

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA - FEAGRI
DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÕES RURAIS - DCONRU

Parecer

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Antônio Carlos Néri e aprovada pela Comissão Julgadora em 07 de agosto de 1998. Campinas, 16 de setembro de 1998.

Raquel Gonçalves
Presidente da Ca.

**MEDIDAS DE FORÇAS DE CORTE NA
MADEIRA DE EUCALIPTO**

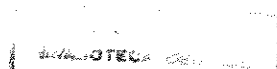
ANTÔNIO CARLOS NÉRI

Orientadora: Prof^a Dr^a. Raquel Gonçalves

Dissertação de Tese apresentada à Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do Título de Mestre em Engenharia Agrícola, na área de concentração em Construções Rurais.

Campinas/SP
Julho/98

5823189



UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	UNICAMP
V.	35889
TOMBO	35889
PROG.	355/58
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	19/11/98
N.º C.F.D.	

CM-00119210-6

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

N356m Néri, Antônio Carlos
Medidas de forças de corte na madeira de
eucalipto. / Antônio Carlos Néri.--Campinas, SP:
[s.n.], 1998.

Orientadora: Raquel Gonçalves
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Madeira. 2. Eucalipto. I. Gonçalves, Raquel.
II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia Agrícola. III. Título.

**A Deus e a minha querida mãe (in memoriam),
por terem feito de mim a pessoa que hoje sou.**

Dedico este trabalho

AGRADECIMENTOS

O meu muito obrigado a Prof^a. Dra. Raquel Gonçalves (Feagri) e ao Prof. Dr. Roger Hernández (Université Laval) pela paciência, dedicação, atenção e amizade acima de tudo, o que foi essencial na realização desta pesquisa.

A minha família que sempre foi a base de tudo em minha vida.

A minha querida Adriana M^a. Gomes, que sempre esteve ao meu lado todo esse tempo.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pelo apoio financeiro recebido durante o trabalho (Bolsa de estudos e compra de materiais necessários a realização do trabalho).

A CAPES pelo apoio financeiro para compra de materiais necessários à realização do trabalho e envio de material ao Canadá.

Ao Fundo de Apoio ao Ensino e a Pesquisa (FAEP) pelo financiamento da viagem ao Canadá.

Ao Horto Florestal de Itirapina – SP pela doação das toras das espécies de Eucalipto utilizadas.

Aos funcionários e responsáveis pelo laboratório de Estrutura de Madeira (LAMEM), da Escola de Engenharia de São Carlos pela obtenção e desdobro das espécies de Eucalipto utilizadas neste trabalho.

A Université Laval – Québec/Canadá, pela excelente infra-estrutura dos laboratórios do “Département des Sciences du Bois et de la Forêt”, cedida para realização da fase experimental desta pesquisa.

Aos técnicos da Université Laval, Hervé, Simon, Luc, Yvon e Yves por todos os trabalhos realizados na parte experimental, pela paciência devido as dificuldades da língua, pela amizade o meu “Merci Beaucoup.”

Ao comitê de orientação (Prof. Dr. Paulo G. Magalhães e Prof. MSc. André Bartholomeu), pela assistência prestada.

Aos funcionários Ana Paula e Marta (SPG), João Bérnago, Vanessa e Deise (DCONRU), Clóvis e André (LABIN), Sr. Robson (DAS) por todos os trabalhos prestados.

A todos os professores, demais funcionários e técnicos da Feagri pelos trabalhos realizados por mim durante todo esse tempo.

A todos os meus colegas e amigos da Feagri que são tantos que é difícil enumerar, e especialmente as ilustres figuras que moraram e dividiram comigo um pouco deste tempo em Campinas e foram de fundamental importância para a conclusão deste trabalho (Prof. Giovanni, Prof. Volpato, Prof. Admilson, Carlão, Neto, Délvio, Rafael, Miller e Eliane).

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1 - INTRODUÇÃO.....	1
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 – O Eucalipto.....	3
2.2. – Propriedades da Madeira.....	5
2.2.1 - <i>Anisotropia.....</i>	<i>5</i>
2.2.2 – <i>Classes.....</i>	<i>6</i>
2.2.3 – <i>Anéis de crescimento.....</i>	<i>8</i>
2.2.4 – <i>Cerne e Alburno.....</i>	<i>8</i>
2.2.5 – <i>Propriedades Mecânicas.....</i>	<i>9</i>
2.2.5.1 – <i>Teor de Umidade.....</i>	<i>10</i>
2.2.5.2 – <i>Temperatura.....</i>	<i>10</i>
2.2.5.3 – <i>Densidade.....</i>	<i>10</i>
2.3 - Corte	10
2.3.1 – <i>Definições.....</i>	<i>12</i>
2.3.2 – <i>Forças de Corte.....</i>	<i>14</i>
2.3.3 – <i>Parâmetros de corte.....</i>	<i>15</i>
2.3.4 – <i>Corte Ortogonal 90-0.....</i>	<i>16</i>
2.3.4.1 – <i>Cavaco tipo I.....</i>	<i>16</i>
2.3.4.2 – <i>Cavaco tipo II.....</i>	<i>18</i>
2.3.4.3 – <i>Cavaco tipo III.....</i>	<i>19</i>
2.3.5 – <i>Corte Ortogonal 90-90.....</i>	<i>21</i>
2.3.6 – <i>Corte Ortogonal 0-90.....</i>	<i>23</i>

2.3.7 – <i>Comparações entre as forças de corte obtidas nos cortes ortogonais 90-0; 90-90 e 0-90</i>	24
2.3.8 – <i>Medida de forças de corte</i>	25
3 - MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1- Material	28
3.2- Métodos	28
3.2.1- <i>Seleção das espécies de eucalipto a serem utilizadas no trabalho</i>	28
3.2.2- <i>Obtenção das toras</i>	29
3.2.3- <i>Corte das toras</i>	29
3.2.4- <i>Corte das vigas</i>	30
3.2.5- <i>Seleção das peças</i>	30
3.2.6- <i>Preparação e transporte</i>	31
3.2.7 – <i>Confecção de corpos de prova</i>	31
3.2.8 – <i>Seleção de corpos de prova de medida de força de corte</i>	34
3.2.9 – <i>Calibração do dinamômetro</i>	34
3.2.10 – <i>Ensaio preliminares</i>	38
3.2.11 – <i>Ensaio principais</i>	42
3.2.12 – <i>Medidas de densidade</i>	44
3.2.13 – <i>Umidade</i>	44
4 - RESULTADOS	45
5 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	88
5.1 – Corte Ortogonal 90-0	89
5.1.1 – <i>Relação das forças com o tipo de cavaco obtido</i>	89
5.1.2 – <i>Relação das forças com as espessuras de corte e densidade</i>	94
5.1.2.1 – <i>Força paralela</i>	94
5.1.2.2 – <i>Força normal</i>	96

5.2 – Corte Ortogonal 90-90	99
5.2.1– <i>Relação das forças com os tipos de cavaco obtido.....</i>	<i>99</i>
5.2.2 – <i>Relação das forças com a espessura e densidade.....</i>	<i>100</i>
5.2.2.1– <i>Força paralela</i>	<i>100</i>
5.2.2.2– <i>Força normal</i>	<i>101</i>
5.3 – Comparações entre os cortes ortogonais 90-0 e 90-90.....	101
5.4 –Densidade básica.....	102
6 - CONCLUSÕES.....	104
7 - PROPOSTA PARA ESTUDOS FUTUROS.....	106
LISTA DE FIGURAS.....	107
LISTA DE TABELAS.....	118
BIBLIOGRAFIA BÁSICA CONSULTADA	122
ANEXO.....	125

LISTA DE SÍMBOLOS *

α - ângulo de ataque

γ - ângulo de folga

β - ângulo da ferramenta

e - espessura de corte

w - largura de corte

F_n - força normal

F_p - força paralela

F_l - força lateral

F_a - força de atrito

R - resultante das componentes normal e paralela.

ρ - ângulo da força resultante

N - Força normal de atrito

λ - ângulo entre a R e a força normal de atrito N

A - Superfície de corte;

μ - Coeficiente de atrito entre a superfície da ferramenta de corte e o cavaco produzido;

*** Tendo em vista a não existência de Norma Brasileira para usinagem de madeiras, a simbologia adotada não é normalizada.**

RESUMO

O conhecimento das propriedades e comportamento da madeira à usinagem é um dos importantes aspectos para assegurar uma utilização racional deste material. Esta operação está diretamente relacionada aos processos mecânicos envolvidos na transformação da madeira. Deste modo, tais propriedades são de fundamental importância no dimensionamento dos diferentes equipamentos que compõem uma serraria. Problemas relacionados às tensões de crescimento nas espécies de eucalipto podem ser reduzidos com a utilização de técnicas apropriadas de corte. Um dos principais parâmetros relacionados à usinagem são as forças de corte, as quais são função do material (espécies, teor de umidade, temperatura, orientação das fibras, etc), assim como dos parâmetros de corte (ângulos de corte, velocidade de corte, espessura de corte, afiação, temperatura etc).

O objetivo deste trabalho é a obtenção de resultados de forças de corte ortogonais requeridas no processamento de três espécies de eucalipto, com a utilização de diferentes condições de corte. A otimização e melhoria dos processos de corte do eucalipto poderá ser muito útil para a promoção destas espécies de madeira para as mais diversas utilizações no mercado interno e de exportação.

Para realização dos objetivos e na impossibilidade de equipamento específico disponível, os ensaios de medida das forças de corte para as três espécies de eucalipto adotadas, foram realizados no laboratório da Universidade de Laval – Québec/Canadá com a qual a Universidade Estadual de Campinas mantém acordo de cooperação científica.

Os ensaios de medida de forças de corte foram realizados com vinte repetições por corpo de prova, de cada espécie adotada, para cada condição de corte estudada, a saber:

90-0 tangencial, 90-0 radial, 90-90 tangencial e 90-90 radial. Os dados de forças de corte foram obtidos através de sistema de aquisição de dados.

A partir dos resultados das forças de corte obtidos, foram elaborados, para uma melhor visualização dos resultados, gráficos de relações das forças em função da espessura de corte, ângulo de ataque e densidade.

No corte 90-0 foram também observados os tipos de cavaco produzidos durante o corte.

Os resultados obtidos permitiram iniciar uma discussão das relações entre as forças e os parâmetros de corte e tipos de cavaco.

ABSTRACT

The knowledge of the machining characteristics of wood is one of the most important aspects for ensuring a rational utilization of this material. This utilization is directly related to the mechanical processes used for the transformation of wood. Such wood machining properties are therefore important parameters useful for designing the different components of a sawmill. The problems related to the growth stresses in eucalyptus trees can be reduced by using adequate techniques of wood cutting. One of the principal aspects of the machining parameters is the measurement of cutting forces, which are a function of the raw material (species, moisture content, temperature, wood grain orientation), as well as of the cutting equipment (cutting angles, cutting velocity, chip thickness, wear, etc.). The objective of this work is to report results of orthogonal cutting forces required for processing three species of Eucalyptus coming from different wood density classes. The optimization and improvement of the cutting process of eucalyptus could be very useful for promotion purposes of these species in the wood and furniture industry worldwide.

Tests to obtain the cutting forces for the three species of eucalyptus were carried out at the Laboratory of University Laval- Québec/Canada, which holds a cooperation agreement with Unicamp.

A total of 20 replicates was considered for each cutting condition for the three selected species. A data acquisition system and a dynamometer was employed for measuring cutting forces. With this data, graphs were made relating cutting force to the cutting thickness, for different rake angles and density. These graphs allowed draw more specific conclusions of these relationships.

1- INTRODUÇÃO

A floresta amazônica é a maior reserva disponível do mundo. Durante muito tempo, houve uma exploração intensiva dos recursos naturais vindos destas florestas, e em muitos casos, sem se levar em conta a característica renovável da madeira. No entanto, atualmente, espécies de madeira de reflorestamento, tais como o eucalipto e o pinus, estão adquirindo, no Brasil importância crescente, embora ainda existam problemas relacionados a aceitação destas espécies no mercado nacional.

O conhecimento das propriedades da madeira destas espécies é necessário antes de qualquer ação que pretenda promover a utilização das mesmas no mercado nacional e de exportação. Os diferentes estudos das madeiras de reflorestamento tem sido, principalmente, relacionados às propriedades físicas e mecânicas ou relacionadas ao comportamento à secagem. Os aspectos relacionados à usinagem destas madeiras tem sido muitas vezes negligenciados.

O desdobro da madeira é ainda realizado de maneira empírica em grande parte das serrarias, com resultados inadequados e ineficientes. Isto afeta diretamente a utilização racional deste recurso e limita seu desenvolvimento e competitividade ante outros materiais.

Espécies de eucalipto requerem técnicas de usinagem diferentes das normalmente utilizadas para espécies de coníferas, as quais, geralmente requerem energias menores para o corte. O eucalipto, muitas vezes, é extremamente denso e portanto, duro, pesado, forte e resistente; características estas que aumentam a energia requerida e acelera o desgaste das ferramentas de corte, das máquinas e do sistema de alimentação e transporte da madeira dentro da serraria ou fábrica. Algumas destas espécies possuem ainda fibras retorcidas que dificultam um aplainamento perfeito. Outras possuem tensões internas que distorcem a tora durante e depois do desdobro e aplainamento. Estas tensões internas também provocam rachaduras de topo nas toras quando amolecidas para o processamento de corte na produção de chapas laminadas. Deformações e empenamentos produzidos durante a secagem também dificultam a usinagem de peças planas e retas de madeira seca.

A utilização correta e racional destas espécies, depende, portanto, do conhecimento não só de suas características físicas e mecânicas, mas também da aptidão à usinagem.

Um requisito básico para determinar se uma espécie de madeira é apta para um uso determinado é o conhecimento e análise de suas características de usinagem. Estas características incluem o serramento, desgrosso, torneamento, lixamento e furação.

Algumas destas operações podem ser encontradas no processamento primário e outras principalmente no processamento secundário da madeira em serrarias. Todas as operações, envolvem um processo de tensão e ruptura. Seja manualmente ou através de máquinas, a força é transmitida para a madeira através de uma ferramenta de corte. A orientação e direção das forças são controladas através do modelo da ferramenta e/ou através das mãos do marceneiro. A ferramenta tem, normalmente, uma geometria definida, e a madeira tem suas propriedades físicas e mecânicas próprias. A direção do movimento e a configuração da ferramenta determinam o caminho e a maneira como os esforços se produzem. As propriedades mecânicas da madeira determinam como estes esforços são resistidos portanto, a junção destas duas ocorrências indicam o modo de ruptura ou de “corte”.

Para se conhecer a comportamento da madeira aos diferentes processos de corte, um dos parâmetros fundamentais a se estudar são as forças implicadas durante a usinagem.

