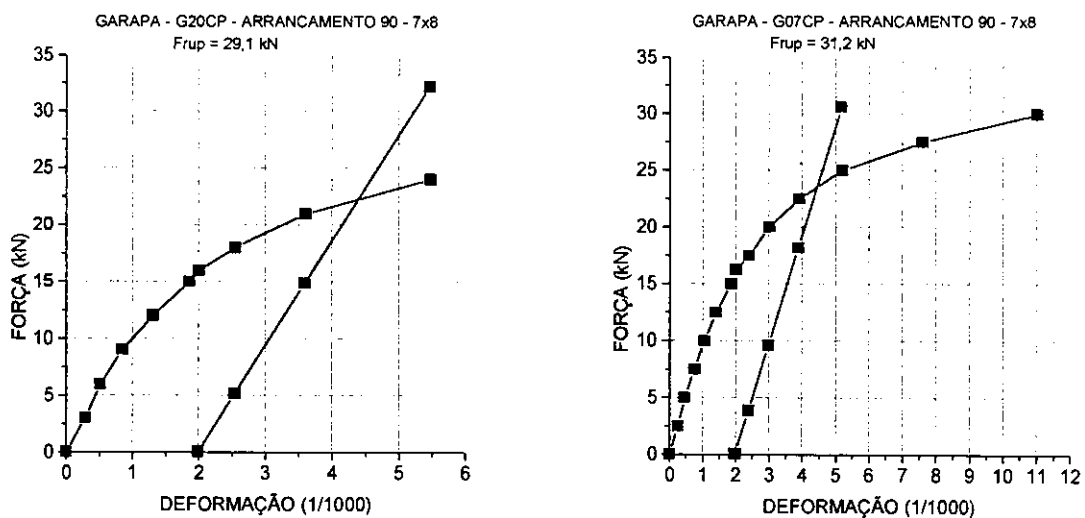


FIGURA 60 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Garapa

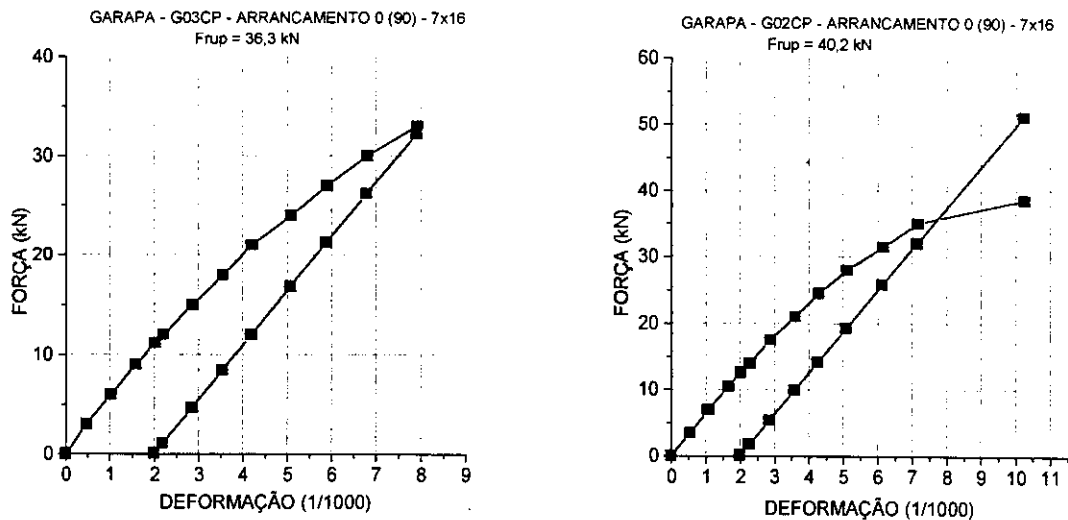


FIGURA 61 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Garapa

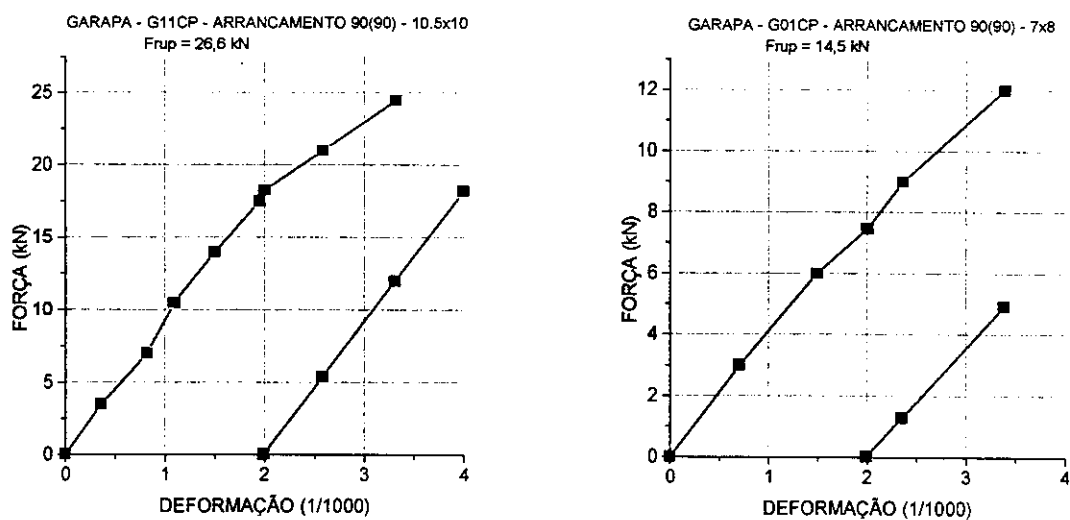


FIGURA 62 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Garapa

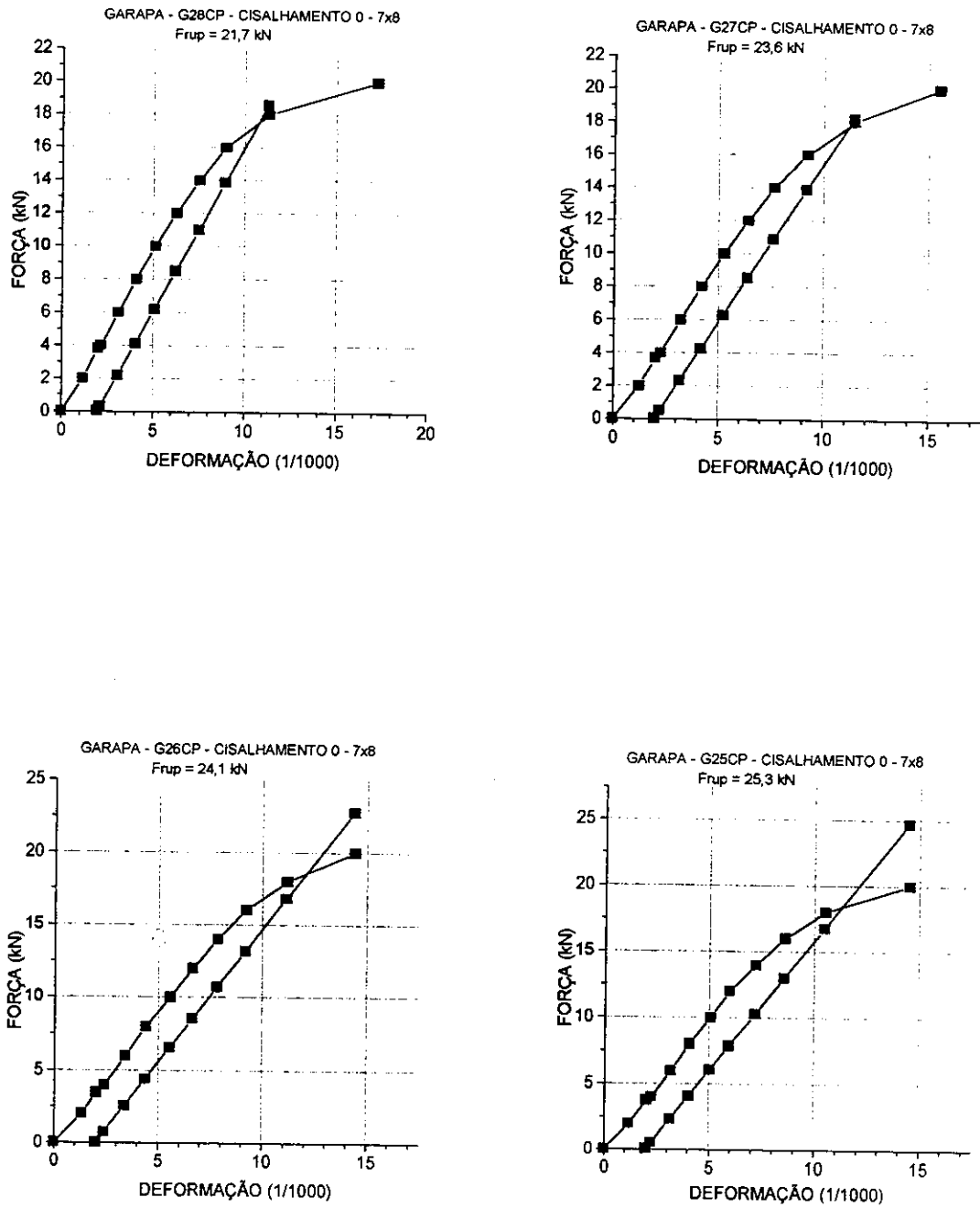


FIGURA 63 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Garapa

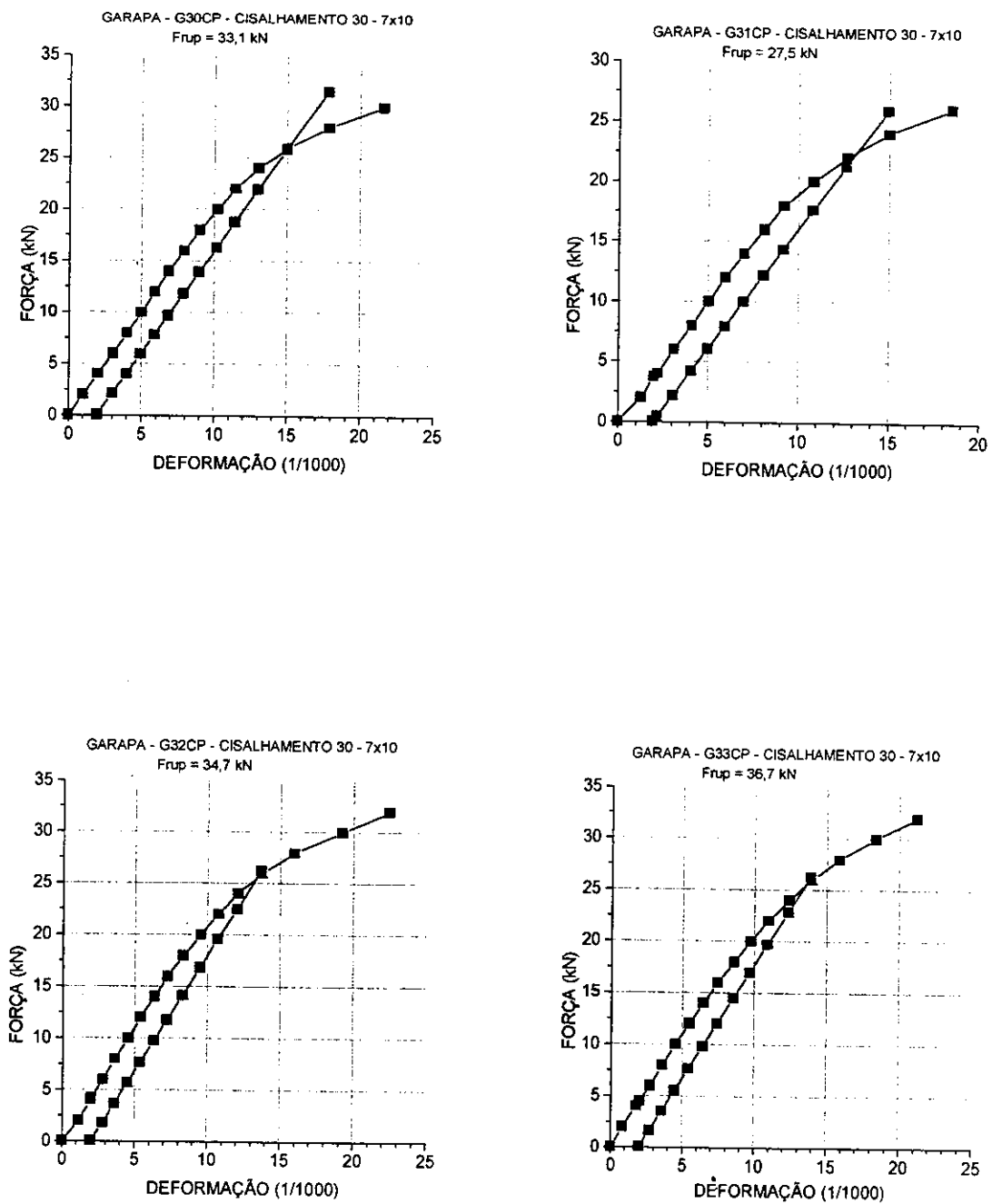


FIGURA 64 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=30^\circ$ ) com Garapa

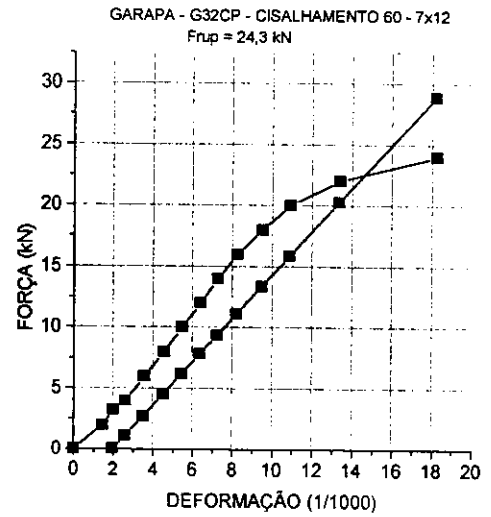
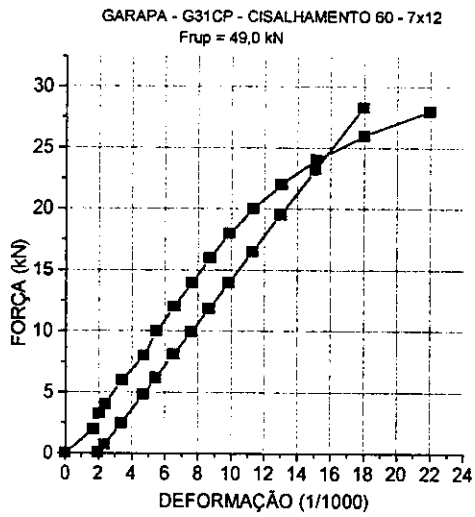
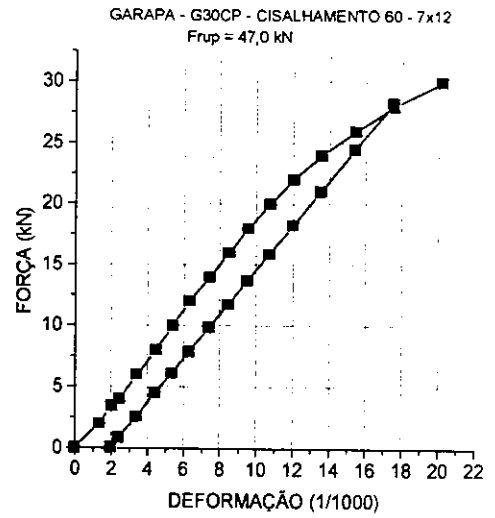
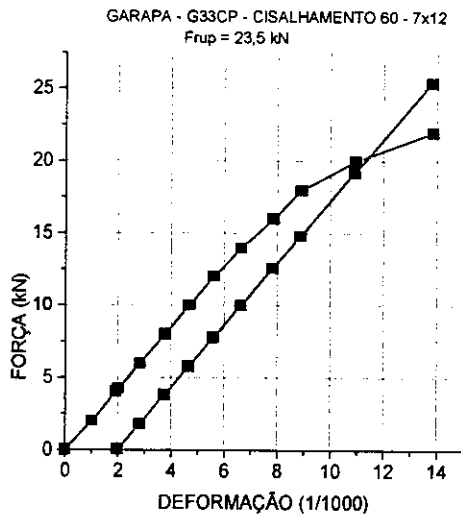


FIGURA 65 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=60^\circ$ ) com Garapa



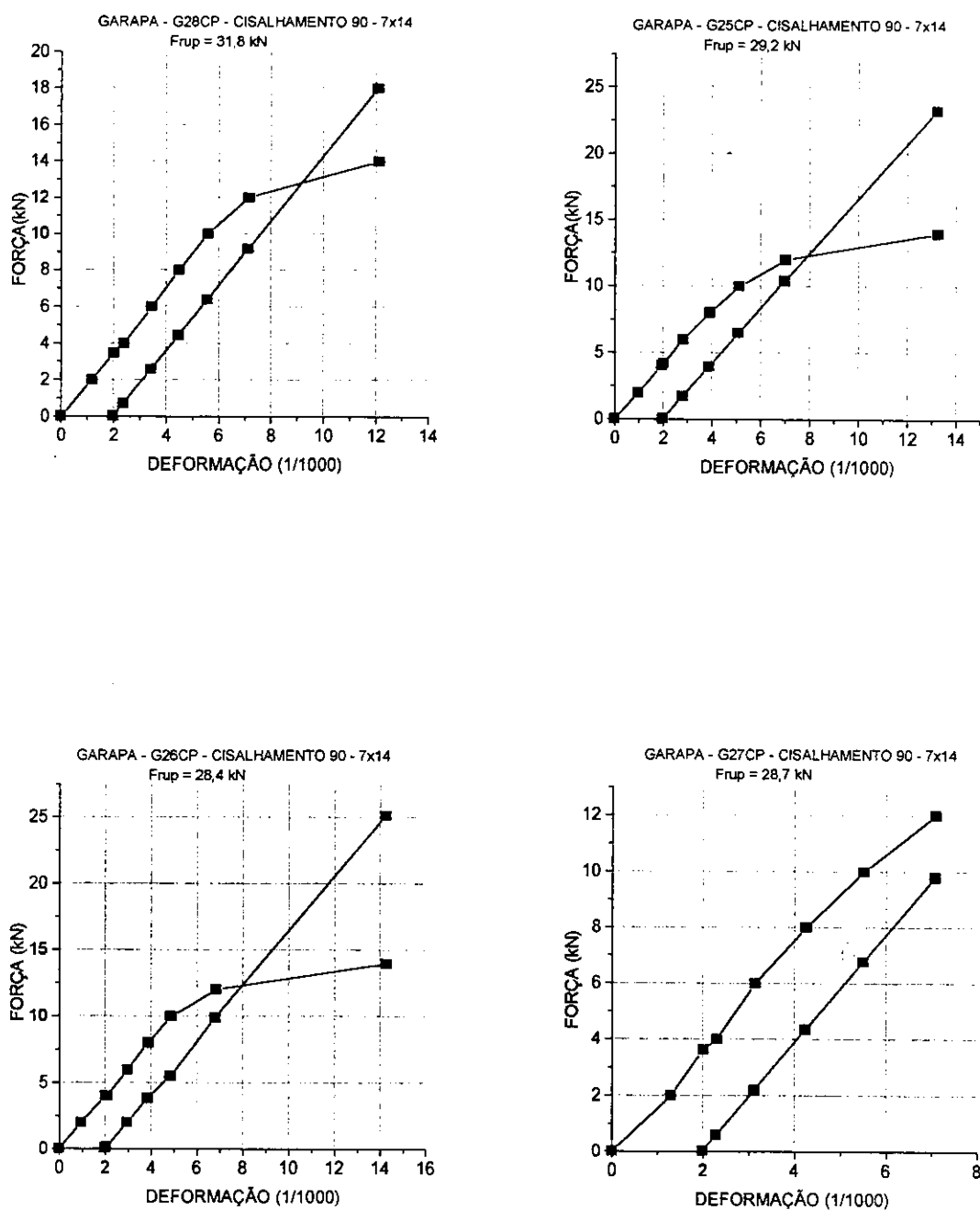


FIGURA 66 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Garapa

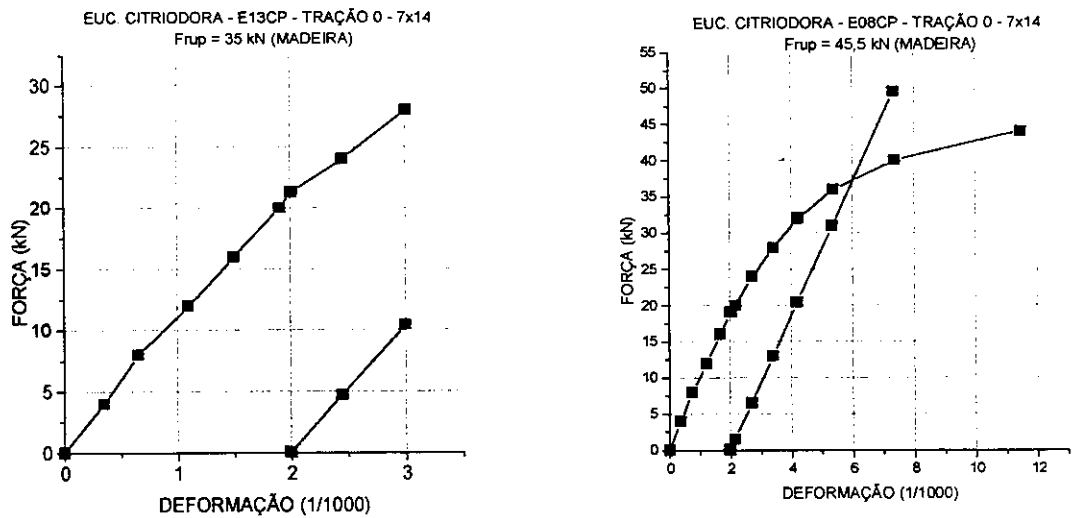


FIGURA 67 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Eucalypto Citriodora

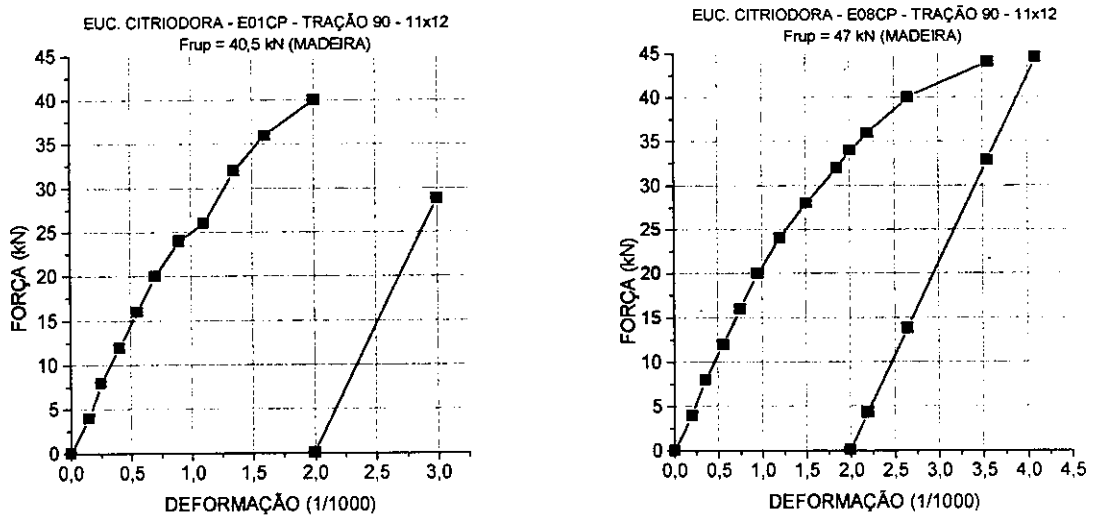


FIGURA 68 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Eucalypto Citriodora