Estas forças, desenvolvidas durante o corte, têm grande importância na escolha do tipo da ferramenta e no cálculo da potência das máquinas que compõem uma serraria. Estas forças de corte variam com a espécie de madeira, direção das fibras, direção de corte, afiação das ferramentas de corte, e outras variáveis relacionadas à matéria prima ou à ferramenta. Uma análise da literatura mostra que não há dados suficientes disponíveis sobre a grandeza das forças de corte requeridas para o processamento das diferentes espécies de eucalipto crescidas no Brasil.

O objetivo desta pesquisa foi, portanto, medir as forças de corte desenvolvidas durante o corte ortogonal da madeira de espécies de eucalipto com diferentes densidades e diferentes condições de ângulo de ataque, espessuras de corte, direções e tipos de corte; analisar os tipos de cavaco obtidos durante o corte e, iniciar uma discussão das relações destas forças com os parâmetros citados.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - O Eucalipto

O *Eucalyptus* é um gênero de plantas da família das Myrtáceae, da tribo das Leptospermeas, que conta com cerca de seiscentas espécies, grande número de variedades e alguns híbridos. Com poucas exceções, todas as espécies de *Eucalyptus* são nativas da Austrália, inclusive a Tasmânia, onde formam densas e vastas florestas, constituindo boa parte da riqueza florestal do continente (Andrade, 1961).

De todos os países da América do Sul, o Chile foi o país que recebeu as primeiras mudas em 1823, levada por ingleses. Estas mudas, na verdade, se destinavam ao Peru mas, o comandante do navio que as transportava as deixou em Valparaíso (Andrade, 1961).

É difícil determinar, com segurança, a data da introdução do eucalipto no Brasil.

De alguns relatos históricos se pressupunha que os primeiros foram plantados no Rio Grande do Sul em 1868. No entanto, em alguns outros relatos encontrados mais recentemente, parece poder afirmar-se que a introdução do mesmo no país se deu primeiramente em São Paulo.

Até o princípio do século o eucalipto foi plantado como árvore decorativa, pelo seu extraordinário desenvolvimento. Poucas eram as suas plantações para fins industriais e caráter florestal. Deve-se à Companhia Paulista de Estradas de Ferro (CPEF) a sistematização da sua cultura e a série enorme de estudos experimentais. Os primeiros estudos foram realizados em fins de 1903, em Jundiaí, e permitiram a formação das atuais

florestas de eucalyptus, além de estimularem a sua cultura em quase todos os estados brasileiros. Foi Navarro de Andrade que, em 1903, convidado pelo então Presidente da CPEF a assumir o cargo de Diretor do Horto Florestal de Jundiaí, iniciou neste horto estudos comparativos entre espécies de eucalipto e entre as espécies nativas e o eucalipto. Destes estudos surgiram vários trabalhos mostrando as vantagens do eucalipto em termos de crescimento, adaptação ao clima, aplicabilidade para os mais diversos fins, viabilidade e competitividade com as espécies normalmente usados para fins comerciais.

Além de São Paulo, possuem extensas plantações de eucalipto os estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul, Pernambuco e Rio de Janeiro. Nos outros estados as plantações são em menor escala.

Na Califórnia, desde longa data, a madeira de eucalipto é empregada em construções civis, fato, aliás, ali ignorado por muito tempo, por ser esta madeira importada com o nome de mogno australiano, pelo qual também é conhecido na Austrália. Em Los Angeles, existem também muitas construções com eucalipto. Em toda a América do Norte, existem muitas referências sobre a aplicação do eucalipto em todos os tipos de construções, sempre com bons resultados.

No Brasil, a CPEF utiliza há muito tempo a madeira de eucalipto na construção de casas, armazéns, barracões e pontes, com excelentes resultados.

O Eucalipto é, portanto, o gênero mais empregado em reflorestamento no Brasil, ocupando papel sócio-econômico de destaque. Atualmente a sua utilização para fins de madeira serrada e laminação tem sido crescente. Esta aplicação crescente se deve às suas características de alta qualidade, à sua viabilidade econômica e, sobretudo à necessidade crescente de se encontrar alternativas para a substituição de madeira de espécies nativas das florestas tropicais e atlânticas, cada vez mais escassas e sujeitas às fortes pressões ecológicas de entidades ambientalistas visando sua conservação. Constata-se, no entanto, uma grande escassez de dados referentes às propriedades destas espécies. Esta realidade

tem gerado problemas graves com relação à utilização inadequada da madeira e conseqüente desperdício de material (Calori *et al.*, 1995).

A madeira serrada de eucalipto tem condições de ser empregada, sem prejuízo algum em termos de qualidade, para as mesmas finalidades que se empregam, no Brasil, as madeiras de lei. Isto já vem ocorrendo em outros países tais como a África do Sul. Neste país o gênero foi introduzido em substituição às madeiras nativas de sua pequena reserva florestal em extinção. Ali o reflorestamento se deu utilizando técnicas voltadas à produção mais econômica de madeira de qualidade (Andrade, 1961).

A maior parte das serrarias que processam o eucalipto na África do Sul são, atualmente, muito desenvolvidas, apresentando processos totalmente mecanizados tanto no transporte das toras quanto na classificação, descascamento e usinagem. A madeira é serrada com umidades elevadas passando posteriormente por secagem controlada em estufa. Este procedimento favorece o corte (forças menores) e evita as retrações bruscas, que são a causa primária das rachaduras e empenamentos da madeira. A secagem evita ainda o ataque de fungos e reduz os gastos com transporte (redução do peso).

2.2 - Propriedades da Madeira

Segundo Koch (1964) as características e propriedades da madeira que interferem na usinagem são:

2.2.1 Anisotropia

A madeira apresenta propriedades físicas e mecânicas diferenciadas nos planos transversal, tangencial e radial (Figura 2.1). Como consequência, a usinagem da madeira também será diferenciada nestes planos. Por exemplo, Kivimaa (1950) observou que quando o corte é efetuado na direção dos raios, as forças geradas para cortar são aproximadamente 12% maiores que quando o mesmo é efetuado perpendicularmente à estes.

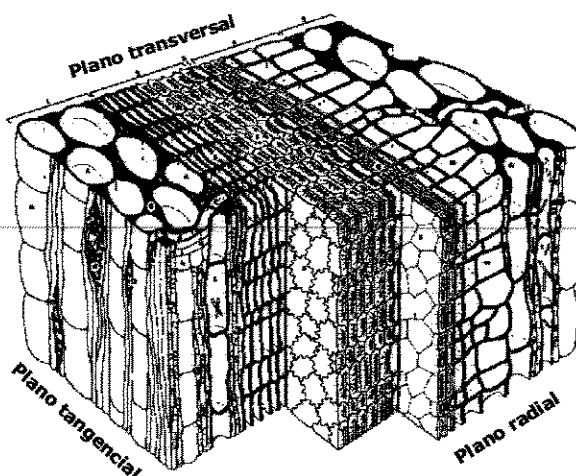


Figura 2.1 - Planos de corte
(Haygreen e Bowyer, 1989)

O plano transversal é o plano perpendicular às fibras e ao eixo maior do caule da planta. O tangencial é paralelo ao eixo maior do caule da planta e perpendicular a seus raios, tangencia os anéis de crescimento sem passar pela medula. O plano radial é paralelo ao eixo maior, paralelo aos raios e perpendicular aos anéis de crescimento passando pela medula da planta.

2.2.2 - Classes

As madeiras são classificadas em coníferas (Gymnospermas) e dicotiledôneas (Angiospermas)

As coníferas são madeiras que apresentam estrutura mais uniforme. São compostas principalmente por traqueídeos, canais resiníferos e raios.

Os traqueídeos constituem 90 % do volume da madeira das coníferas. São células semelhantes a tubos, longas, estreitas e com extremidades fechadas. O comprimento destas células é de 75 a 200 vezes maior que a largura. A comunicação entre as células e outros componentes do lenho ocorre através de orifícios denominados Pontuações. Os traqueídeos são responsáveis pela condução de líquidos (quando no alburno) e também pela resistência mecânica.

Os raios são constituídos por células de parênquima com forma aparente de cubo, dispostas em bandas axiais, sempre horizontais, que se distribuem radialmente através dos traqueídeos. Constituem de 5 a 11% do volume da madeira da conífera e são responsáveis pelo armazenamento de carboidratos e pela condução da seiva na direção transversal.

Os canais resiníferos são espaços intercelulares de forma tubular. Aparecem em algumas espécies e podem provocar defeitos pois as resinas aderam ao fio da ferramenta. Na passada seguinte, o cavaco comprime a superfície da madeira produzindo pequenos orifícios. Este defeito ocorre no aplainamento, e é conhecido com o nome de “marcas de cavaco” (chipmarks)

As dicotiledôneas, também denominadas folhosas, representam a grande maioria das madeiras comerciais brasileiras. Apresentam uma composição anatômica bem mais complexa e com células mais especializadas do que as coníferas. Os principais elementos que compõem a estrutura anatômica das dicotiledôneas são as fibras, vasos, raios e células de parênquima.

As fibras são células alongadas, mais curtas do que os traqueídes e compõem de 25% a 50% do volume das folhosas, dependendo da espécie. Seu comprimento pode variar entre 0,76 mm a 2,3 mm e, em média, apresentam cerca de 1 mm. São responsáveis pela resistência mecânica nestas espécies.

Os vasos são células condutoras, alongadas ou não, que unidas, formam um canal que vai das raízes até a copa. Quando presentes no alburno, a função do vaso é a condução de líquidos. Os vasos no plano transversal aparecem como pequenas aberturas e neste caso são denominados poros.

Do ponto de vista de usinagem, a característica geométrica mais importante do vaso é o seu diâmetro. Este diâmetro pode variar entre as espécies e também no interior dos anéis de crescimento (de 20 μ a mais de 300 μ). Na produção de laminados muito finos (Ex: 0,25 mm), a existência de vasos com diâmetros muito grandes podem produzir

orifícios dentro da placa. Desta maneira, o diâmetro dos vasos condiciona a espessura mínima das lâminas que podem ser obtidas no corte ortogonal. O diâmetro dos vasos assume, portanto, importância na coesão e qualidade das placas de laminados colados.

Os raios nas dicotiledôneas ocupam de 10 a 20% do volume da madeira e têm a mesma função que quando presentes nas coníferas.

As células de parênquima têm a função de armazenamento de substâncias nutritivas. Ocorrem em maior proporção nas espécies originárias de regiões tropicais, onde pode representar até 50% do volume total de madeira, enquanto que, aquelas da América do Norte, apresentam apenas de 1 a 18%. As células de parênquima, ocorrem associadas ou não aos vasos e com distribuição bastante variada de acordo com a espécie de madeira considerada. Quando estão associadas aos vasos recebem o nome de paratraqueal e quando não de apotraqueal.

2.2.3 - Anéis de crescimento

Os anéis de crescimento são geralmente camadas definidas de madeira clara e escura, correspondentes a uma fase de crescimento: a parte mais escura é o lenho de inverno. Os anéis de crescimento marcam a presença de madeira com características diferentes (inverno e verão) no que diz respeito à densidade, espessura das paredes celulares, etc. Tais diferenciações promovem diferentes comportamentos das tensões envolvidas durante o processo de usinagem. Dependendo da espécie e de fatores climáticos, o contraste dos anéis de crescimento adquire maior ou menor importância. De maneira geral as madeiras tropicais são mais homogêneas e os anéis de crescimento não apresentam maior importância.

2.2.4 - Cerne e Alburno

O cerne é composto por células mortas, enquanto o alburno, por células vivas. É no alburno que ocorre o transporte da seiva bruta das raízes para as folhas. O cerne, por ser composto por células mortas, mais fechadas e, em alguns casos preenchida com extrativos

possui maior densidade. Alguns extrativos, quando em grande quantidade podem danificar a ferramenta de corte na usinagem. Para um determinado teor de umidade, normalmente não existe diferença nas propriedades mecânicas entre o cerne e o alburno. No entanto, em madeiras ricas em extrativos podem ocorrer diferenças marcantes nas propriedades e neste caso, o alburno pode apresentar menor resistência que o cerne. Do ponto de vista de usinagem a diferença ocorre quando o alburno apresenta maior teor de umidade.

A Figura 2 apresenta esquematicamente os anéis de crescimento, raios, cerne, alburno e outros elementos componentes do tronco.

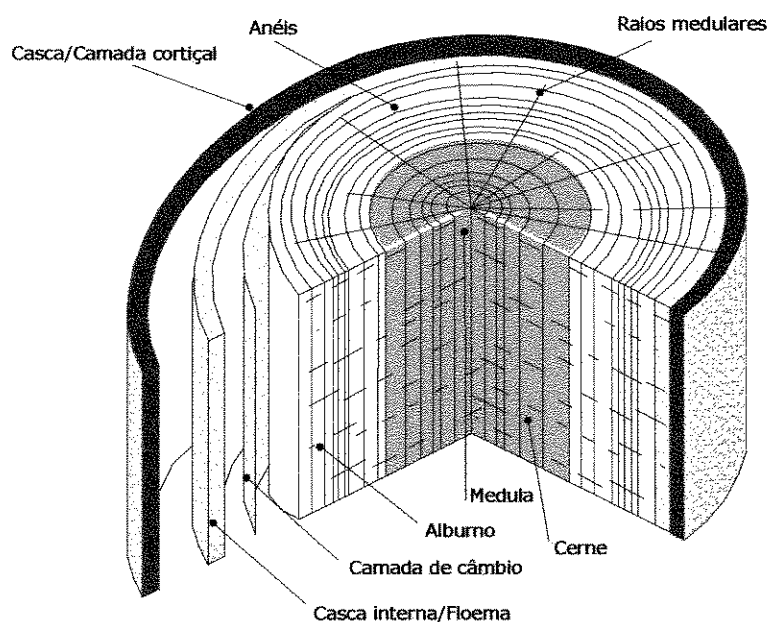


Figura 2.2 - Estrutura anatômica do tronco de uma árvore madura (Haygreen e Bowyer, 1989)

2.2.5 - Propriedades Mecânicas:

Durante a usinagem da madeira é muito importante considerar as propriedades que determinam a natureza da ruptura, ou seja, a deformabilidade e a resistência máxima para

cada tipo de solicitação. Os fatores que afetam a resistência mecânica da madeira e, conseqüentemente, os parâmetros relacionados à usinagem, são:

2.2.5.1 - Teor de umidade

Umidades abaixo do ponto de saturação das fibras afetam a resistência mecânica da madeira, e por conseguinte, as forças desenvolvidas no processo de usinagem. Tendo em vista que alguns processos de usinagem são realizados com a madeira apresentando umidade acima do ponto de saturação e outros com a madeira seca, o conhecimento das características de usinagem nestas duas condições é muito importante.