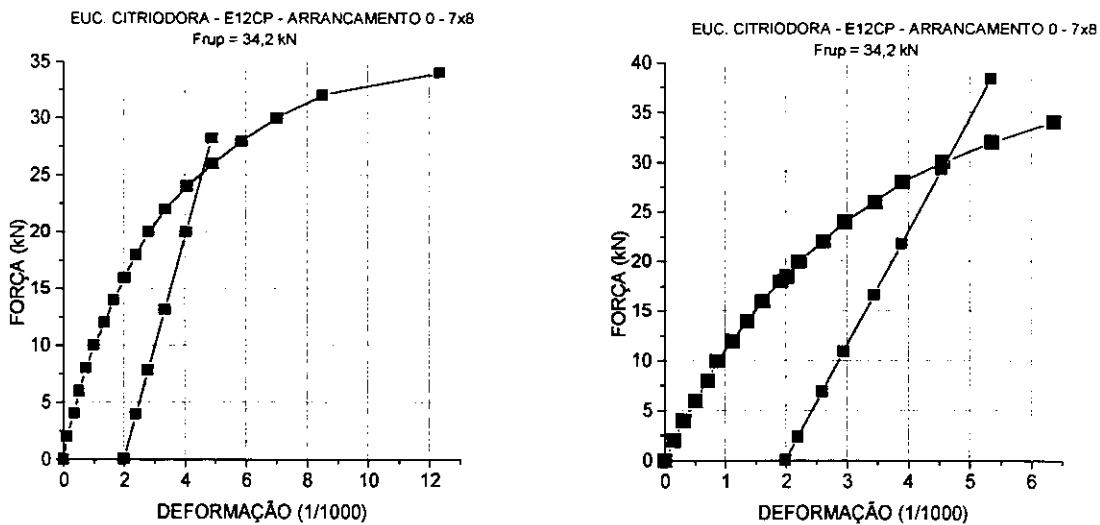


FIGURA 69 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Eucalypto Citriodora

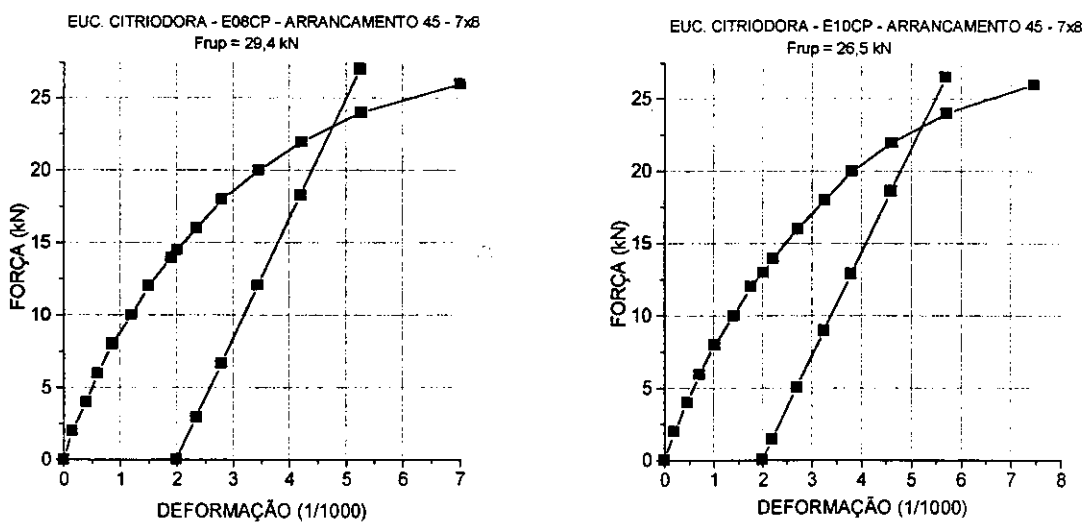


FIGURA 70 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=45^\circ$ ) com Eucalypto Citriodora

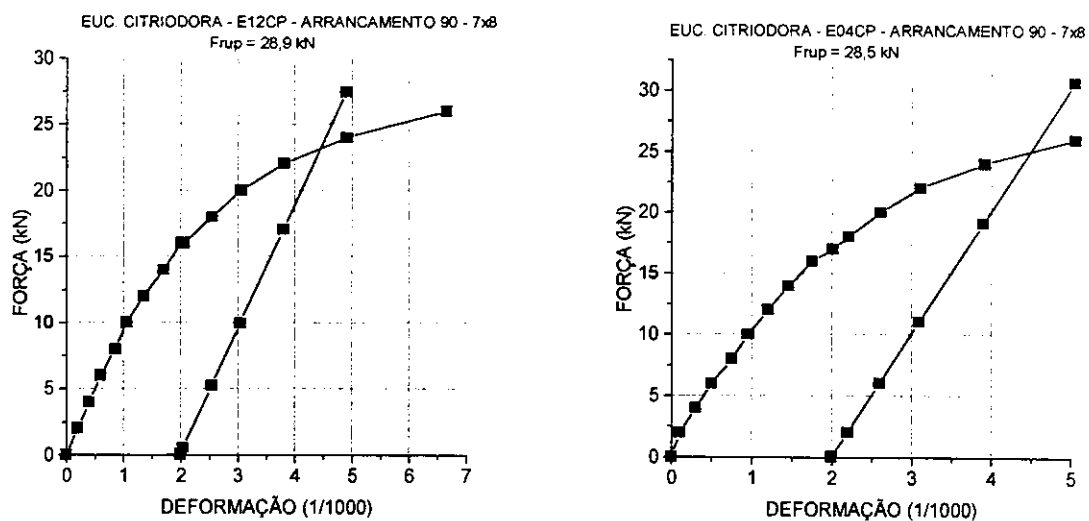


FIGURA 71 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Eucalypto Citriodora

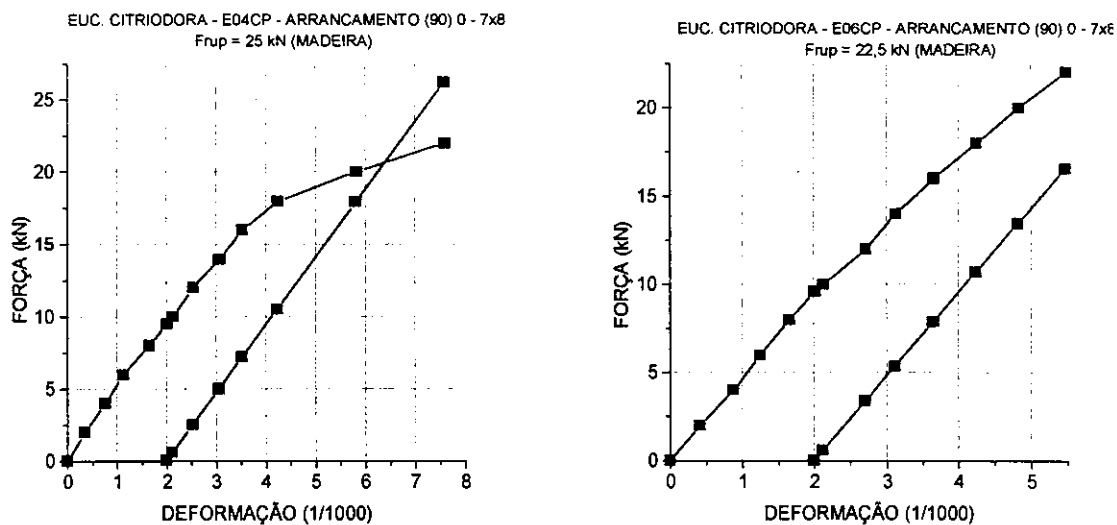


FIGURA 72 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora

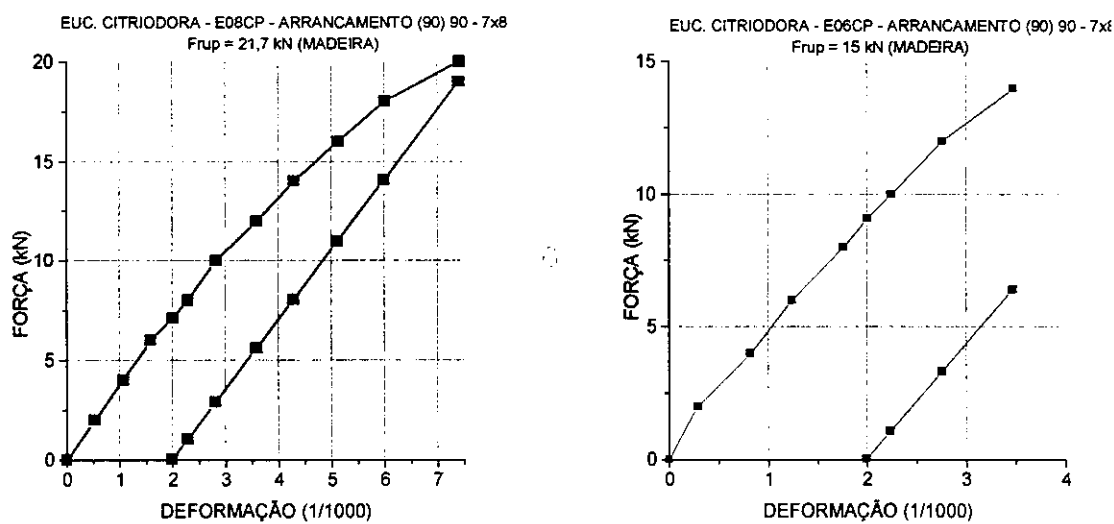


FIGURA 73 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora

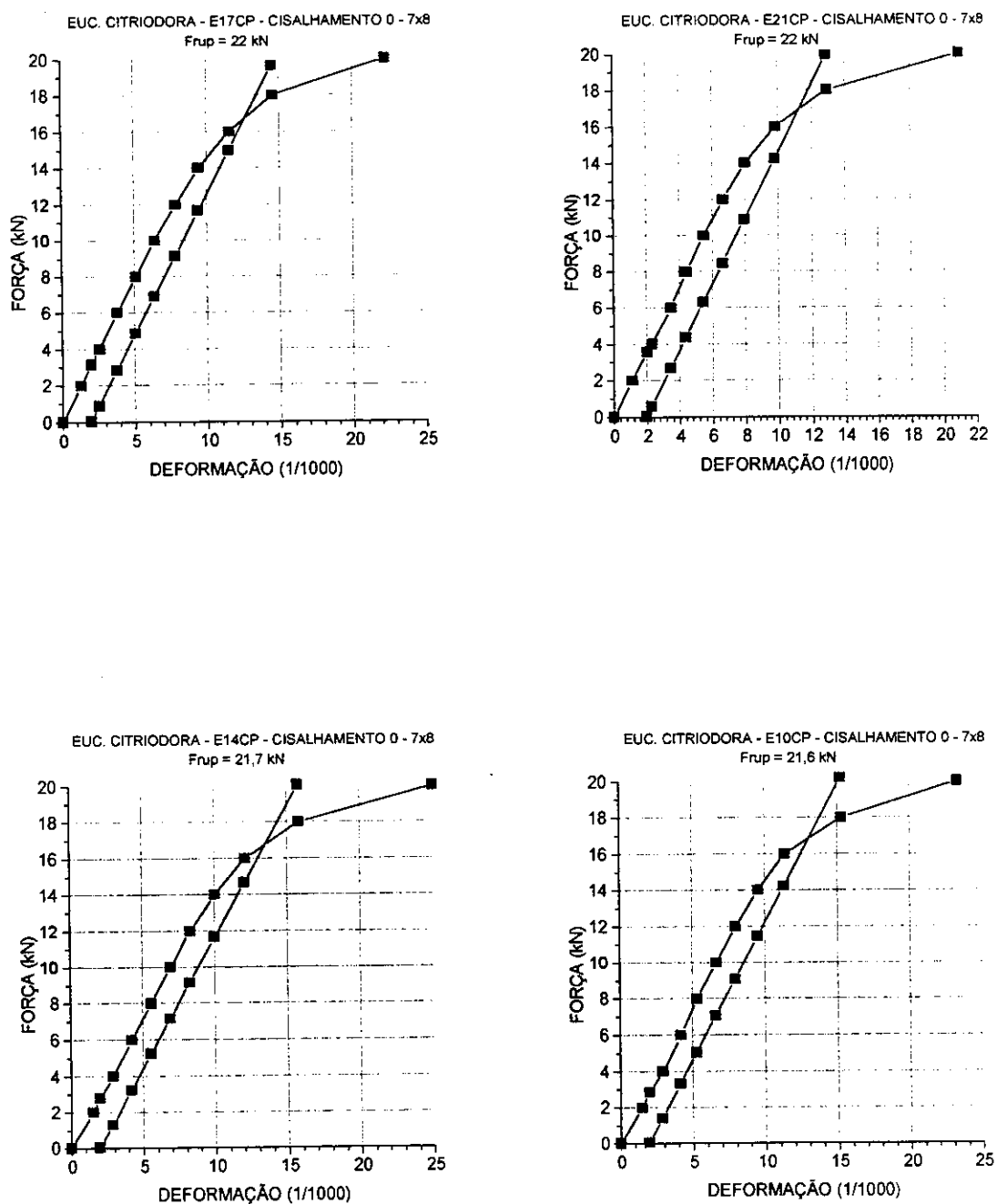


FIGURA 74 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora

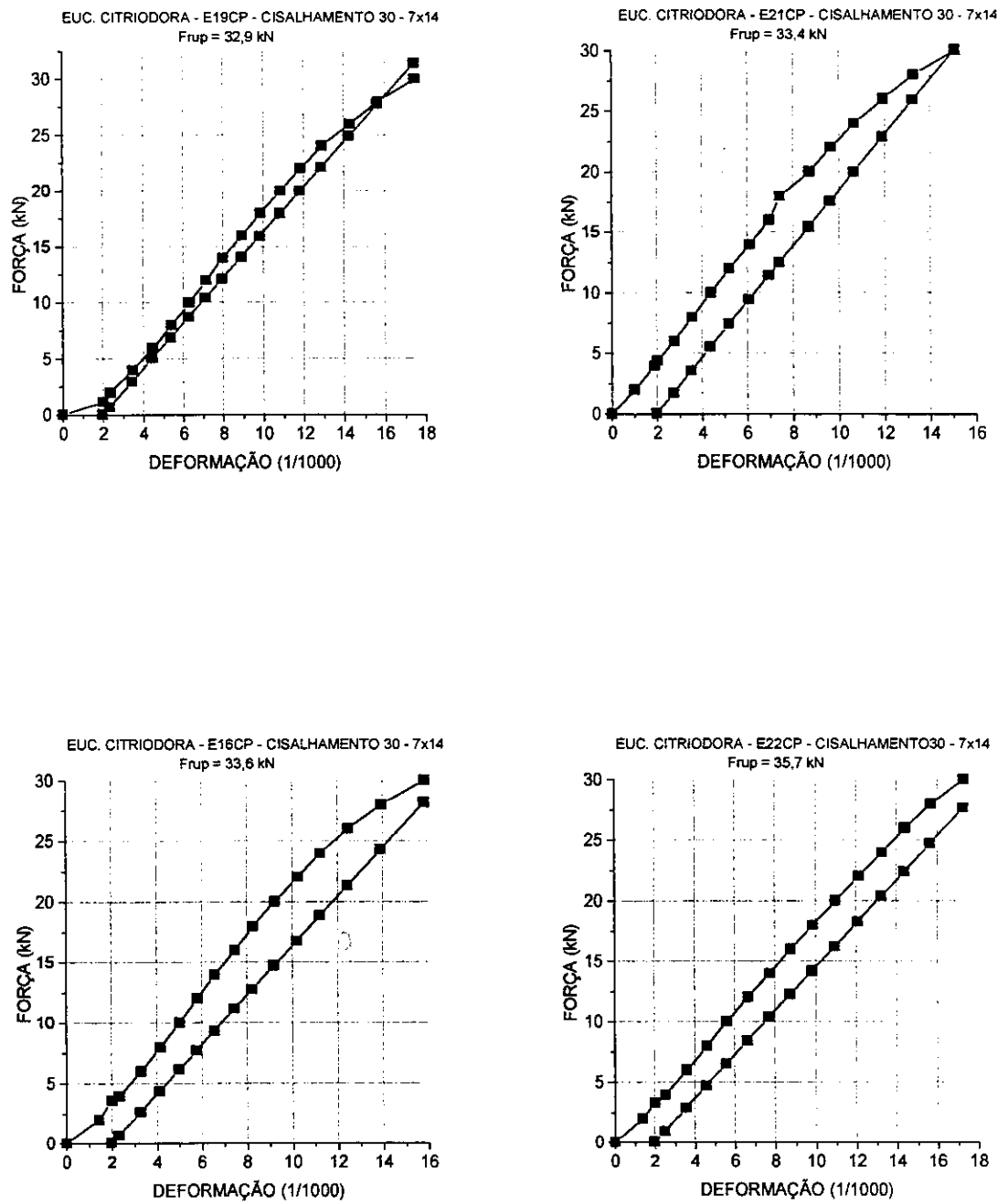


FIGURA 75 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=30^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora

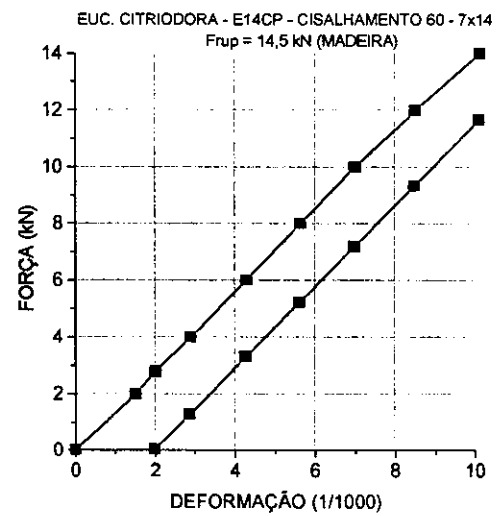
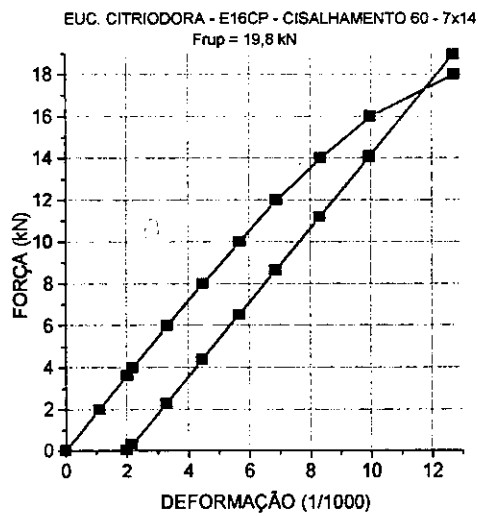
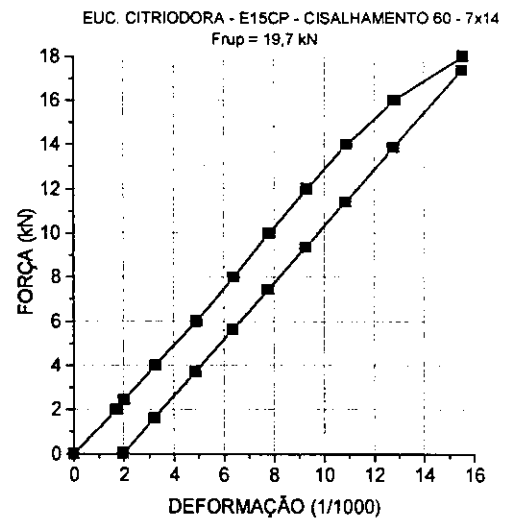
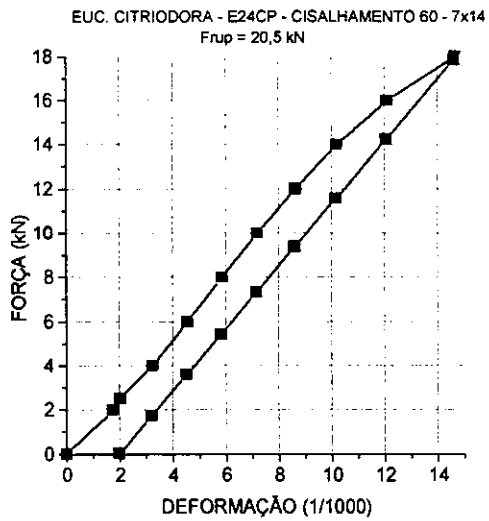


FIGURA 76 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=60^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora



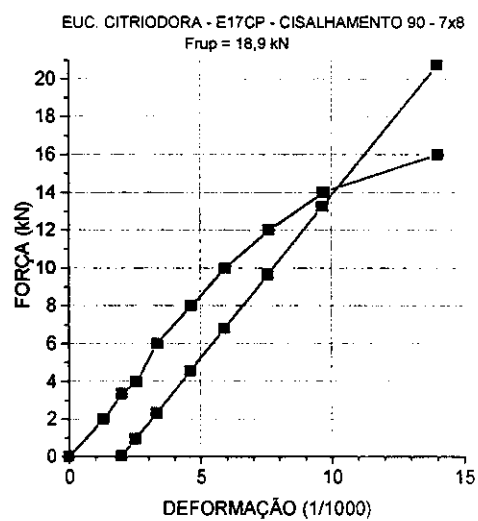
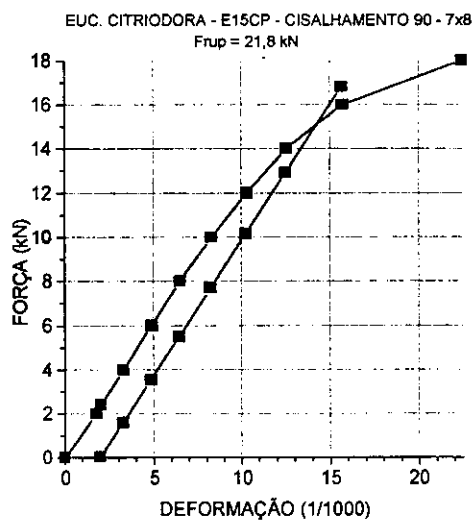
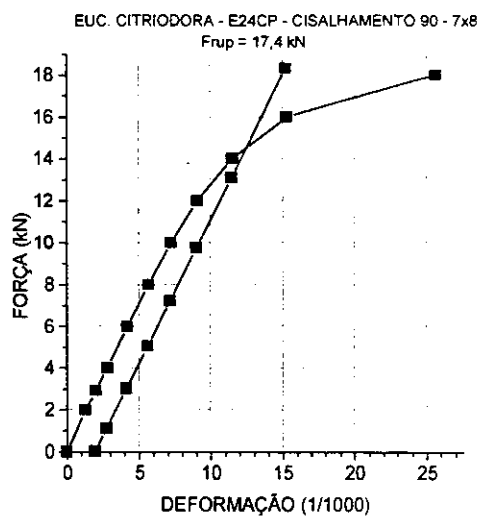
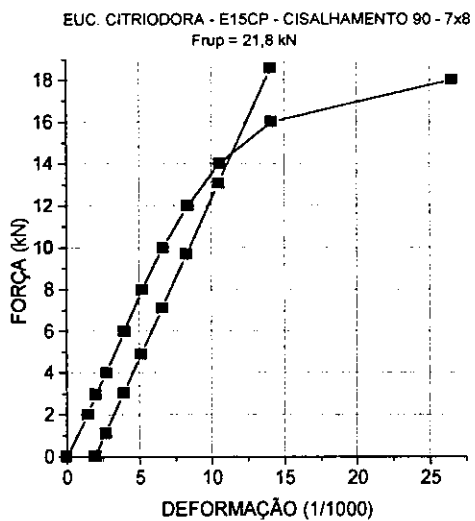