2.2.5.2 - Temperatura

Koch, 1964 enumerou três razões principais para se estudar o efeito da temperatura no processo de usinagem :

- a) A geração de certa quantidade de calor durante o processo é intrínseco e pode afetar a resistência da madeira;
- b) Existe a possibilidade de serem utilizados processos para variar a temperatura da madeira para facilitar o corte;
- c) Os tratamentos térmicos dados ao material, em alguns tipos de corte, podem ter um efeito permanente sobre suas propriedades mecânicas.

2.2.5.3 - Densidade

A densidade é uma propriedade intrínseca da madeira e está intimamente associada com sua resistência mecânica. Desta maneira, certamente será um parâmetro importante a ser considerado na usinagem.

2.3 - Corte

O corte convencional é definido como sendo a ação da ferramenta sobre uma peça de madeira, produzindo cavacos de dimensões variáveis. O cavaco pode ser definido como

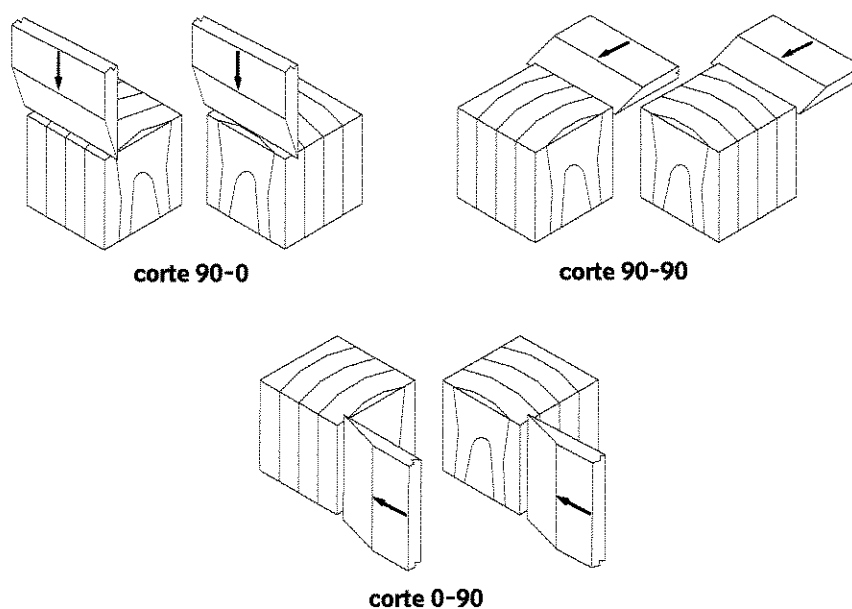
sendo o fragmento de madeira produzido pela ferramenta de corte. A formação destes cavacos depende da geometria da ferramenta, do teor de umidade da madeira e do movimento da ferramenta com relação à orientação das fibras.

Existem dois tipos básicos de corte, o ortogonal e o periférico.

O corte ortogonal é definido como sendo a situação na qual o fio de corte da ferramenta é perpendicular à direção do movimento da peça de madeira. A superfície obtida é um plano paralelo à superfície original.

O corte periférico é produzido pelo corte sucessivo das ferramentas (facas ou dentes) instaladas na periferia de um cabeçote. As ferramentas são colocadas de maneira a se obter um mesmo cilindro de corte. O corte ortogonal é, portanto, um caso especial de corte periférico com raio infinito.

McKenzie (1960) define uma notação para o corte ortogonal com a utilização de dois numerais. O primeiro é o ângulo entre a aresta principal da ferramenta de corte e a fibra da madeira e o segundo o ângulo entre a direção de corte e a fibra da madeira. Desta maneira, ficam definidos três tipos de corte 90 - 0, 90 - 90 e 0 - 90 como demonstra a Figura 2.3



**Figura 2.3 - Principais tipos de corte ortogonal
(Hoadley, 1980)**

Para separar o cavaco da peça de madeira, durante qualquer processo de corte, é necessário primeiro provocar a ruptura estrutural entre o fio da ferramenta de corte e a peça de madeira. Tendo em vista que a resistência da madeira varia com a direção da fibra a configuração do cavaco, a potência de corte e a qualidade da superfície serão muito afetadas pela direção de corte.

2.3.1 - Definições

As figuras 2.4 e 2.5 ilustram a simbologia padrão utilizada para as forças e ângulos de corte ortogonal.

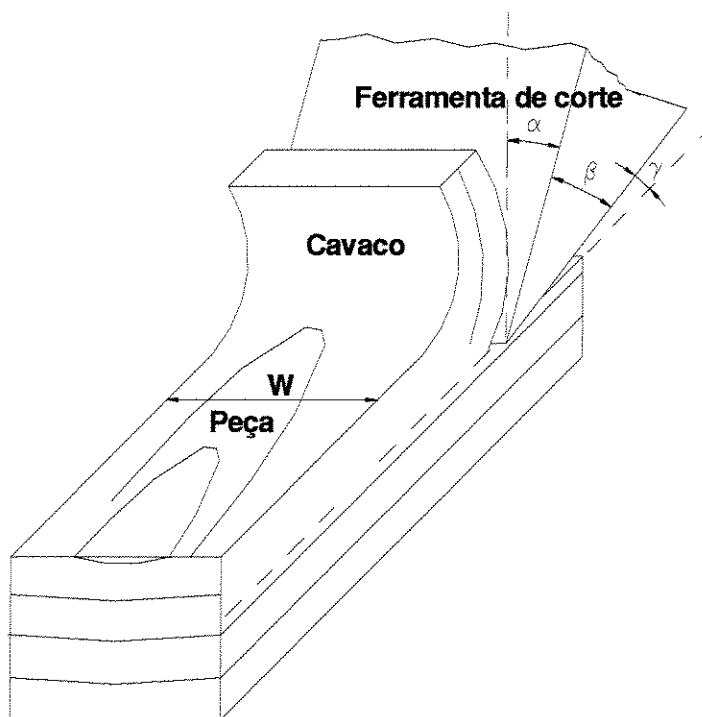


Figura 2.4 - Ângulos de corte
(Adaptada de Woodson & Koch, 1970)

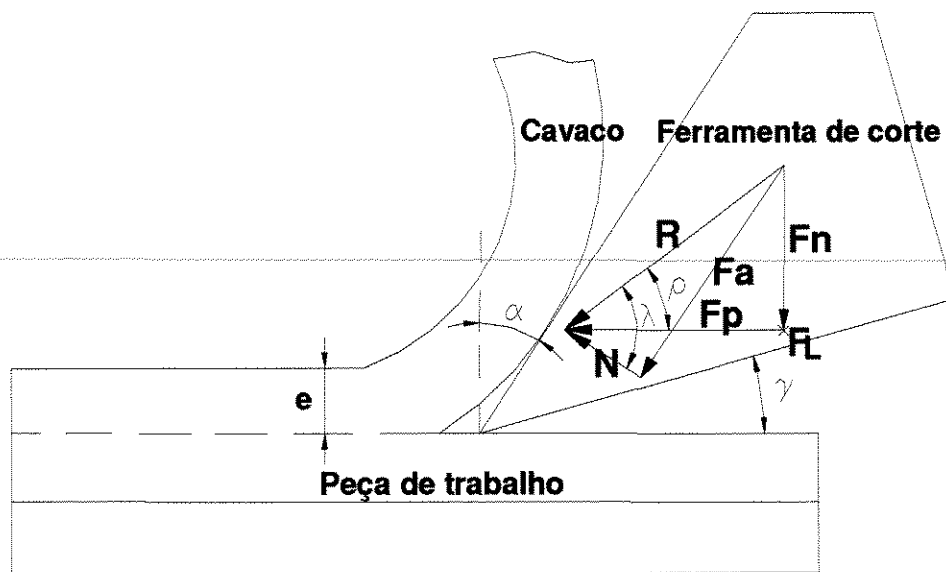


Figura 2.5 - Ângulos de corte e componentes das Forças
(Adaptada de Woodson & Koch, 1970)

onde:

α = ângulo de ataque - é o ângulo entre a superfície de saída e o plano perpendicular a superfície usinada.

γ - ângulo de folga - ângulo formado entre a superfície principal de folga e a superfície usinada da peça.

β - ângulo da ferramenta - ângulo entre a superfície de saída e a superfície principal de folga da cunha de corte.

e - espessura de corte - espessura calculada da seção transversal do cavaco

w - largura de corte - largura calculada da seção transversal do cavaco (corresponde ao comprimento da aresta/fio de corte que está atuando na usinagem).

F_n - força normal - componente perpendicular à força paralela e perpendicular à superfície gerada;

F_p - força paralela: componente que age paralelamente ao movimento relativo da ferramenta;

F_a - força de atrito - força entre a superfície da ferramenta de corte e o cavaco produzido;

F_l - força lateral - componente perpendicular ao plano formado pelas forças paralela e normal

R - resultante das componentes normal e paralela: R representa a soma da força normal com a força paralela;

ρ - ângulo da força resultante: ângulo no qual a tangente é igual à força normal dividida pela força paralela;

N - Força normal de atrito: que ocorre na interface entre a ferramenta de corte e o cavaco;

λ - ângulo entre a R e a força normal de atrito N : ângulo no qual a tangente é igual à força de atrito dividida pela força normal de atrito;

2.3.2 Forças de Corte

A usinagem tradicional é um processo baseado na tensão de ruptura. A tensão é imposta à madeira por ação humana ou mecânica, com ajuda de uma ferramenta de corte. A orientação e a direção da força são controladas pelo tipo de ferramenta de corte e pela atuação do operador ou da máquina.

A ferramenta de corte tem sua geometria particular, assim como a madeira tem suas propriedades físicas e mecânicas particulares.

A direção do movimento e a forma da ferramenta determinam o desenvolvimento de tensões impostas à madeira, e conseqüentemente a maneira como vai ocorrer a ruptura ou “corte”.

Dois fatores influenciam a ruptura:

a) A superfície de corte (A), que deve ser suficientemente pequena para que a força aplicada (F) com a ferramenta possa causar uma tensão (F/A) superior à resistência da madeira;

b) A condição da madeira com relação à umidade, temperatura, presença de defeitos, etc.

2.3.3 - Parâmetros de corte

Segundo Woodson e Koch (1970), alguns parâmetros relacionados ao corte da madeira interferem na usinagem da madeira. Estes parâmetros são:

a) ângulo de ataque (α) - Normalmente as forças de corte decrescem com o aumento de α . Para cada espécie deverá existir uma faixa ótima para o ângulo de ataque, na qual será obtida a melhor qualidade de superfície.

b) ângulo de folga (γ) - Este ângulo deverá ter um valor mínimo que permita a redução do contato da superfície de folga da ferramenta com a peça da madeira

c) ângulo da ferramenta (β) - Este ângulo está relacionado à resistência da ferramenta de corte ao choque e ao desgaste

d) espessura de corte (e) - Estará diretamente relacionada às forças implicadas no processo de corte

e) orientação das fibras em relação ao corte - Tendo em vista que a madeira apresenta resistências diferentes de acordo com a direção do esforço em relação às fibras, esta direção afetará as forças implicadas durante a usinagem.

f) afiação da ferramenta de corte - Quando a ferramenta de corte não está bem afiada ou quando está desgastada, o ângulo de ataque diminui ou torna-se negativo, produz-se um afundamento na superfície da madeira que ocasiona o aparecimento de forças de atrito elevadas. Neste caso as forças de corte tornam-se também maiores. O desgaste das ferramentas de corte dá origem ao defeito conhecido com o nome de fibra saliente (raised grain), produzida pela diferença de espessura de corte entre a madeira final e a inicial.

g) atrito entre o cavaco e a superfície de saída da ferramenta de corte - A força de atrito é função do tipo de cavaco, sendo pouco afetada pela rugosidade na face da ferramenta. Esta

força sofre menor variação em relação ao ângulo de saída e espessura do cavaco quando comparado à influência do tipo de cavaco e espécie de madeira. A estrutura anatômica da madeira é, então, fator determinante na força de atrito (Gonçalves e Ruffino, 1993).

h) vibração lateral - A vibração lateral pode ocorrer em consequência da orientação das fibras em relação ao corte. Quando as mesmas não estão perfeitamente alinhadas (fibras retorcidas, desvio de fibras, etc) podem ocorrer grandes esforços laterais durante o processo de usinagem.

2.3.4 - Corte ortogonal 90-0

Este tipo ocorre no corte paralelo às fibras. Em geral a máquina de processamento de madeiras mais comum nas serrarias depois da serra é a plaina. A maior parte da madeira serrada é posteriormente aplainada para a retirada de defeitos inerentes e lascas. Nas serras circulares, os dentes trabalham em uma situação de corte próxima ao tipo 90-0 quando a serra é ajustada para fazer uma ranhura rasa. A qualidade da superfície e os defeitos de usinagem estão relacionados com o tipo de cavaco formado. Quando o processamento é ao longo das fibras, observa-se a formação de três tipos distintos de cavacos que foram definidos por Franz (1958):

2.3.4.1 - Cavaco tipo I

Formado quando as condições de corte são tais que a madeira rompe por fendilhamento em um plano à frente da ferramenta de corte e o cavaco se separa como uma viga engastada (Figura 2.6). As etapas de formação são:

- a) compressão paralela às fibras;
- b) abertura de fenda à frente da aresta de corte da ferramenta;
- c) ruptura por fendilhamento seguindo a direção da fibra;
- d) o fendilhamento continua até que os esforços de flexão se tornam o fator limitante e o cavaco se quebra como se fosse uma viga engastada;
- e) um outro ciclo se inicia.

2.3.4.1 - Cavaco tipo II

Formado quando a ruptura da madeira se produz ao longo de uma linha que se estende a partir da aresta de corte da ferramenta. Neste caso, a ruptura se dá por cisalhamento diagonal e forma um cavaco contínuo (Figura 2.7).

Este tipo de cavaco se forma em condições limitadas. A ferramenta impõe à madeira uma compressão paralela e provoca tensões de cisalhamento diagonais. À medida que o corte avança é formado um cavaco contínuo e levemente espiralado. O raio desta espiral aumenta à medida que a espessura do cavaco aumenta. Existe uma continuidade na formação deste tipo de cavaco que é o tipo ideal do ponto de vista de qualidade de superfície gerada na usinagem.

Os fatores que favorecem a formação do cavaco tipo II são:

- a) pequenas espessuras de corte;
- b) teores de umidade intermediários;
- c) ângulos de ataque variando de 5° a 20° .

A demanda de energia neste caso é intermediária entre aquelas requeridas pelos cavacos dos tipos I e III.