FIGURA 77 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Eucalipto Citriodora

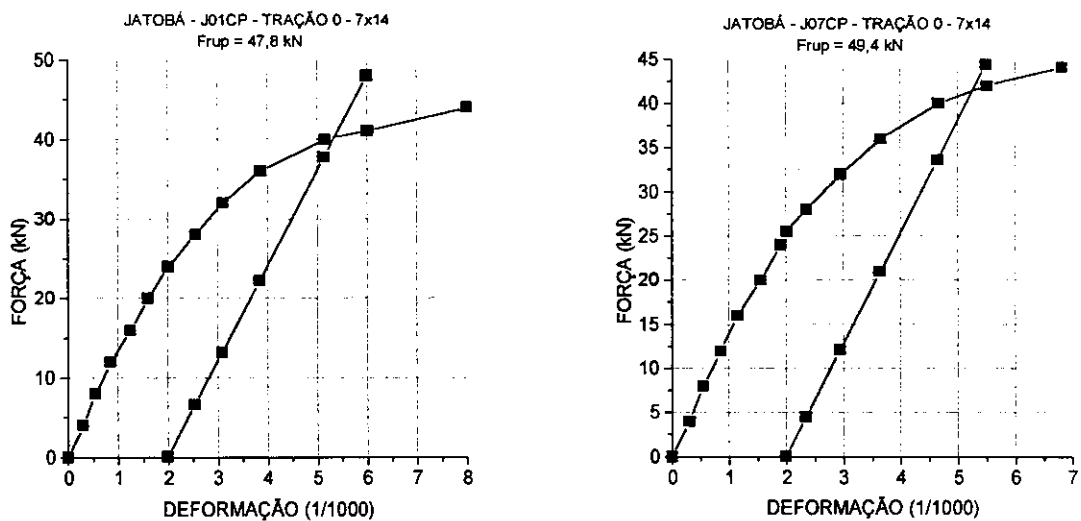


FIGURA 78 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Jatobá

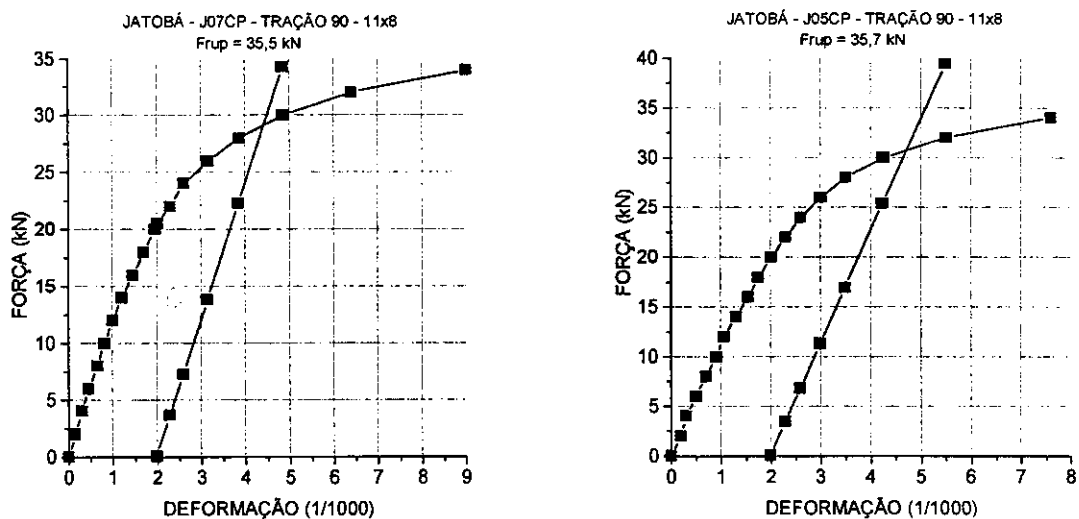


FIGURA 79 - Gráficos: Ensaio de tração paralela ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Jatobá

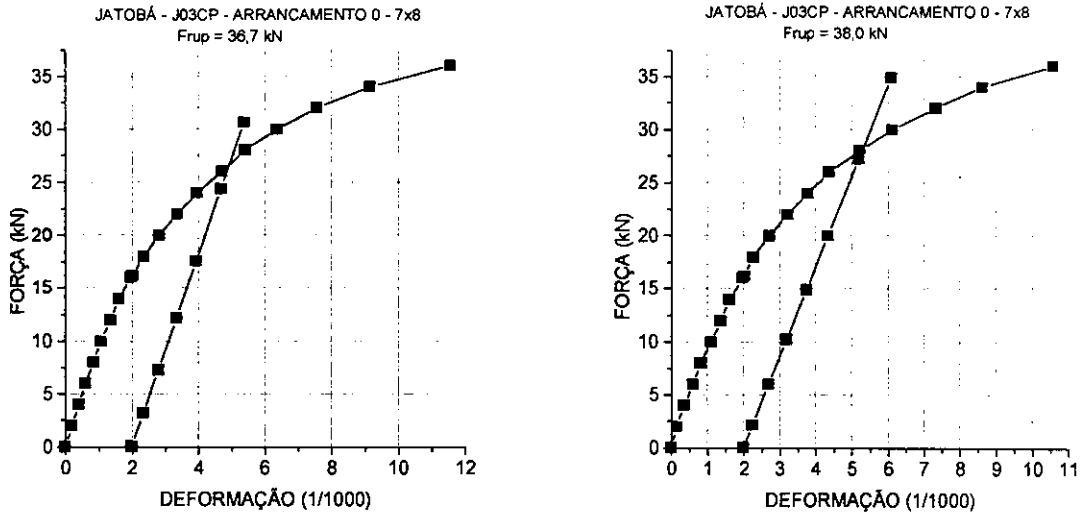


FIGURA 80 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Jatobá

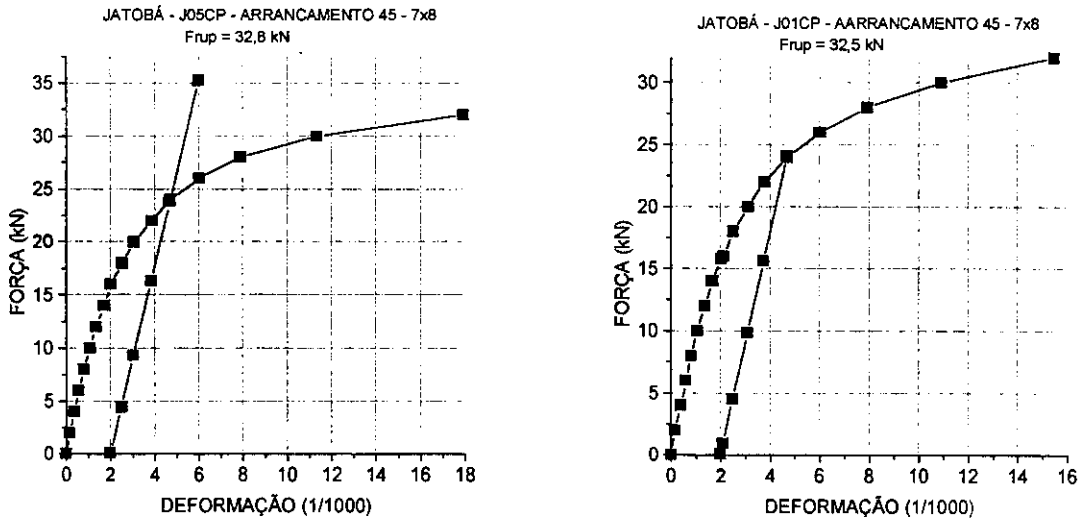


FIGURA 81 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=45^\circ$ ) com Jatobá

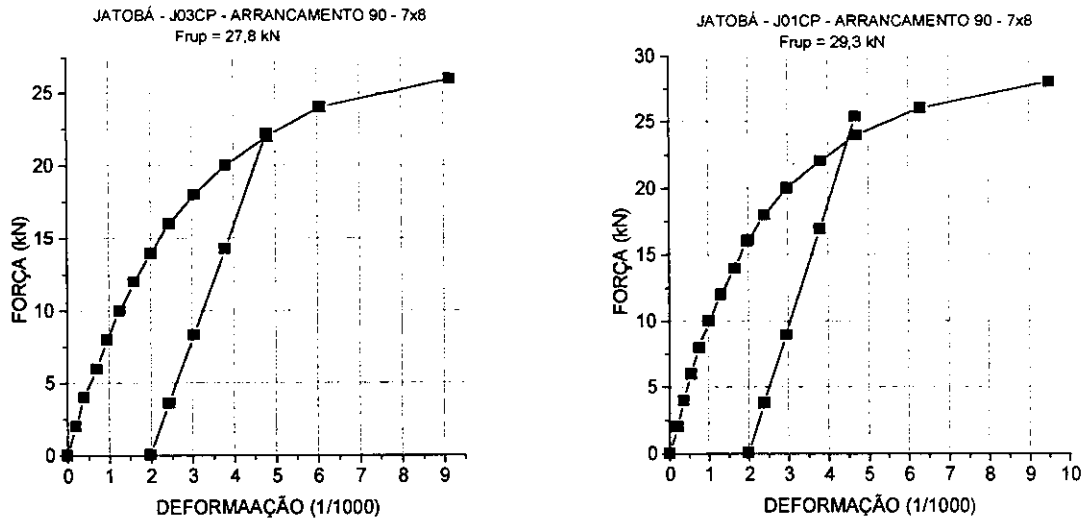


FIGURA 82 - Gráficos: Ensaio de arrancamento paralelo ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Jatobá

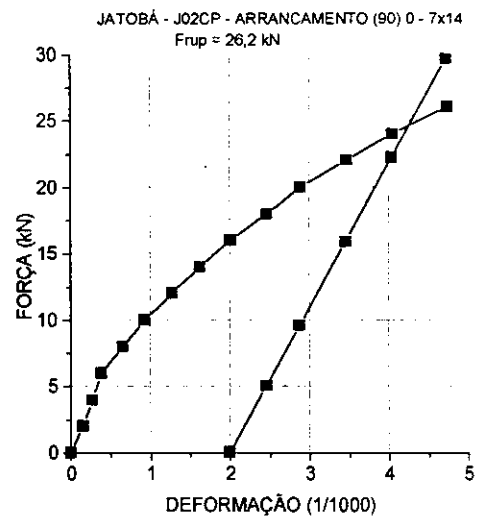
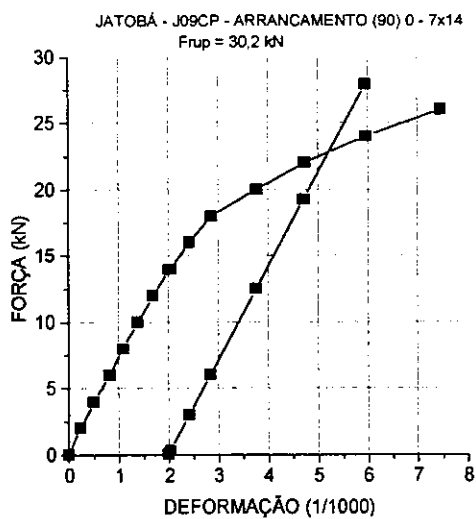


FIGURA 83 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Jatobá

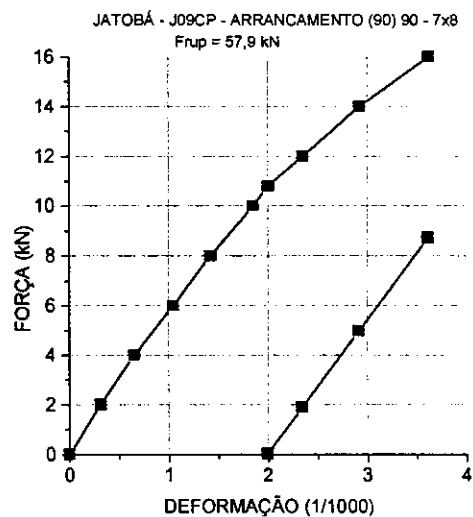
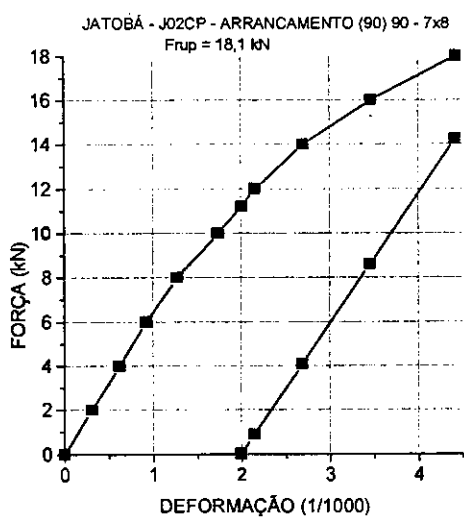


FIGURA 84 - Gráficos: Ensaio de arrancamento normal ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Jatobá

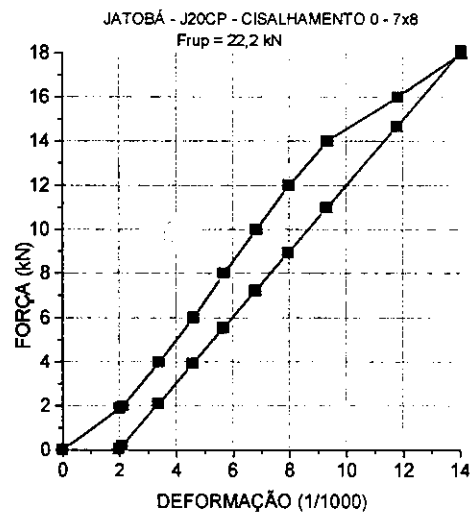
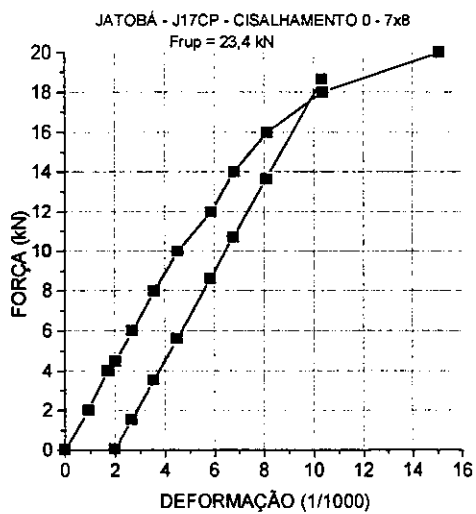
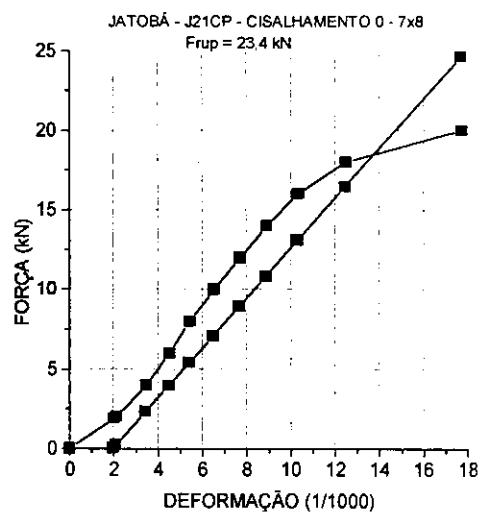
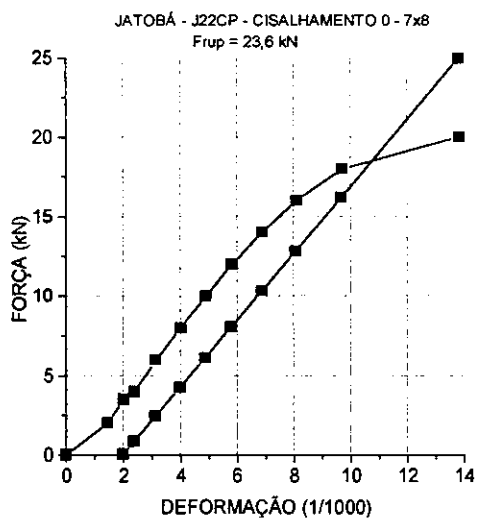


FIGURA 85 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=0^\circ$ ) com Jatobá

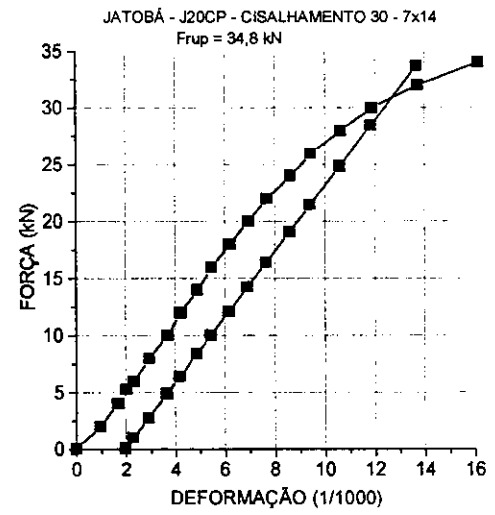
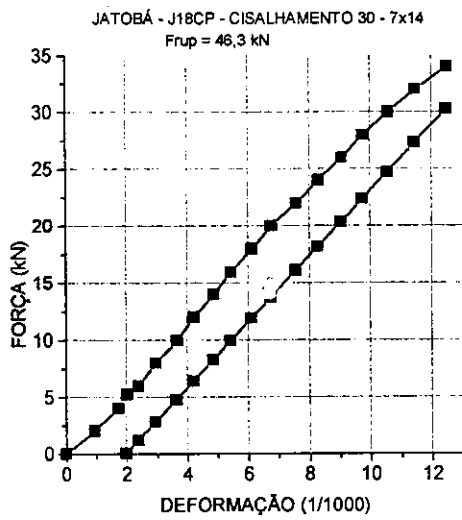
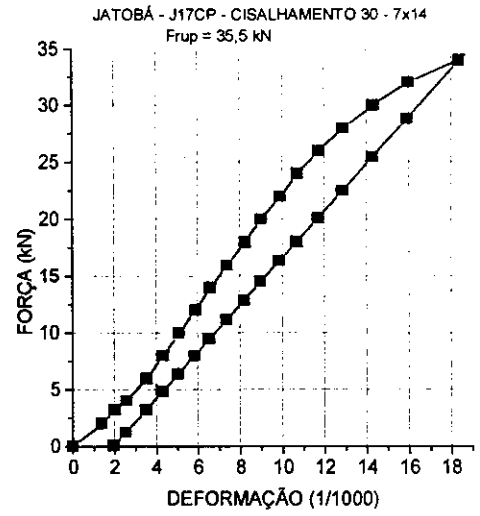
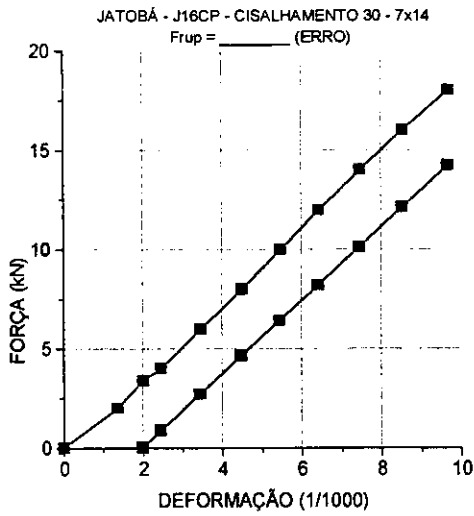


FIGURA 86 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=30^\circ$ ) com Jatobá

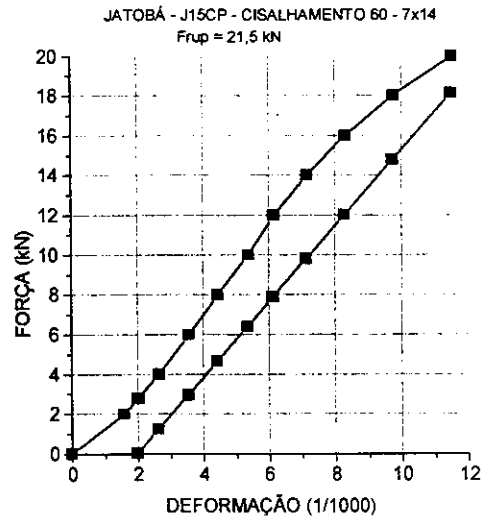
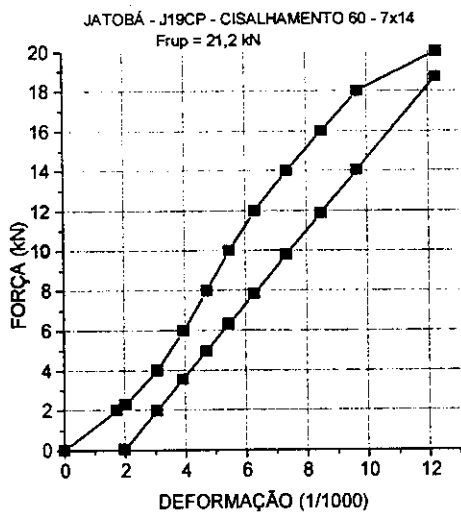
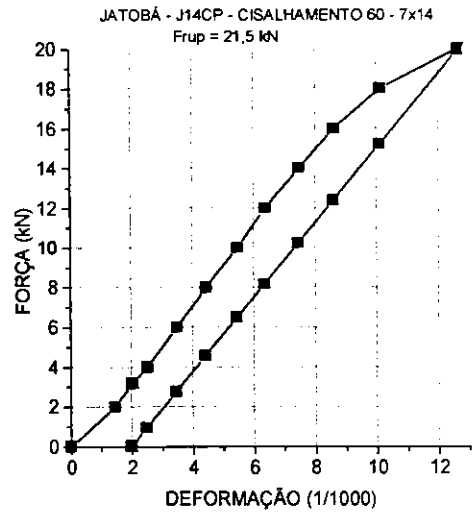
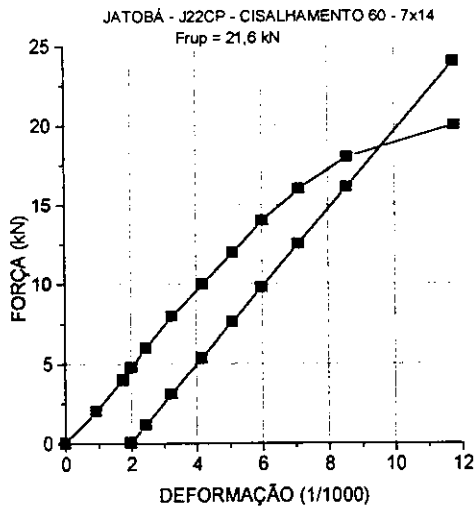


FIGURA 87 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=60^\circ$ ) com Jatobá