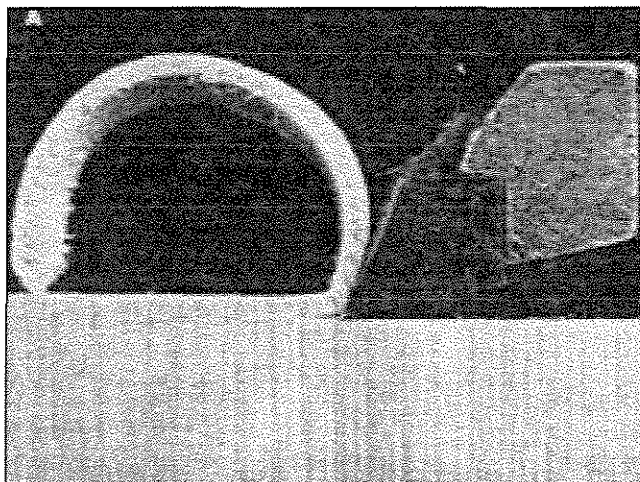


Figura 2.7 - Cavaco tipo II -(Woodson & Koch, 1970)

2.3.4.3 - Cavaco tipo III

As forças de corte produzem rupturas por compressão paralela e cisalhamento longitudinal na madeira diante da aresta da ferramenta de corte. O cavaco é sem forma definida e reduzido a fragmentos (Figura 2.8).

O cavaco tipo III é formado de maneira cíclica, tem dificuldade de se destacar da face de ataque da ferramenta e é, então, compactado contra esta face. Tensões são transferidas às outras superfícies que por sua vez serão também compactadas iniciando outro ciclo.

Os fatores que favorecem a formação do tipo III são:

- a) pequenos ângulos de ataque (α);
- b) fio de corte da ferramenta muito desgastado;
- c) coeficiente de atrito elevado entre o cavaco e a face do instrumento cortante.

Este tipo de cavaco provoca defeito na fibra, apresentando uma textura rugosa que se assemelha à pelúcia. Este tipo de defeito é produzido porque a ruptura da madeira se dá abaixo do plano de corte e igualmente porque a ferramenta de corte deixa os elementos anatômicos da madeira cortados de maneira incompleta na superfície. A demanda de energia e o desgaste da ferramenta de corte são elevados.

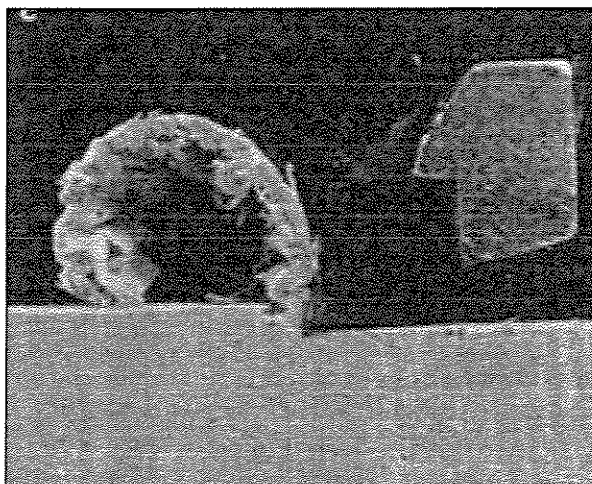


Figura 2.8 - Cavaco tipo III (Woodson & Koch, 1970)

Stewart (1977) propõe um método para prever a formação de cavacos do tipo II. Este método utiliza a relação que existe entre as propriedades mecânicas da madeira e as forças de corte. Este autor apresenta um método para estimar o ângulo de ataque (α) em corte ortogonal. Este ângulo está estreitamente relacionado com o coeficiente de atrito (μ) durante o corte. Por outro lado, este mesmo coeficiente (μ) pode ser estimado a partir das forças de corte F_p e F_n pela equação 1.1.

$$\mu = \tan (\arctan (F_n/F_p) + \alpha) \dots \dots \dots (1.1)$$

Esta relação é válida se α varia entre 15° e 45° . Segundo Franz (1958), cavacos do tipo II são obtidos quando a força normal de corte F_n é próxima de zero ou ligeiramente negativa. Stewart (1977) fez, então, a hipótese de (F_n) igual a zero, o que transforma a equação (1.1) em:

$$\mu = \tan \alpha \dots \dots \dots (1.2)$$

O ângulo de ataque α obtido através da equação 1.2 representará o valor ótimo para o qual a força normal (F_n) será próxima de zero e o cavaco formado do tipo II.

Woodson (1979) determinou as forças de corte ortogonal para 22 espécies de madeiras folhosas, e utilizou estes valores como parâmetros para estimar o ângulo ideal de ataque para obtenção de cavacos do tipo II.

O autor notou que os coeficientes de atrito calculados a partir da equação (1.2) são maiores do que aqueles observados por medidas experimentais (dinâmicas e estáticas). Uma das razões admitidas para esta diferença é que, durante o processo de corte, existe um afundamento da superfície, devido a uma deformação plástica do cavaco formado. Há ainda um outro afundamento produzido devido à pressão da ferramenta de corte sobre a superfície da madeira cortada. Estes afundamentos seriam os responsáveis pela redução do atrito durante a experimentação. A Tabela 2.1 apresenta o efeito das principais variáveis sobre as forças de corte ortogonal 90-0.

Tabela 2.1- Forças de corte ortogonal 90-0 em função da espessura de corte, do teor de umidade e do ângulo de ataque. Valores correspondentes à média de 22 espécies de folhosas (Woodson 1979)

Parâmetro Principal	Força Paralela (N/mm)		Força Normal (N/mm)		
	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima
Espessura de corte (mm)					
0,38	17,8	21,6	1,8	2,5	4,2
0,76	33,3	41,6	2,7	4,5	6,3
1,14	43,6	56,5	3,1	5,6	7,9
1,52	54,0	72,0	3,6	6,8	9,7
Teor de Umidade (%)					
10,9	50,4	69,1	4,0	7,2	9,9
18,9	36,0	44,1	2,7	4,7	6,3
104,3	24,8	30,8	1,8	3,2	4,7
Ângulo de ataque					
10°	47,4	59,8	8,3	11,5	15,5
20°	41,6	48,6	2,9	4,2	5,2
30°	22,5	39,2	-2,7	-1,1	0,4

- velocidade de corte de 5 polegadas por minuto

2.3.5 Corte Ortogonal 90-90

O corte 90-90 é de grande interesse prático, tendo em vista que este tipo de corte é o realizado pela serra de fita de corte longitudinal (Koch 1985). O aplainamento das bordas de uma peça de madeira também é o caso de corte 90-90 que ocorre, por exemplo, no caso de respigadeiras (máquinas que produzem as ligações por encaixe “macho-fêmea”). O fio da ferramenta deve separar o cavaco através do corte longitudinal. Este corte deve produzir a separação da estrutura celular transversalmente à fibra. O cavaco é deslocado através de deformação de cisalhamento e rompe por flexão. Posteriormente este cavaco se desloca ou se move para fora da face de corte formando uma espécie de cordão composto de pequenos segmentos retangulares (Hoadley 1980).

Tendo em vista que a ferramenta de corte deve separar as fibras perpendicularmente, um ângulo de ataque pequeno deverá deformar drasticamente a madeira à compressão perpendicular às fibras durante o corte. Um efeito similar se produz através de uma ferramenta de corte (dente) desgastada e sem fio. Estas condições fazem com que as fibras sejam mal cortadas, flexionadas na superfície de corte ou ainda fendilhadas abaixo da superfície de corte. Por esta razão, se recomenda o uso de ângulos de ataque maiores e ferramentas de corte bem afiadas pois estas condições minimizam os danos superficiais na peça causados pelo corte (McKenzie 1960; Hoadley 1980).

O corte longitudinal da serra de fita é um caso especial de corte 90-90. A serra de fita incorpora apenas parte da largura do elemento de corte, ou seja, a trava do dente, que é mais estreita que a peça de madeira a ser cortada. Desta maneira, além da formação do cavaco, o dente deve separar e cortar as faces laterais para passar livremente dentro da ranhura de corte. Para evitar o atrito da serra contra os lados do corte, seus dentes devem ter uma geometria especial na ponta, ou seja, a espessura da serra deve ser mais larga que a espessura da fita.

No caso das serras circulares, a condição de corte se aproxima ao tipo 90-90 quando a serra é utilizada em sua máxima altura, ou seja, quando a serra corta o mais próximo possível de sua parte central.

No caso das folhosas os cavacos para este tipo de corte são uniformes e superfícies de qualidade são obtidas com ângulos de ataque elevados (30° a 40°) se a ferramenta de corte estiver bem afiada. Pequenos ângulos de ataque associados à madeira seca produzem, normalmente, superfícies de baixa qualidade (Woodson 1979).

A Tabela 2.2 apresenta o efeito das principais variáveis sobre as forças de corte ortogonal 90-90.

Tabela 2.2 – Forças de corte ortogonal 90-90 em função da espessura de corte, do teor de umidade e do ângulo de ataque. Valores correspondentes à média de 22 espécies de folhosas (Woodson 1979)

Parâmetro Principal	Força Paralela (N/mm)		Força Normal (N/mm)		
	Média	Máxima	Minima	Média	Máxima
Espessura de corte (mm)					
0,38	25,4	31,5	-2,4	-0,7	-0,7
0,76	42,3	42,3	51,5	-5,4	-2,7
1,14	53,8	65,7	-8,1	-4,2	0,6
1,52	64,3	79,6	-10,8	-5,6	0,9
Teor de Umidade (%)					
10,9	58,5	74,0	-7,9	-2,9	3,4
18,9	45,9	55,4	-6,5	-3,4	0,2
104,3	34,9	41,8	-5,6	-3,4	-0,9
Ângulo de ataque					
10°	56,7	69,0	-0,2	3,4	7,4
20°	46,1	56,5	-7,4	-4,0	0,2
30°	36,4	45,6	-12,8	-9,2	-4,7

-velocidade de corte de 5 polegadas por minuto

2.3.6 - Corte Ortogonal 0-90

Este tipo de corte ocorre no processo de laminação por torneamento ou fatiamento. As forças de corte são geralmente menores que no corte 90-0.

Quando as condições são favoráveis, o cavaco formado durante este tipo de corte emerge de maneira contínua, como no caso dos laminados. Se a ferramenta de corte está afiada adequadamente e o corte se dá em pequenas espessuras, uma folha contínua e de boa qualidade deverá ser obtida.

Durante o corte 0-90 se diferenciam três zonas de ruptura:

- zona crítica de ruptura por tração
- zona crítica de ruptura por cisalhamento
- zona de ruptura por compressão perpendicular e separação das fibras por tração perpendicular

A Tabela 2.3 apresenta o efeito das principais variáveis sobre as forças de corte ortogonal 0-90.

Tabela 2.3 – Forças de corte ortogonal 0-90 em função da espessura de corte, do teor de umidade e do ângulo de ataque. Valores correspondentes à média de 22 espécies de folhosas (Woodson 1979)

Parâmetro Principal	Força Paralela (N/mm)		Força Normal (N/mm)		
	Média	Máxima	Mínima	Média	Máxima
Espessura de corte (mm.)					
0,38	5,6	11,2	0,0	2,4	-1,8
0,76	6,3	13,0	-0,4	2,2	-2,4
1,14	7,6	1,8	-0,9	2,2	-3,4
1,52	8,8	19,1	-1,3	2,4	-4,3
Teor de Umidade (%)					
10,9	8,4	19,4	0,0	3,6	-2,9
18,9	7,2	14,4	-1,1	1,8	-3,4
104,3	5,6	10,8	-0,7	1,3	-2,5
Ângulo de ataque					
10°	7,4	16,8	-0,4	2,7	-2,7
20°	7,0	14,4	-0,9	1,8	-3,4
30°	7,0	13,3	-0,6	2,2	-2,9

-velocidade de corte de 5 polegadas por minuto

2.3.7 - Comparações entre as forças obtidas nos cortes ortogonais 90-0; 90-90 e 0-90

Segundo Woodson (1979) no corte 0 - 90 as forças são geralmente menores do que no corte 90 - 0 que por sua vez são menores que no corte 90-90. A Tabela 2.4 - apresenta valores médios de força paralela (F_p) e força normal (F_n) em Newton/mm em um corte ortogonal da madeira [*Quercus spp* e *Acer saccharum*]. Estes valores comprovam a afirmação.

Tabela 2.4 – Valores médios da força paralela (F_p) e da força normal (F_n) no corte ortogonal das espécies *Quercus spp* e *Acer sacchanum* em função da direção de corte, do ângulo de ataque e do teor de umidade. Espessura de corte de 0,76 mm. (Woodson, 1979)

Tipos de cortes	Espécie e ângulo de ataque	Umidade 10%		Umidade 20%		Estado Saturado	
		F_p (N/mm)	F_n (N/mm)	F_p (N/mm)	F_n (N/mm)	F_p (N/mm)	F_n (N/mm)
Corte 90 - 0	<i>Quercus spp</i>						
	10°	68,4	18,9	40,4	10,0	34,0	8,2
	20°	59,0	5,5	34,4	3,1	25,6	2,1
	30°	38,6	38,6	-2,3	20,5	16,0	-0,7
	<i>Acer saccharum</i>						
	10°	45,4	12,6	31,2	8,5	26,6	6,3
	20°	48,8	6,5	30,4	3,8	20,2	1,6
Corte 0-90	30°	24,3	-1,1	25,6	-0,7	15,3	0,0
	<i>Quercus spp</i>						
	50°	11,0	0,4	8,2	-0,9	6,8	-0,5
	60°	11,5	0,6	6,9	-2,1	5,8	-1,5
	70°	8,5	0,5	6,1	-0,2	4,5	0,2
	<i>Acer saccharum</i>						
	50°	6,1	-0,6	5,8	-1,3	4,7	-0,6
Corte 90-90	60°	6,3	-0,7	5,0	-1,6	4,2	-0,9
	70°	5,4	-0,4	4,3	-0,9	3,4	0,0
	<i>Quercus spp</i>						
	20°	77,6	5,2	55,8	1,9	41,6	0,9
	30°	66,6	-5,4	46,3	-4,6	30,8	-3,6
	40°	48,4	-12,1	34,0	-8,6	25,3	-7,1
	<i>Acer saccharum</i>						
	20°	52,4	8,3	47,0	4,0	34,8	1,8
	30°	46,1	1,8	36,2	-1,3	27,2	-1,6
	40°	34,4	-5,0	27,2	-5,2	20,2	-4,3

No trabalho de Gonçalves & Teixeira (1995), os autores concluíram que os esforços de corte na direção perpendicular às fibras 0 - 90, são maiores que aqueles registrados para a direção paralela 90 - 0.

Analisando as especificidades dos ensaios realizados por Gonçalves & Teixeira (1995), nota-se que os mesmos realizaram medidas de força para cortar uma peça pela

ponta (“trimming”), na qual se faz uma ranhura na direção 0 - 90, enquanto se realiza o corte 0 - 90. Conseqüentemente forças laterais entraram no processo, pois foi necessário cortar a fibra em duas partes. Por outro lado, os valores de Woodson (1979) foram obtidos em corte 0-90 puro, ou seja, sem fazer uma ranhura.