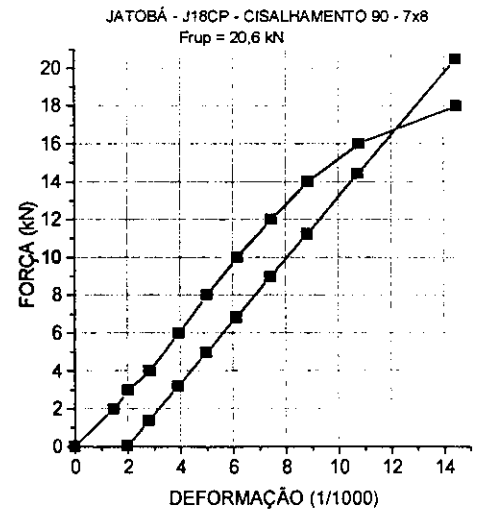
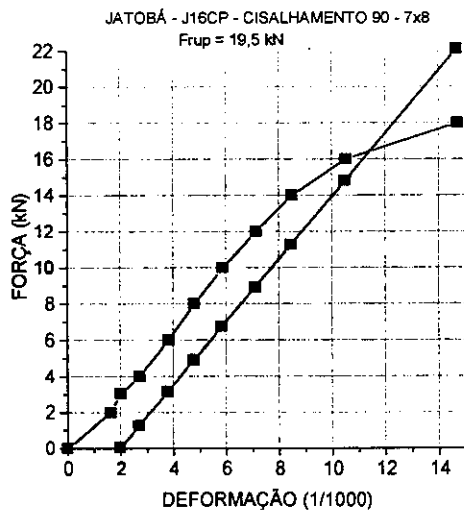
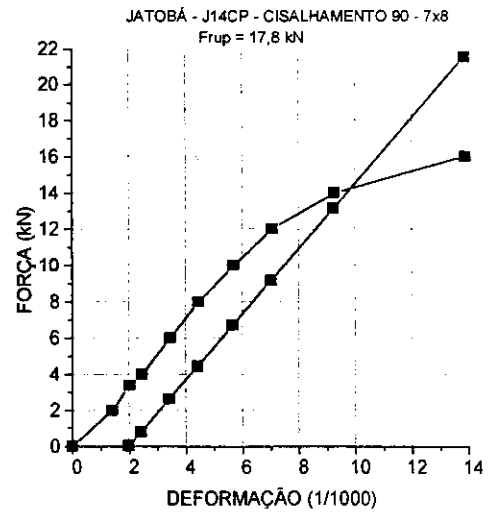
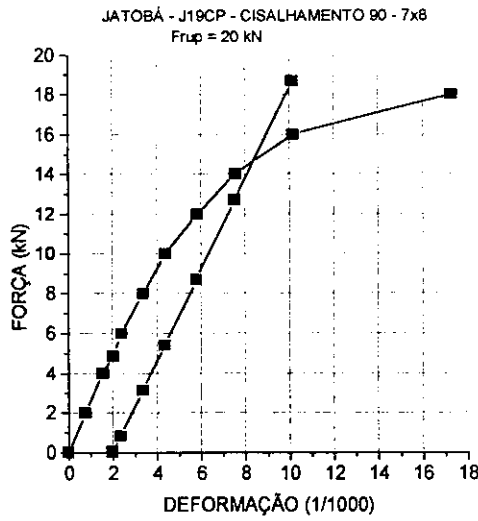


FIGURA 88 - Gráficos: Ensaio de cisalhamento ( $\alpha_{CH}=90^\circ$ ) com Jatobá

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE / TRUSS PLATE INSTITUTE (1995). ANSI/TPI 1 (DRAFT 6) - National design standard for metal plate connected wood truss construction.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1992). ASTM E489 - Test methods for tensile strength properties of steel truss plates.

ASTM E767 - Test methods for shear resistance of steel truss plate.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1982). NBR 7190 - Cálculo e execução de estruturas de madeira.

(1995). PNBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira.

BARROS, O. Jr., 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, Volume IV.

BRITISH STANDARD INSTITUTION (1989). BS 6948 - Methods of test.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION (1980). CSA S347 - Methods of test for evaluation of truss plate used in lumber joints.

CEN-TC 124 (1994). prEN-1075 - Timber structures - Test methods - Joints made with punched metal plate fasteners.

DEUTSCHE INSTITUT FÜR NORMUNG (1988). DIN 1052 - Structural use of wood.

GANG-NAIL (1980). Gang-Nail roof & floor truss systems - for architects and engineers.

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN DO CHILE. NCH 1198 -  
Madera ; contrucciones de madera - calculo.

McCARTY, M.; WOLFE, R.W. Assessment of truss plate performance model  
applied to Southern Pine truss joints. Forest Products Laboratory, Jul, 1987.

MACKENZIE, C.; McNAMARA, R. Basic working loads for truss plate  
connector in Pinus Elliottii. Pacific Timber Engineering Conference, PTEC  
94, p.370-378, 1994.

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

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

GUPTA, R.; GEBREMEDHIN, K.G. Destructive testing of metal-plate-  
connected wood truss joints. Journal of structural Engineering, v. 116, n. 7,  
p.1971-1982, 1990.

**OBRAS CONSULTADAS**

BARALDI, L.T.; CALIL C.Jr. Dimensionamento e ensaios de ligações de peças estruturais de madeira por chapa-prego. In : Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de madeira, 5., 1995, Belo Horizonte. Anais, Volume II, Ligações, p.307-314.

BARTHOLOMEU, ANDRÉ. Análise teórico-experimental de pórtico-treliça de madeira. Campinas, 1995, 112 p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade estadual de Campinas.

BEINEKE, L.A.; SUDDARTH, S.K. Modeling joints made with light-gage metal connector plates. Forest Products Journal, v. 29, n. 8, p. 39/45, 1977.

BULLET, W.M.; YATES, J.L. Probabilistic analysis of wood trusses. Journal of Structural Engineering, v. 117, n. 10, p. 3008/3025, 1991.

CLARKE, J.W. et al. Evaluation of metal connector plates for repair of wood palet stringer. Forest Products Journal, v. 43, n. 10, p. 15/22, 1993.

CLARKE, J.W. et al. Reinforcement of wood pallets with metal connector plates. Forest Products Journal, v.43, n. 10, p. 70/76, 1993.

CRAMER, S.M.; FOHRELL, W.B. Theoretical consideration of metal-plate-connected wood-splice joints. Journal of Structural Engineering, v.116, n. 12, p. 3458/3474, 1990.

EMERSON, R.N.; FRIDLEY, K.J. Resistance of metal-plate-connected truss joints to dynamic loading. Forest Products Journal. v.46, n. 5, p.83/90, 1996.

FUSCO, P.B. Os caminhos da evolução da engenharia das madeiras. In : Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de madeira, 3, 1989, São Carlos. Anais, Volume VI.

GANG-NAIL do BRASIL. Apresentação de sistema Gang-Nail.

LEIVO, MIKA. On the stiffness changes in nail plate trusses. ESPOO 1991, Technical Reserch Centre of Finland, Publication 80. 192 p. + app 46 p.

SHRESTHA, D.; ALBANI, T. Out-of-plane capacity of truss connectors plates. Forest Products Journal. v. 46, n. 2, p.79/81, 1996.

STAHL, D.C.; CRAMER, S.M.; WOLFE, R.W. Behavior of metal-plate-connected trusses with square-end webs. Forest Products Journal. v. 46, n. 6, p.78/84, 1996.

**APÊNDICE - MÉTODO DE ENSAIO PROPOSTO PELA  
PNBR 7190/1996**

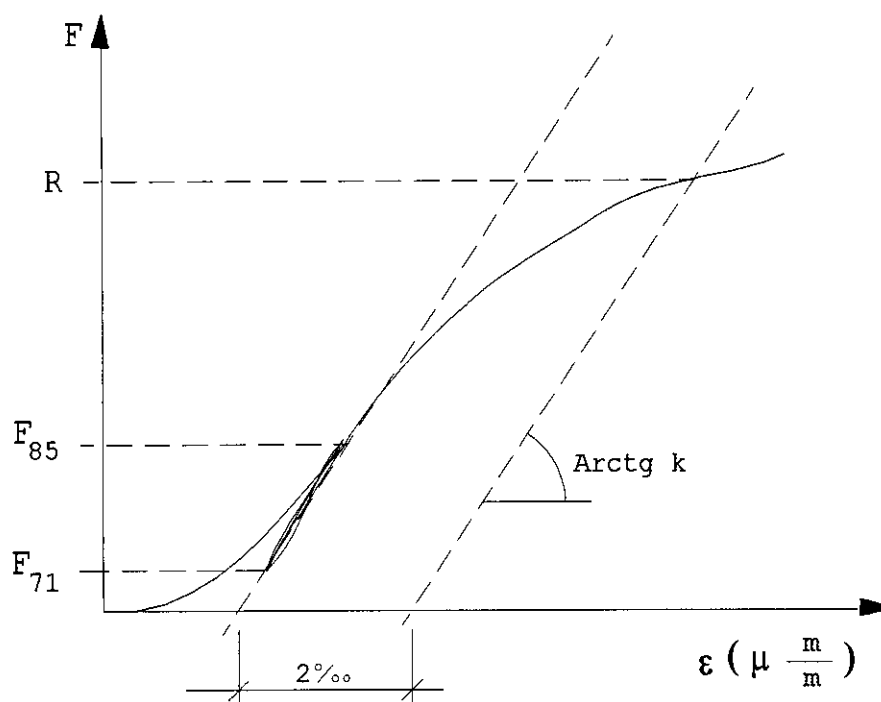
## C.7 Ligações por chapas com dentes estampados

### C.7.1 Objetivos

Determinação das resistências das ligações por chapas metálicas com dentes estampados.

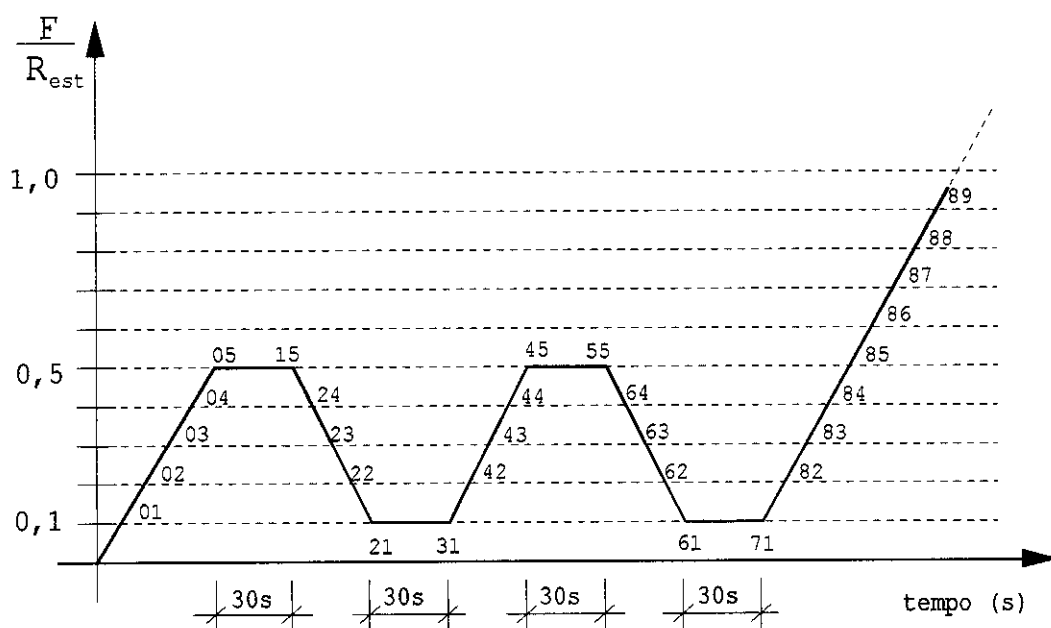
### C.7.2 Definições

A resistência das ligações por chapas metálicas com dentes estampados é definida ou pelo escoamento da chapa metálica, ou pelo início de arrancamento da chapa metálica, ou por qualquer fenômeno de ruptura da madeira, não se tomando valor maior que a carga aplicada ao corpo-de-prova, para uma deformação específica residual da ligação de 2‰, medida em uma base de referência padronizada, igual ao comprimento da chapa metálica na direção do esforço aplicado, como mostrado no diagrama da figura C.13.