2.3.8 - Medidas de forças de corte

São conhecidos muitos procedimentos para determinação das componentes da força de corte durante a usinagem da madeira. O equipamento normalmente utilizado para esta finalidade é o dinamômetro. Alguns tipos de dinamômetros permitem a leitura de duas das componentes envolvidas no corte, as forças paralela e normal (F_p e F_n). Outros permitem a medida das três componentes da força envolvidas no corte, ou seja, a força paralela; força normal e força lateral .

Gonçalves & Ruffino (1993) desenvolveram uma metodologia para avaliar as forças de corte da madeira, e projetaram um dinamômetro que permite a medida das forças em duas direções.

King & Foschi (1969) desenvolveram um dinamômetro que permite medir as componentes da força de corte (F_p , F_n e F_l) aplicada pelo equipamento de corte sobre um corpo-de-prova de madeira durante uma operação experimental de corte. As forças de corte são lidas através de sistema de aquisição de dados acoplado a um computador.

Este dinamômetro de anéis ortogonais, consiste de quatro semi anéis e um arranjo de 12 extensômetros capazes de medir diretamente as três componentes da força (Figura 2.9). Os extensômetros são dispostos de tal maneira que é possível afirmar, em teoria, que o carregamento aplicado em uma das direções principais, não apresenta efeitos nas outras duas direções.

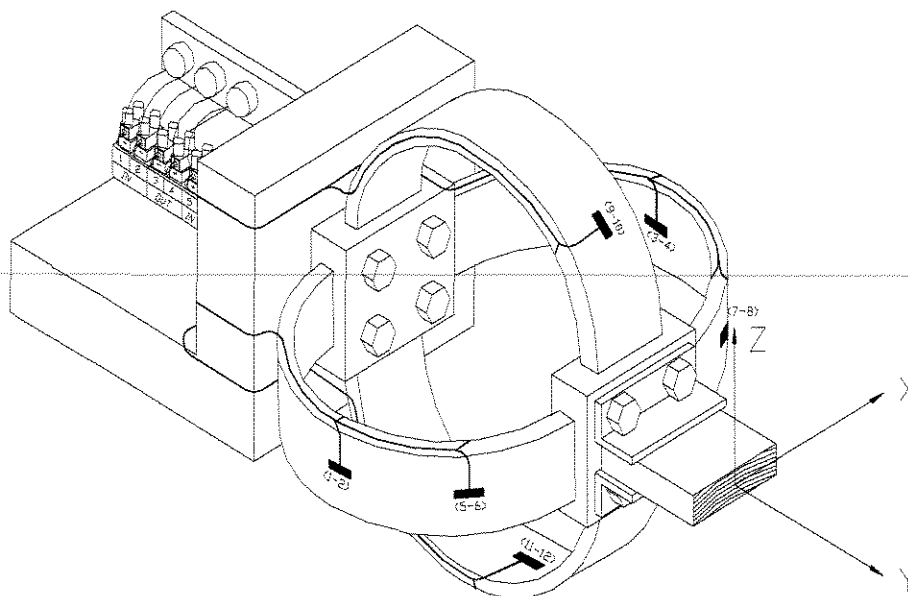


Figura 2.9 - Dinamômetro de Anéis Ortogonais - (King & Foschi, 1969)

A Figura 2.10 mostra a posição de colagem dos extensômetros. Através desta figura nota-se que a componente F_y produz, por simetria, o mesmo estado de tensão e de deformação nos quatro semi-anéis com os máximos valores nos pontos 1, 2, 3 e 4. Por outro lado, a componente F_z produz um estado de tensão e de deformação anti-simétrico em relação a X-Y. Então, a tensão produzida no ponto 2 é igual em magnitude mas inversa em sinal àquela produzida no ponto 3. O mesmo pode ser dito com relação ao efeito do momento M_x . A figura mostra ainda que, se os extensômetros forem colados nas posições 1, 2, 3 e 4 os efeitos M_x e F_z serão anulados, enquanto que o efeito de F_y será quadruplicado.

Para isolar F_z ou F_x das demais componentes, é necessário isolar F_z do momento M_x . Como as duas componentes produzem estados de tensões simétricos, é possível separar uma da outra através de conexões, também simétricas, dos extensômetros. Estes pontos são 5, 6, 7 e 8 também são apresentados na Figura 10.

Argumento similar pode ser considerado para a colocação dos extensômetros 9, 10, 11 e 12 no semi anel, estes com objetivo de isolar F_x .

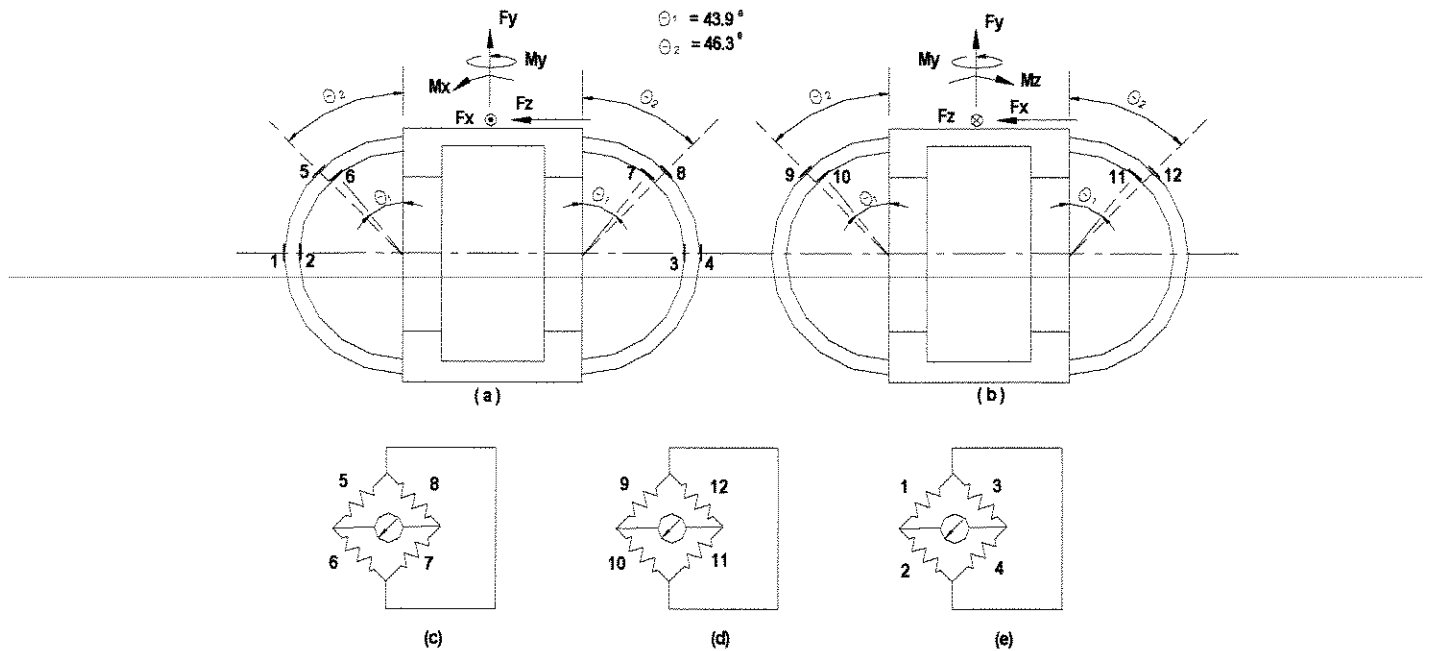


Figura 2.10 - Localização e diagrama de instalação elétrica dos extensômetros (King & Foschi 1969)

A revisão bibliográfica evidencia a importância do desenvolvimento de pesquisas na área de usinagem, no Brasil. As grandes diferenças entre características físico-mecânicas das espécies existentes em nosso país e em países de zona temperada e as características peculiares das espécies de reflorestamento crescidas no Brasil certamente se refletirão nos processos de transformação mecânica. Em consequência disto, a aplicação direta dos parâmetros utilizados nas ferramentas de corte e no dimensionamento da potência das máquinas proveniente de outros países não propiciará os mesmos resultados no corte de espécies crescidas em nosso país. A obtenção de informações à respeito das forças de corte em madeira de eucalipto, proposta deste trabalho, possibilitará importantes avanços no melhor conhecimento das relações destas forças com os parâmetros ligados aos equipamentos de corte (ângulo de ataque, espessura de corte, etc) e à potência das máquinas. O conhecimento destas forças é apenas o primeiro passo para a longa trajetória a ser percorrida no sentido de atingirmos o avanço tecnológico adequado nesta área, mas, com certeza, sem este primeiro passo não será possível darmos os demais.

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 -Material

- 3.1.1 Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus citriodora*).
- 3.1.2 Dinamômetro de anéis ortogonais proposto por King & Foschi (1969) e descrito no item 2.3.8
- 3.1.3 Fresadora Universal First, modelo LC-18VHS provida de mesa de alimentação horizontal.
- 3.1.4 Placa de aquisição de dados Strawberry modelo mini-16 acoplada ao computador PC
- 3.1.5 Software “Quicklog PC” – Strawberry Tree Data Acquisition So Smart – com leitura de sinais de voltagem em três canais simultâneos.
- 3.1.6 Facas e dentes adaptados ao cabeçote de corte da fresadora e aos diferentes ângulos de corte adotados na experimentação.

3.2 - Métodos

- 3.2.1 - Seleção das espécies de eucaliptos a serem utilizadas no trabalho

Diante do grande número de espécies de eucalipto existentes no Brasil, houve a necessidade de definir quais seriam as adotadas para a realização do trabalho. A seleção foi feita mediante aos seguintes critérios:

- a) disponibilidade regional
- b) utilização em estruturas
- c) classes de densidades - tentativa de abranger três diferentes classes de densidade, dentro das especificadas na NBR 7190/1996, visando subsidiar o estudo do comportamento das forças de corte em função da densidade.

3.2.2 - Obtenção das toras

As espécies de eucalipto citriodora, saligna e grandis foram selecionadas e obtidas no horto-florestal de Itirapina/SP. Optou-se pela seleção de uma árvore de cada espécie adotada visando minimizar as variações devido à própria madeira (lotes homogêneos). As árvores no bosque foram selecionadas com diâmetros maiores que 50 cm e buscando peças mais retas e isentas de desvios de fibras. Todas as árvores escolhidas tinham mais de 20 anos.

3.2.3 - Corte das toras

As toras foram encaminhadas a uma serraria de médio porte na cidade de São Carlos, onde foram desdobradas em vigas de seção 15 cm x 15 cm. O corte foi realizado segundo mostra a Figura 3.1, visando a obtenção de peças com anéis de crescimento paralelos e com mínima inclinação dentro da seção transversal. Este procedimento foi realizado para possibilitar a posterior retirada dos corpos de prova nas direções radial e tangencial.

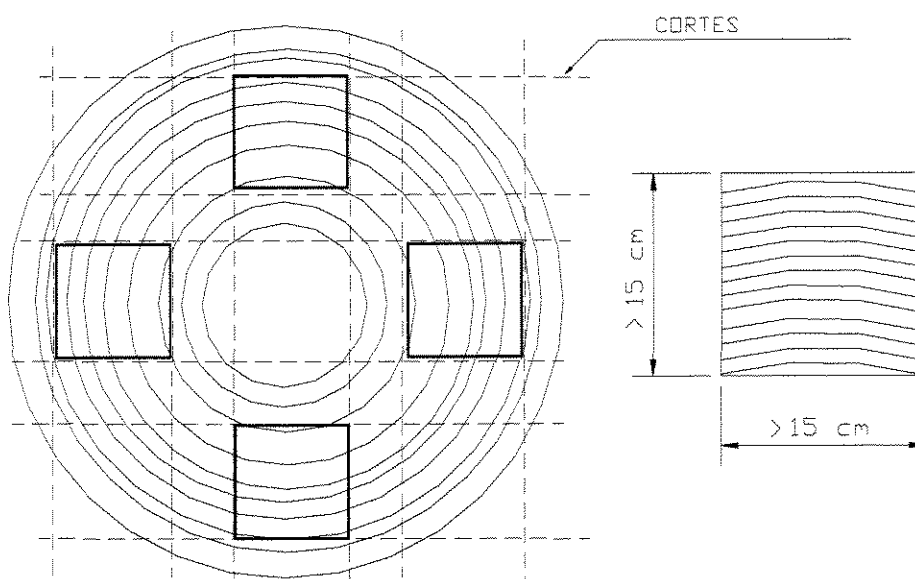


Figura 3.1 – Representação esquemática do corte das toras

3.2.4 - Corte das vigas

As vigas de 15 cm x 15 cm foram encaminhadas à serraria do Laboratório de Madeiras e de Estrutura de Madeira (LAMEM) da Universidade de São Carlos, onde foram aparelhadas e desdobradas em peças de aproximadamente 100 cm.

3.2.5 - Seleção das peças

De todas as peças de (15 cm x 15 cm x 100 cm), provenientes do corte das vigas, foram selecionadas as 17 melhores visando:

- a) isenção de nós
- b) isenção de desvio de fibras
- c) inclinação mínima dos anéis de crescimento na seção transversal

As vigas selecionadas foram levadas para a Université Laval - Québec/Canadá onde foi realizada toda parte experimental do trabalho. A Figura 2 mostra, esquematicamente a peça final obtida.

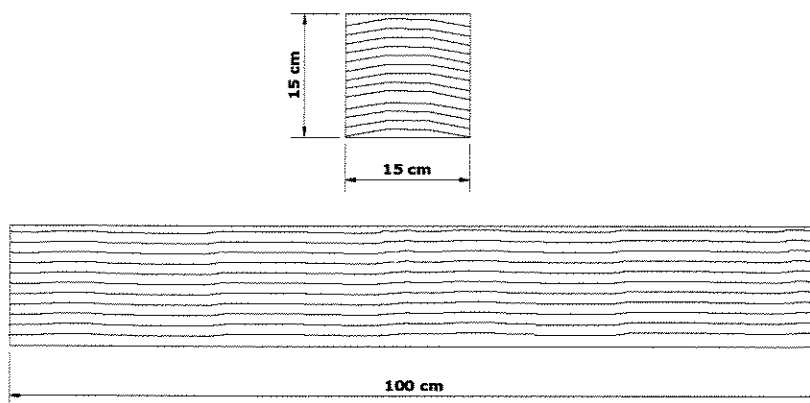


Figura 3.2 - Ilustração da inclinação dos anéis de crescimento na seção transversal e orientação das fibras da madeira longitudinalmente

3.2.6 - Preparação e transporte

As vigas selecionadas foram impermeabilizadas nas suas extremidades com parafina para reduzir perda de umidade. Posteriormente foram embaladas individualmente com plástico e divididas em três lotes. Os lotes foram fixados com fita plástica e encaixotados e transportados para o Canadá. Ao chegarem na Université Laval, as peças foram imediatamente colocadas em uma câmara de congelamento. Todo o procedimento de preparação para o transporte e congelamento imediato das toras foi realizado para manter o teor de umidade acima do ponto de saturação das fibras.

3.2.7 - Confecção dos corpos de prova

As peças foram retiradas uma a uma da câmara de congelamento e desdobradas ainda congeladas para que, também na confecção dos corpos de prova não houvesse perda de umidade.

Primeiramente as peças de eucalipto foram cortadas ao meio obtendo-se duas peças de comprimento 50 cm, uma delas para ser ensaiada na condição verde e a outra na condição seca ao ar. Salienta-se no entanto que para este trabalho, os ensaios foram realizados somente com a madeira verde. Estas peças foram submetidas a uma segunda seleção, levando-se em conta a inclinação dos anéis de crescimento e alinhamento da fibras antes da retirada dos corpos de prova.

As peças foram então esquadrejadas segundo as direções radial e tangencial, cortadas em pranchetas com espessuras de 7 mm, numeradas e imediatamente embaladas com plástico e colocadas em congelador.

Os corpos de prova para o ensaio de determinação da força de corte foram retirados adjacentes aos corpos de prova para o ensaio de determinação da densidade. Este procedimento foi realizado para viabilizar a posterior correlação da força de corte com a densidade (Figuras 3.3 e 3.4).

Após o corte de toda peça em pranchetas, estas foram retiradas uma a uma do congelador e aplainadas em máquina de desgrosso até a espessura final de 6 mm. Posteriormente foram cortadas em serra circular na dimensão final do corpo de prova de 75 x 75 x 6 mm, identificados com o código, embalados e novamente congelados.

Os corpos de prova foram confeccionados para ensaios de corte ortogonal 90-0 e 90-90, nas direções tangencial e radial e para a determinação da densidade básica. A Figura 3.5 mostra o esquema dos corpos de prova segundo cada tipo e direção de corte.

Um programa de codificação foi elaborado para a identificação de cada amostra em cada condição de corte (90-90; 90-0) e também para a densidade básica (D_b). As figuras 3.3 e 3.4 exemplificam esta identificação. As numerações são compostas por seis códigos e têm as seguintes descrições:

- primeiro código: indica a numeração do corpo de prova dentro da espécie
- segundo código : indica a espécie – grandis (g) ; saligna (s) e citriodora (c)
- terceiro código : indica a condição do ensaio – verde (v) ou seco (s)
- quarto código : indica a orientação principal do corpo de prova – tangencial (t) e radial (r)
- quinto código : indica a numeração da prancheta e posicionamento da mesma na peça
- último código : indica a posição do corpo de prova dentro da prancheta

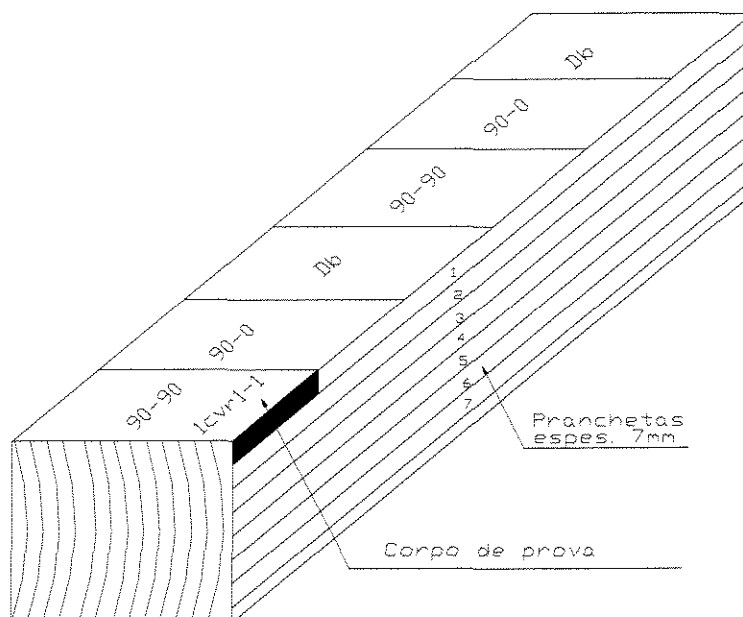


Figura 3.3 - Esquema de corte dos corpos de prova de orientação radial

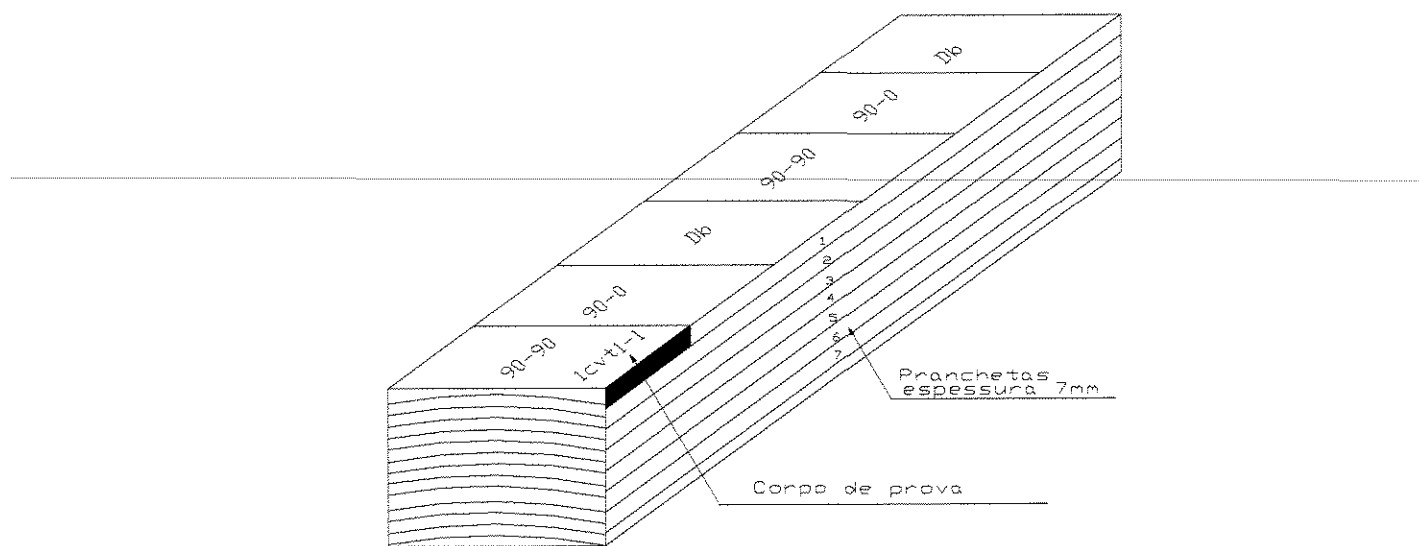


Figura 3.4 - Esquema de corte dos corpos de prova de orientação tangencial

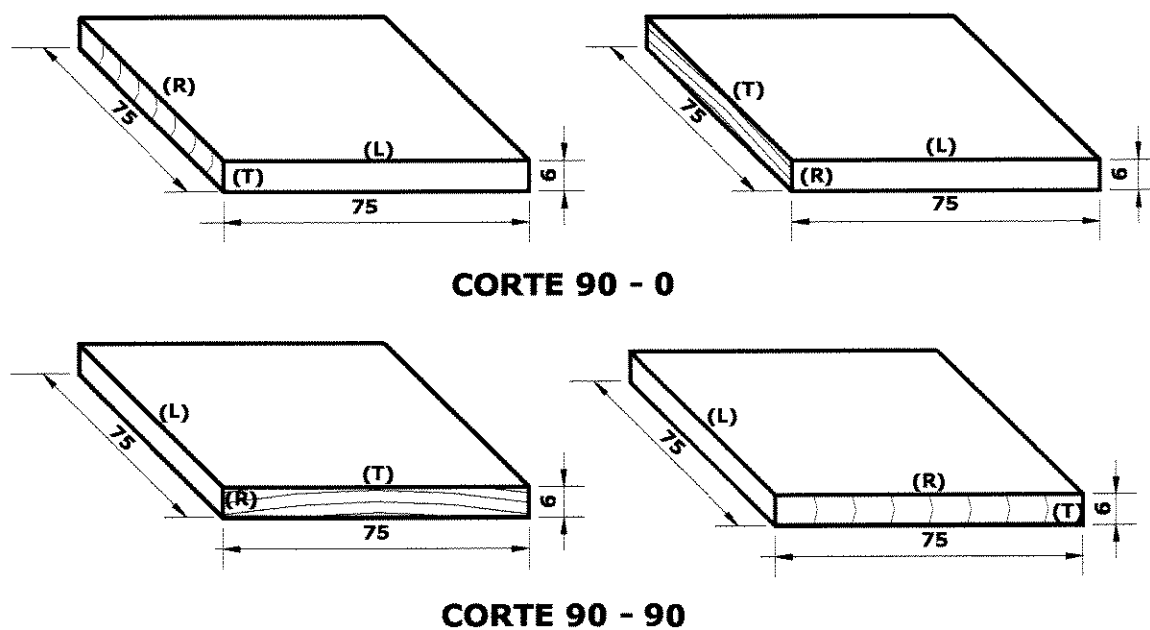


Figura 3.5 - Corte de corpos de prova segundo cada direção e tipos de corte

3.2.8 - Seleção dos corpos de prova de medida de força de corte

Para a realização de cada tipo de ensaio de corte e de densidade básica foram selecionados 20 corpos de prova de diferentes pranchetas dentro de uma mesma peça. A seleção foi feita levando-se em conta a inclinação dos anéis de crescimento, o alinhamento da fibras, defeitos de aplainamento, nós, dimensões finais, esquadrejamento e outras irregularidades. As amostras foram ordenadas segundo a numeração e acondicionadas em umidificadores de onde eram retirados somente no instante do ensaio.

3.2.9 - Calibração do dinamômetro

Uma importante etapa do trabalho foi a calibração do dinamômetro adotado para a leitura das forças pois, a confiabilidade dos resultados está diretamente relacionada à exatidão de leituras do dinamômetro.

A calibração consiste na determinação das curvas de correspondência entre a carga aplicada e a tensão produzida pela deformação do dinamômetro. Através desta relação os valores lidos serão transformados e corrigidos.

São três as componentes ortogonais das forças de corte a serem medidas pelo dinamômetro: Força paralela (F_p), Força normal (F_n) e Força lateral (F_l) (Figura.2.5). Estas forças estão associadas as direções principais de leitura do dinamômetro. A Figura 2.9 mostra a posição do corpo de prova e as direções às quais estarão associadas as forças, F_x , F_y e F_z . O valor da força de corte é sempre maior no sentido do corte (F_p), seguida da força normal (F_n) e lateral (F_l).

Tendo em vista o posicionamento do corpo de prova no equipamento, a F_n seria lida na direção Y. As forças paralela e lateral poderiam ser lidas tanto em X quanto em Z. Juntamente com a calibração foi também feita uma análise para selecionar a direção de leitura da força paralela visando uma melhor precisão. Tendo em vista que a força paralela é mais importante que a força lateral, um estudo prévio foi realizado objetivando a adoção do eixo X ou Z para a leitura desta força, que seria medida na direção que apresentasse maior precisão.

Desta maneira, foi necessária a análise da precisão de leitura do dinamômetro nas três direções. Além da precisão, um outro parâmetro fundamental é a verificação da influência da excentricidade nas leituras pois, durante o corte, a força passará por posições onde haverá excentricidades. A direção mais precisa, portanto, será também aquela que sofra menor influência desta excentricidade.

Diante do exposto, a calibração do dinamômetro foi realizada seguindo as etapas apresentadas a seguir. Todos os resultados da calibração podem ser vistos no anexo.

- a) A determinação das curvas e coeficientes de calibração das direções principais com carga centrada.

Ao dinamômetro foram aplicados carregamentos nas direções X, Y e Z separadamente e com excentricidade zero. As cargas utilizadas tinham valores aferidos e variavam de 4,536 kgf (10 lbf) até 45,359 kgf (100 lbf). O carregamento era aplicado em intervalos de 4,536 kgf (10 lbf) totalizando 10 pontos de leitura.

Para a aplicação do carregamento foi construído um dispositivo constituído de uma placa de aço perfurada, fixada na plataforma do semi-anel (Figura 3.6).

Os carregamentos nas direções X e Z foram aplicados faceando a superfície da plataforma e, nesta etapa, foram fixadas no furo central da placa para que o carregamento fosse sem excentricidade ($e_x = e_z = 0$).

Através de regressão linear dos pontos obtidos foram determinadas as equações de calibração das direções principais. O coeficiente "b" de reta $y = a + bx$ é o coeficiente de calibração. A Figura 3.6 esquematiza o dispositivo utilizado para a calibração e a Figura 3.7 exemplifica esquematicamente a calibração com carga centrada.