**Figura C.13 - Diagrama força deformação específica da ligação por chapas com dentes estampados**

Para esta finalidade a deformação específica 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 deformação específica, representados pelos pontos 71 e 85 do diagrama de carregamento da figura C.14, com o eixo das deformações. A partir desta intersecção constrói-se uma reta paralela afastada de  $2\text{‰}$  até a intersecção do diagrama força deformação específica da ligação. A força correspondente é definida como a resistência da ligação  $R$ . Este procedimento está mostrado na figura C.14.



**Figura C.14 - Diagrama de carregamento para ligações por chapas com dentes estampados**

### C.7.3 Amostra

O tamanho da amostra e os critérios de extração da madeira dos corpos-de-prova devem ser os mesmos estabelecidos na seção 2 .

Os corpos-de-prova da ligação devem ser fabricados com madeira isenta de defeitos, com dimensões e formas iguais às das peças estruturais por eles representados, esquematizadas na figura C.15.



Para fabricação de um corpo-de-prova a madeira deve ser extraída de uma mesma peça do lote.

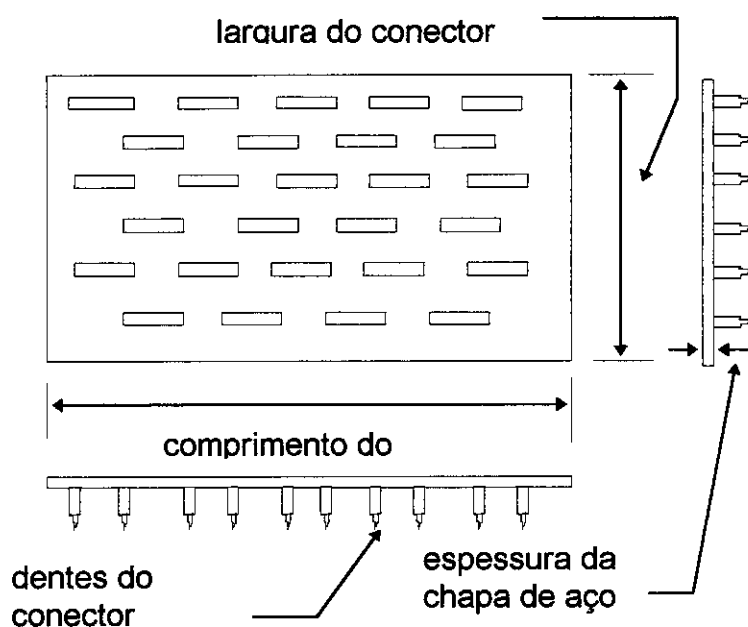
Os corpos-de-prova devem ser fabricados de preferência com madeiras com umidade entre 10% e 20% .

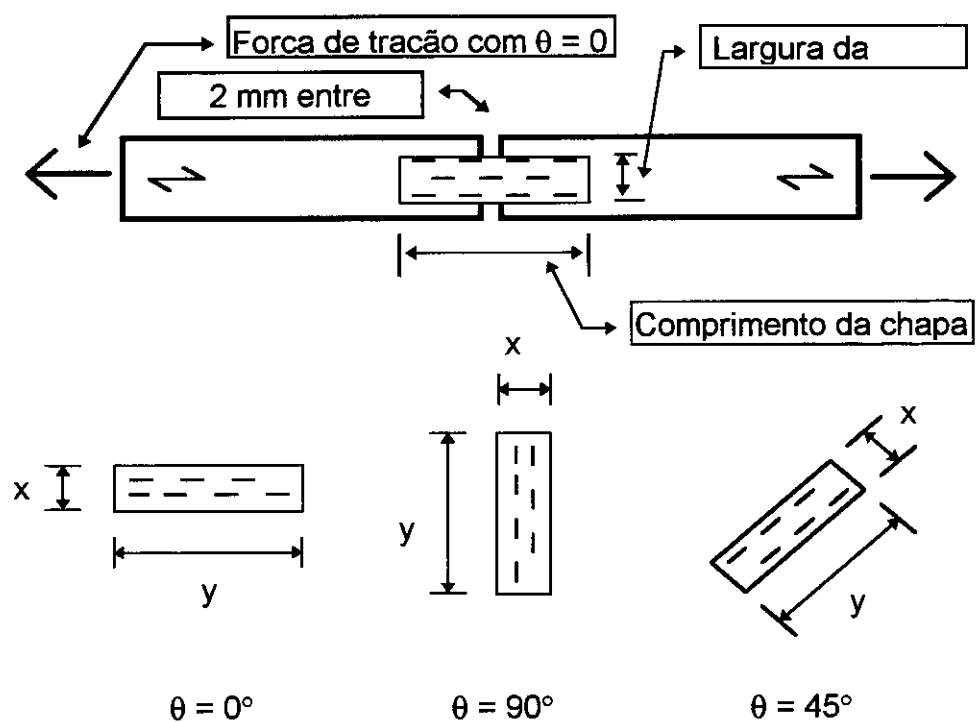
Os conectores devem ser selecionados de um lote de produção normal, devendo ser representativos de máquinas e tempos diferentes de produção.

Algumas características do aço do conector são apresentadas a seguir:

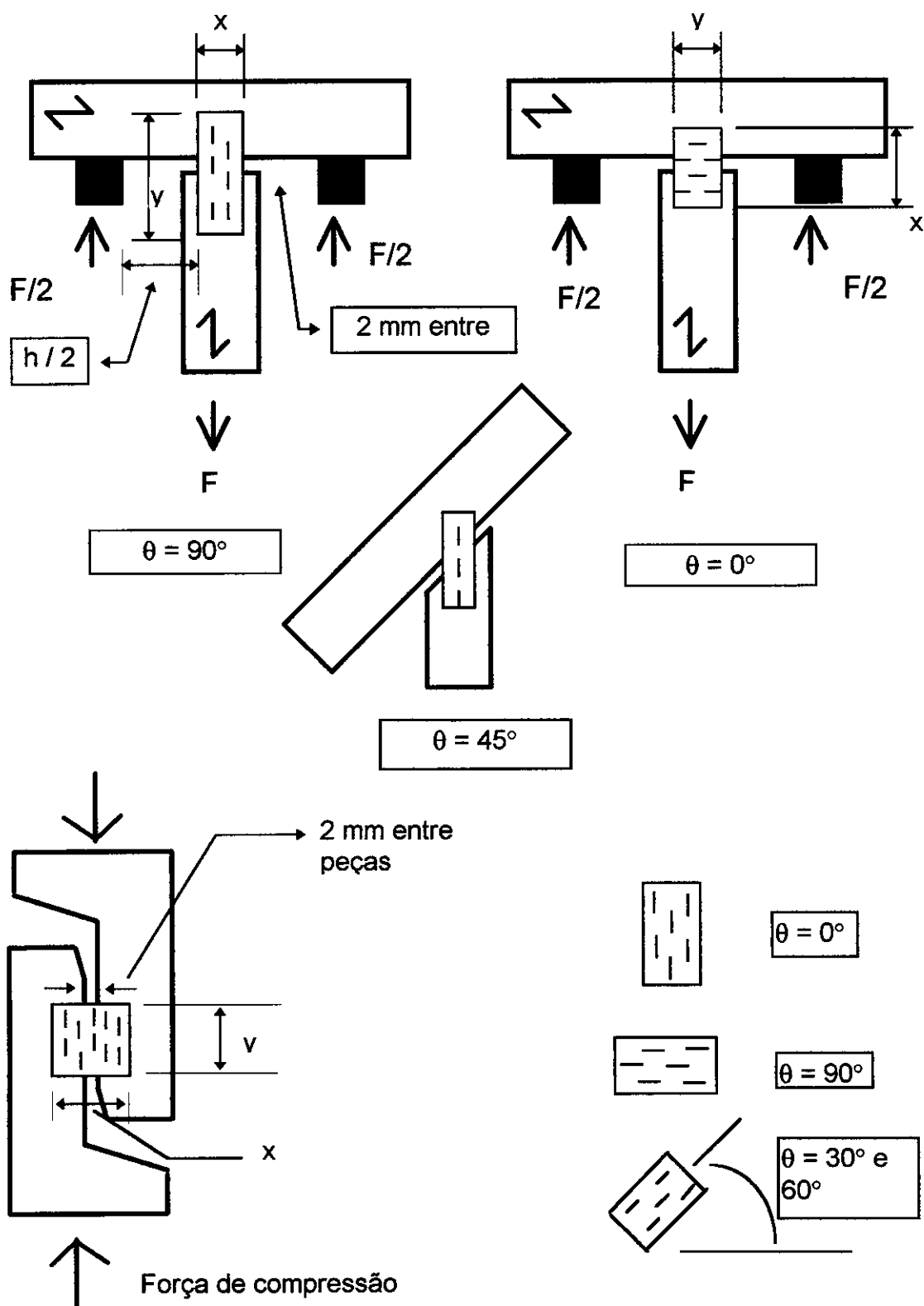
- a) tensão de escoamento =  $27,5 \text{ kN/cm}^2$ ;
- b) tensão de ruptura =  $38 \text{ kN/cm}^2$ ;
- c) alongamento em 5cm = 16% (valor mínimo).

Representam-se na figura C.15 as principais características geométricas dos conectores do tipo chapa com dentes estampados.





**Figura C.15 - Ligações por chapas com dentes estampados.  
Resistência na direção paralela.**



**Figura C.16 - Ligações por chapas com dentes estampados.**

**Resistências normal e tangencial.**

#### C.7.4 Procedimentos

- a) para a determinação da resistência das ligações as medidas dos lados dos corpos-de-prova devem ser feitas com precisão de 0,1 milímetro;
- b) o teor de umidade da madeira deve ser determinado pelo método especificado no Anexo B desta norma;
- c) a medida da deformação do corpo-de-prova deve ser feita com transdutores de deslocamentos com precisão de 0,01mm, em bases de medida de  $L_0$ . O valor de  $L_0$  corresponde ao comprimento da chapa metálica na direção do esforço aplicado.
- d) para a determinação da resistência das ligações o carregamento deve ser aplicado de acordo com o diagrama da figura C.14. Para isso, deve-se inicialmente estimar a resistência da ligação  $R_{est}$ ;
- e) a resistência estimada  $R_{est}$  deve ser tomada como a carga máxima de ensaio;
- f) todos os demais corpos-de-prova da amostra devem ser ensaiados com carregamentos estabelecidos no diagrama da figura C.14. Se houver uma diferença maior que 20% em relação à resistência estimada  $R_{est}$  determinada no primeiro ensaio da amostra, para mais de dois corpos-de-prova, a resistência deve ser ajustada pela realização de um novo ensaio de resistência;
- g) os registros das cargas e das deformações devem ser feitos para cada ponto do diagrama de carregamento mostrado na figura C.14;
- h) para os ensaios com instrumentação fixada no corpo-de-prova, as deformações devem ser registradas para cada ponto do diagrama de carregamento mostrado na figura C.14, até 70% da carga estimada. Em seguida deve-se retirar a instrumentação e elevar o carregamento até a ruptura do corpo-de-prova;

i) para a caracterização mínima de espécies pouco conhecidas devem ser utilizados duas amostras, sendo uma com corpos-de-prova saturados e outra com corpos-de-prova com teor de umidade em equilíbrio com o ambiente (seco ao ar).

### **C.7.5 Apresentação dos resultados**

Os resultados dos ensaios devem ser apresentados pelos valores característicos das resistências referentes à umidade padrão de 12%. As correções devem ser feitas pela mesma equação dada na seção 5 desta Norma, sendo:

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

As resistências medidas em corpos-de-prova de madeira saturada devem ser corrigidas para a umidade padrão, considerando em 20% o teor de umidade no ensaio.

Os resultados das propriedades de resistência e de rigidez das ligações devem ser apresentados, em relatório técnico especificado na seção 4, acompanhados de uma tabela relacionando todos os valores individuais e seus respectivos teores de umidade.