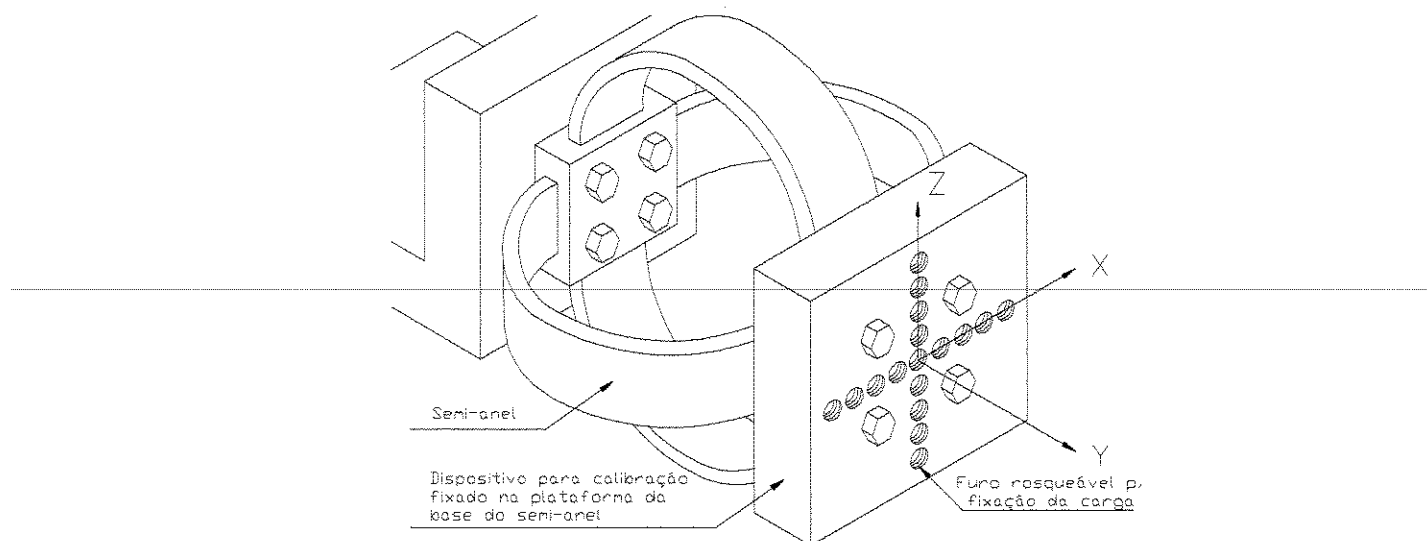


Figura 3.6 – Dinamômetro com placa fixada para efetuar a calibração

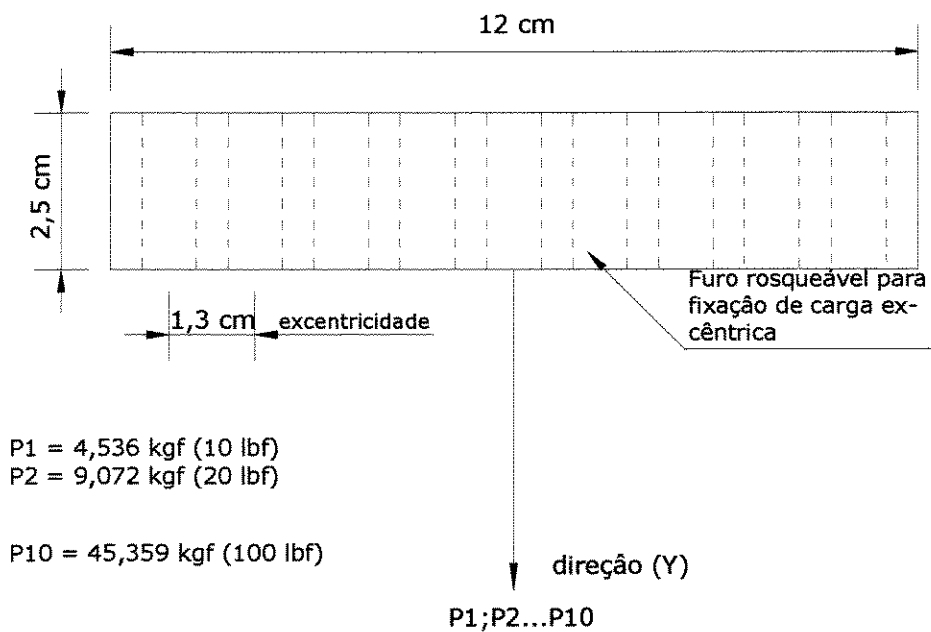


Figura 3.7 - Esquema de calibração com carga centrada

b) Obtenção das curvas e coeficientes de calibração para as direções principais com carga excêntrica;

Com a finalidade de testar a dependência das leituras dos extensômetros 5-8 e 9-12 com relação a aplicação das forças F_Z e F_X e dos extensômetros 1-4 com relação a força F_Y , um

A curva de calibração expressa a relação de linearidade entre as variáveis carga e tensão. Sendo assim, os parâmetros da reta de calibração, coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de variação (cv) podem ser utilizados para a comparação da direção de maior precisão de leitura.

A influência da excentricidade na leitura pode ser feita através das diferenças obtidas na calibração com carga centrada e carga excêntrica.

Com base nas tabelas e gráficos apresentados no anexo, verifica-se que os coeficientes de determinação obtidos para todas as direções foram próximos de 1 ou seja, elevada correlação. A direção Z apresentou um menor coeficiente de variação da reta de calibração, no entanto, mostrou-se muito sensível à excentricidade, tanto quando a excentricidade de carregamento era na direção X quanto quando na direção Z.

Sendo assim, optou-se pela adoção da direção X para a leitura da força paralela, ficando a direção Z para a leitura da força lateral e a direção Y para a força normal.

d) Verificação da carta de aquisição de dados através de leituras comparativas no voltímetro;

Visando a verificação das leituras da carta de aquisição de dados, os valores de tensão eram lidos tanto na carta de aquisição quanto em um voltímetro, para cada direção. A comparação dos valores nominais apontaria para a existência de discrepâncias de leitura e a comparação dos coeficientes estatísticos das retas de calibração (R^2 e cv) permitiriam avaliar a precisão da carta de aquisição com relação ao voltímetro.

Através dos resultados de calibração com carga centrada, podemos comparar as leituras na carta de aquisição de dados com as leituras no voltímetro para as direções principais do dinamômetro. As leituras na carta de aquisição apresentaram-se mais precisas em relação as leituras do voltímetro em todas as direções principais do dinamômetro.

As leituras na carta de aquisição nas direções Y e Z apresentaram menor coeficiente de variação 0,18 % e 0,19 % respectivamente seguidas da direção X com coeficiente de variação 0,25 %.

3.2.10 - Ensaios preliminares

Antes da realização dos ensaios principais foram necessárias diversas etapas de trabalho para a definição de importantes parâmetros, bem como para uma avaliação inicial do comportamento geral do ensaio.

Os intervalos de valores a serem utilizados na pesquisa, relacionados ao ângulo de ataque e a espessura de corte foram definidos com base na revisão de literatura. Tendo em vista que não se possuía valores de forças de corte para o eucalipto, era necessário basear-se em trabalhos anteriores, mesmo que com outras espécies para a pré definição destes parâmetros bem como para a análise comparativa de resultados.

Outros parâmetros, tais como o tipo de ferramenta de corte a ser utilizada em cada caso e, a adaptação e verificação do funcionamento do dinamômetro e da carta de aquisição de dados ante a magnitude da força de corte, poderiam ser encontrados durante ensaios preliminares.

Estas definições seriam imprescindíveis para a posterior construção dos dispositivos de fixação do corpo de prova no dinamômetro e das ferramentas de corte na fresadora.

Uma sequência de ensaios preliminares permitiu identificar a magnitude da força de corte, bem como mostrou a necessidade de se tratar de maneira diferenciada o corte ortogonal 90-0 e o 90-90.

Os ensaios de corte ortogonal 90-0 mostraram que era possível utilizar, para as espécies de eucalipto adotadas, ferramenta de corte semelhante às utilizadas em trabalhos estudados durante a revisão bibliográfica, ou seja, uma faca de ângulo $\beta = 30^\circ$ (figura 3.9).

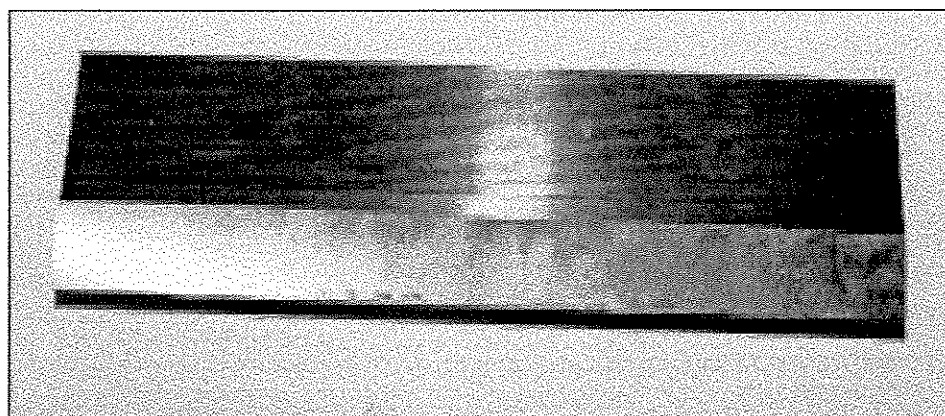


Figura 3.9- Ferramenta de corte tipo faca utilizada no corte 90-0

No corte ortogonal 90-90, os ensaios preliminares mostraram uma grande dificuldade de obtenção de boa qualidade de cavaco e de superfície com a utilização da faca. Estes problemas

afetariam os resultados das forças nesta direção, e por esta razão, optou-se pelo uso de uma ferramenta de corte tipo dente (Figura 3.10).

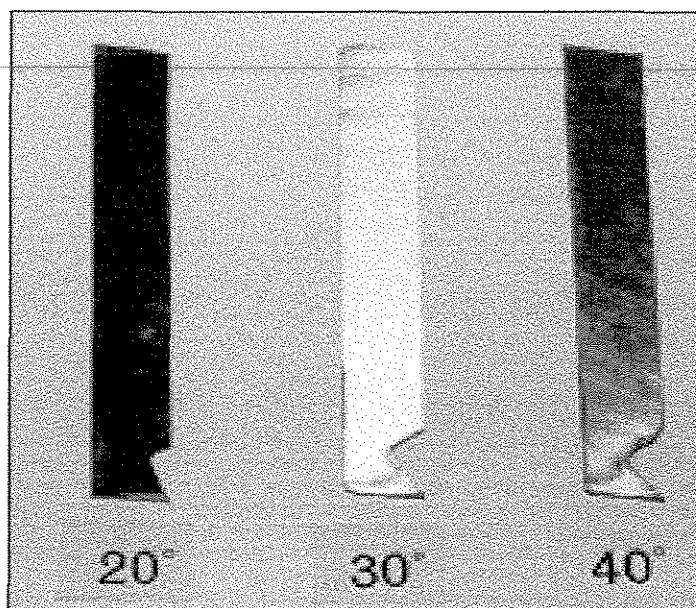


Figura 3.10- Ferramenta de corte tipo dente utilizada no corte 90-90

Para a obtenção de valores mais homogêneos e confiáveis, decidiu-se pela execução de duas passadas, ou dois cortes, para cada uma das espessuras. Este procedimento possibilitaria a redução de eventuais erros, por exemplo de regulagem da espessura de corte. Para o corte 90-90 verificou-se ainda a necessidade ou não da correção de superfície entre a primeira e a segunda passada, ou dois cortes, para cada uma das espessuras.

No entanto, seria imprescindível garantir que a segunda passada não fosse afetada por defeitos ocasionados pela primeira.

Tendo em vista estas observações, foram executados ensaios preliminares adicionais específicos para o corte ortogonal 90-90:

a) comparação de dois tipos de instrumento de corte: faca e dente

Observou-se que, quando o corte era realizado com a faca, cortando toda a largura do corpo de prova, a superfície não ficava uniformemente cortada. As fibras da madeira localizadas nas bordas se flexionavam lateralmente sem cortar-se na espessura desejada, fazendo com que o

corte somente fosse efetivo, ao nível de espessura, nas fibras localizadas na região central do corpo de prova. Este efeito faria com que o valor das forças de corte fossem subestimados. Outros autores também comentam a dificuldade da realização de ensaio de corte ortogonal 90-90 usando toda a largura do corpo de prova. A faca produz rupturas abaixo da linha de corte tal como foi encontrado também por MacKenzie (1960) e Woodson (1979). A utilização do dente promoveu um corte mais efetivo e homogêneo das fibras tendo sido, desta maneira, adotado para a execução dos ensaios principais de corte ortogonal 90-90. Alerta deve ser feita ao fato de que a utilização do dente poderia produzir forças laterais maiores, provenientes do atrito entre as faces laterais da ranhura de corte e a face do dente.

b) Verificação do efeito de cortes consecutivos (passadas) na força obtida.

Com a utilização do dente como ferramenta de corte, este ensaio preliminar foi realizado com as seguintes condições: três passadas para cada ângulo de ataque e espessura de corte. Ângulos de ataque de 20°, 30° e 40° e espessuras de corte 0,38; 0,76; 1,14 e 1,52 mm. Entre as passadas na mesma espessura não havia correção da superfície. Antes da realização do ensaio com outra espessura, a superfície era corrigida utilizando uma serra radial tipo destopadeira (Figura 3.11).

A análise da variação do valor da força de corte paralela entre a primeira e segunda passada e primeira e terceira passada, evidenciou o efeito das microfissuras ocasionadas durante o primeiro corte. A diferença entre a primeira passada e as subsequentes, aumentou à medida que se aumentou a espessura de corte pois o aumento das forças produz também um agravamento nos danos ocasionados na superfície de corte (microfissuras).

Esta observação tornou evidente a necessidade de realizar-se uma correção da superfície entre as passadas. Para verificar se a correção da superfície reduziria os problemas de variação das forças de corte entre as passadas, um outro ensaio preliminar foi executado. Este ensaio se realizou nas seguintes condições: corte ortogonal 90-90, utilização de dente, duas passadas, ângulo de ataque de 20° e espessura de corte de 0.38 mm e 5 repetições. Primeiramente o ensaio foi feito sem correção da superfície entre a primeira e segunda passada e posteriormente repetido com correção da superfície.

Através da comparação da variação do valor da força de corte paralela entre a primeira e segunda passada sem correção e com correção concluiu-se que a mesma reduziria as diferenças de 19,5% em média (sem correção) para 1,9% (com correção).

Tendo em vista este resultado, optou-se por corrigir a superfície entre as passadas nos ensaios principais, utilizando uma serra radial de precisão, do tipo destopadeira conforme mostra a Figura 3.11.

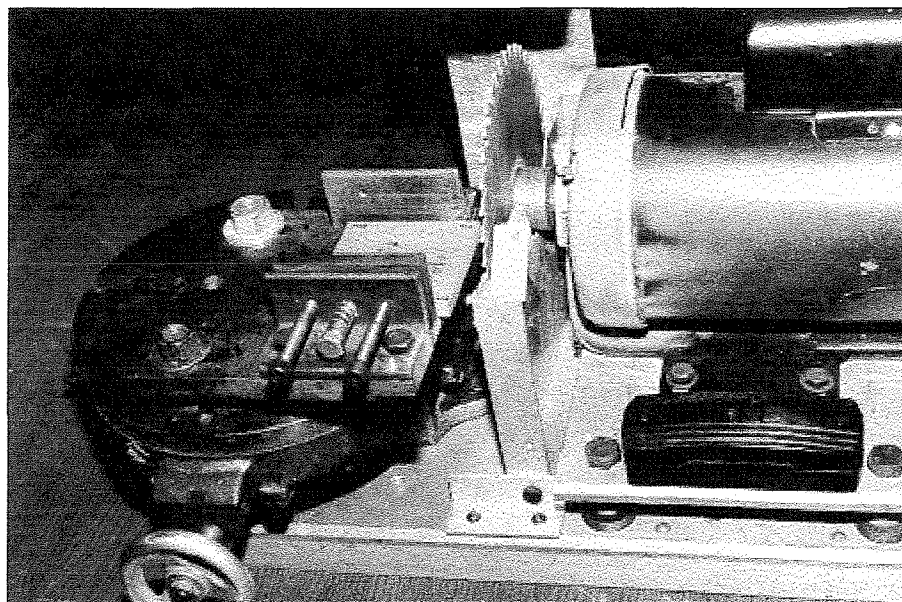


Figura – 3.11- Serra radial do tipo destopadeira utilizada para corrigir a superfície irregular dos corpos de prova

3.2.11 - Ensaios principais

Os ensaios para a medida das forças de corte foram realizados nas direções 90-0 e 90-90. Em ambos os casos, quatro espessuras de corte foram utilizadas: 0,38; 0,76; 1,14 e 1,53 mm (0,015; 0,030; 0,045 e 0,060 polegadas). Os ângulos de ataque utilizados foram: 20°, 30° e 40° para o corte 90-90 e 10°, 20° e 30° para 90-0. A velocidade de corte foi de 30 mm/minuto. Duas passadas consecutivas foram efetuadas para cada espessura de corte, para a obtenção de uma melhor estimativa do valor médio. A cada passada, em corte 90-90, a região afetada dos corpos de prova era corrigida com a serra radial (Figura 3.11). Durante o ensaio de corte, as forças foram simultaneamente registradas nas três direções principais, chamadas de direções paralela,

normal e lateral, utilizando a carta de aquisição de dados. A taxa de aquisição foi fixada em 25 pontos/segundo.

A cada 160 ensaios realizados, que correspondia aos ensaios de 20 corpos de prova em todas as condições, era verificada a calibração do dinamômetro. Para isto, se aplicava ao dinamômetro um carregamento de 45,359 kgf (100 lbf) nas três direções de corte. A leitura realizada na carta de aquisição permitia a verificação da calibração. Além da verificação da calibração, neste momento também eram verificadas a tensão de alimentação da carta de aquisição de dados, a estabilidade de leitura do equipamento e o funcionamento dos extensômetros.

Tendo em vista que a largura da faca de corte era bem maior que a largura do corpo de prova (6 mm), para o corte ortogonal 90-0, a cada 80 ensaios, mudava-se a posição da faca de maneira que o corpo de prova se situasse em uma região do fio ainda não utilizado (sem desgaste). Este procedimento visou diminuir a interferência do desgaste da faca nos valores das forças de corte, já que o desgaste seria uniforme durante a realização do ensaio.

Uma importante etapa do corte 90-0 foi a observação da qualidade da superfície e do tipo de cavaco obtido durante a execução de cada um dos ensaios. Para cada ensaio, anotava-se detalhadamente o tipo (ou tipos) de cavaco obtido. Os cavacos foram guardados com as anotações do ensaio para posterior análise. Foram também fotografados os cavacos obtidos em cada ângulo de ataque e espessura de corte para cada uma das espécies para facilitar a posterior análise.

Nos ensaios de corte ortogonal 90-90, a cada 160 ensaios os dentes eram retirados e afiados. Neste momento, a largura do fio de corte era medida com um paquímetro digital de 0,001 mm de precisão. Este valor era anotado para que ao final do ensaio obtivesse o valor médio de largura para cada ângulo pois, com o desgaste do fio de corte esta largura era afetada com pequenas variações. A largura média do fio de corte para o dente de 20° foi de 2,32 mm, para o dente de 30° foi de 2,30 mm e para o de 40° de 2,36 mm.

No total foram realizados 5760 ensaios nas condições de corte especificadas.

3.2.12 - Medidas de densidade

Os corpos de prova pareados longitudinalmente àqueles utilizados na medida de força de corte serviram para determinar a densidade e o teor de umidade da madeira. A medida do volume verde foi feita através da pesagem do corpo de prova pelo método de deslocamento de água (medido com precisão de 0,01g). O teor de umidade dos corpos de prova antes da imersão variou de 81% a 120% para o eucalipto grandis, de 63% a 99% para o eucalipto saligna e de 35% a 47% para o eucalipto citriodora. Estas umidades foram suficientes para assegurar que o volume dos corpos de prova alcançaram o valor máximo. A massa seca (0%) foi obtida através da secagem em estufa, por 24 horas à $103 \pm 2^{\circ}$ C. O peso destes foram registrados com precisão de 0.001g depois dos mesmos serem resfriados à temperatura ambiente, em pentóxido de fósforo. A densidade básica foi então calculada através da relação peso seco/volume verde.

3.2.13 – Umidade

Conforme descrito no item 3.2.12 o teor de umidade dos corpos de prova no ensaio de força de corte foi de 81% a 120% para o eucalipto grandis, 63% a 99% para o saligna e de 35% a 47% para o citriodora.

4. RESULTADOS

Os resultados das forças de corte médias, obtidas segundo a metodologia descrita no capítulo 3, item 3.11, foram sumarizados nas tabelas de 4.1 a 4.8. As tabelas de 4.1 a 4.4 apresentam os valores das forças paralelas (4.1 e 4.2) e normal (4.3 e 4.4) obtidas no corte ortogonal 90-0 enquanto que as tabelas de 4.5 a 4.8 apresentam as forças paralelas (4.5 e 4.6) e normal (4.7 e 4.8) obtidas no corte ortogonal 90-90.

As tabelas apresentam o valor médio das forças mínimas, médias e máximas. Cada valor representa a média das vinte repetições, considerando a média das duas passadas em cada repetição. Para a força paralela tem-se o coeficiente de variação (cv %) das vinte repetições para a força mínima, média e máxima. Para a força normal optou-se pela apresentação do desvio padrão (s) das vinte repetições para a força mínima, média e máxima tendo em vista que, como os valores da força normal são muitas vezes próximos de zero, o coeficiente de variação não permite a visualização clara da variabilidade real dos resultados.

As tabelas de 4.1 a 4.4, referentes ao corte ortogonal 90-0, apresentam ainda os tipos de cavacos obtidos em cada espessura de corte e ângulo de ataque. Neste caso, foram indicadas a formação de apenas um dos tipos (I, II ou III) quando o mesmo se repetia de 98% a 100% dos casos nas 20 repetições e duas passadas. Quando havia a mistura de cavacos com pequena vantagem para um deles, representou-se na tabela todo os tipos observados, com um símbolo “+” naquele que apresentou maior número de observações. Quando havia a predominância (mais de 80%) de um tipo de cavaco, no entanto apareciam esporádicos casos de outros tipos, indicou-se os cavacos menos representativos entre parênteses.

As figuras 4.1, 4.2 e 4.3 apresentam exemplos representativos dos três tipos de cavacos obtidos durante os ensaios.

Para uma melhor visualização dos resultados tabelados, foram elaborados gráficos das forças em função da espessura de corte, bem como das forças em função da densidade básica. As figuras de 4.4 a 4.147 apresentam estes gráficos. Das figuras 4.4 a 4.75 são apresentados os gráficos referentes ao corte ortogonal 90-0 e das figuras 4.75 a 4.147 os gráficos referentes ao corte ortogonal 90-90. Os valores plotados correspondem à média das 20 repetições, conforme apresentada nas tabelas.

Os resultados dos ensaios de densidade básica e do teor de umidade para as três espécies foram sumarizados nas tabelas 4.9 e 4.10. A Tabela 4.9 apresenta os valores médios correspondentes ao ensaio dos corpos de prova tangenciais e a Tabela 4.10 os valores médios correspondentes ao ensaio dos corpos de prova radiais.

Durante a realização do ensaio, os valores das forças foram sendo registrados e graficados nas três direções principais de maneira simultânea, conforme consta na metodologia.

Os valores mínimo, médio e máximo das forças de corte, tabelados em 4.1 à 4.8, foram obtidos através do tratamento destes gráficos, proveniente da carta de aquisição de dados. As figuras 4.148, 4.149, 4.150 e 4.152 apresentam exemplos destes registros para quatro corpos de prova em diferentes condições sendo as três primeiras para o corte ortogonal 90-0 e a quarta para o corte ortogonal 90-90. A Figura 4.151 mostra o cavaco obtido para o caso do corte ortogonal 90-90.

Tabela 4.1 – Valores da força de corte paralela – F_p (N/mm)* e tipos de cavacos obtidos em corte ortogonal 90-0 na direção tangencial em função da espessura de corte (e) e ângulo de ataque (α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada.

e (mm)	$\alpha = 10^\circ$							$\alpha = 20^\circ$							$\alpha = 30^\circ$						
	Eucalipto grandis																				
	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx	Cv(%)	cavaco
0,38	11,6	11,8	13,9	10,1	15,8	9,9	III	9,4	10,6	11,2	7,9	12,7	8,0	II e III	7,2	12,1	9,1	7,2	10,6	6,4	II
0,76	19,0	14,4	23,6	8,5	27,3	8,6	III	15,8	13,2	20,7	8,9	24,4	7,2	III	8,3	25,0	14,5	8,7	19,1	5,6	II
1,14	25,0	18,9	33,6	10,4	39,3	9,8	III	18,9	14,2	29,3	8,5	36,0	7,7	III	7,2	15,8	17,0	11,9	27,3	6,8	I
1,52	31,5	25,3	43,7	10,7	51,6	10,1	III	19,0	16,5	36,9	9,1	47,9	8,3	III (II)	7,3	19,8	17,5	13,4	34,4	6,9	I
	Eucalipto saligna																				
e (mm)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx	Cv(%)	cavaco
0,38	17,0	15,2	19,8	18,2	22,3	19,7	III	13,3	23,7	15,7	13,5	17,6	11,1	II	9,9	11,9	12,7	6,8	14,6	5,9	II
0,76	27,4	13,8	34,9	14,0	40,4	15,2	III	20,3	16,2	29,4	8,9	34,2	8,7	II	9,3	19,0	19,8	8,9	27,2	7,8	I
1,14	34,5	11,9	51,0	9,5	61,3	11,2	III	20,3	22,1	40,0	11,1	51,7	9,9	+I e II	8,5	27,6	22,4	10,8	38,9	10,0	I
1,52	37,7	14,0	63,7	9,3	81,6	12,3	III	16,6	23,2	43,4	10,5	67,4	9,7	I	9,0	28,9	25,3	12,0	48,9	9,5	I
	Eucalipto citriodora																				
e (mm)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx	Cv(%)	cavaco
0,38	20,8	11,0	25,0	9,2	28,7	8,0	III	16,5	17,5	21,0	8,4	24,9	7,5	II	8,9	30,9	16,3	9,8	21,8	8,4	II
0,76	37,1	20,2	46,8	11,0	54,0	9,6	III	26,4	29,7	39,1	12,2	46,7	8,8	II	9,8	47,2	24,7	20,0	38,0	9,1	I
1,14	48,3	19,4	66,4	10,4	77,6	9,2	III	33,0	37,4	53,0	15,4	66,6	9,1	I e II+	10,5	58,5	29,2	26,2	50,4	11,7	I
1,52	56,6	22,1	84,8	11,1	101,6	9,0	III	34,2	44,9	62,2	21,9	83,8	10,5	I (II)	10,6	57,4	31,8	34,5	61,5	13,6	I

*cada valor corresponde à média de 20 repetições

ângulo livre para os respectivos ângulos de ataque $\gamma = 50^\circ$ ($\alpha = 10^\circ$); $\gamma = 40^\circ$ ($\alpha = 20^\circ$); $\gamma = 30^\circ$ ($\alpha = 30^\circ$)

ângulo da faca - $\beta = 30^\circ$

Velocidade de corte = 30 mm/minuto

Tabela 4.2 – Valores da força de corte paralela – F_p (N/mm)^{*} e tipos de cavacos obtidos em corte ortogonal 90-0 na direção radial em função da espessura de corte (e) e ângulo de ataque (α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada.

e (mm)	$\alpha = 10^\circ$							$\alpha = 20^\circ$							$\alpha = 30^\circ$						
	Eucalipto grandis																				
	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco
0,38	12,2	11,5	15,0	10,4	17,6	10,4	III	9,9	11,1	11,8	9,5	13,7	6,8	II	7,5	19,1	9,0	15,8	10,5	13,1	II
0,76	20,5	15,4	27,5	10,4	33,2	10,8	+III,II	18,1	9,6	22,7	8,0	26,9	8,4	II	13,4	17,7	16,8	13,6	19,6	12,2	II
1,14	27,6	16,3	39,6	9,8	48,0	10,3	III (II)	23,3	12,1	31,3	7,3	38,3	7,5	II (I)	15,3	19,3	23,5	10,9	28,8	9,9	+II,I
1,52	31,9	22,5	50,6	9,1	61,6	10,3	III	28,4	15,2	40,9	8,8	50,1	11,9	I,II,III	14,7	34,3	28,8	9,5	37,3	6,7	I,II+
	Eucalipto saligna																				
e (mm)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx	Cv(%)	cavaco	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx	Cv(%)	cavaco
0,38	16,5	10,1	19,5	11,1	22,5	12,1	II	14,2	12,4	16,7	10,2	19,0	9,8	II	10,6	12,4	13,4	10,2	16,4	9,8	II
0,76	29,5	9,7	37,0	7,9	43,7	8,1	+II, III	24,2	52,1	31,4	14,1	37,1	9,1	II	8,2	52,1	20,5	14,1	30,1	9,1	I,II+
1,14	39,3	15,6	52,6	7,4	64,7	8,0	III I,II)	28,5	53,6	43,8	25,2	54,3	7,4	I,I,III+	3,4	53,6	17,0	25,2	44,6	7,4	I
1,52	49,9	37,1	68,8	10,6	84,1	8,4	III	26,7	60,8	53,0	22,3	71,2	8,2	I,II,II+	3,2	60,8	15,1	22,3	56,6	8,2	I
	Eucalipto citriodora																				
e (mm)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx	Cv(%)	cavaco	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	cavaco
0,38	26,4	14,7	30,7	10,1	34,2	9,9	II	14,0	49,2	23,6	14,4	28,3	12,1	II	5,3	51,6	12,9	18,8	20,6	7,8	II
0,76	41,2	20,4	55,1	10,4	63,4	9,6	III	10,6	82,0	34,0	23,1	50,4	10,2	I (II)	3,8	34,9	15,7	19,4	34,5	14,4	I
1,14	52,6	24,0	76,7	10,6	91,1	10,0	III	5,9	46,4	33,0	24,6	70,7	10,6	I	5,3	34,8	19,3	17,4	47,5	12,7	I
1,52	59,3	29,9	99,5	9,9	124,3	5,6	III	7,3	37,7	36,8	20,5	88,8	11,4	I	6,3	35,4	21,7	13,4	61,4	17,0	I

*cada valor corresponde à média de 20 repetições

ângulo livre para os respectivos ângulos de ataque $\gamma = 50^\circ$ ($\alpha = 10^\circ$); $\gamma = 40^\circ$ ($\alpha = 20^\circ$); $\gamma = 30^\circ$ ($\alpha = 30^\circ$)

ângulo da faca - $\beta = 30^\circ$

Velocidade de corte = 30 mm/minuto

Tabela 4.3 – Valores da força de corte normal – F_n (N/mm)* e tipos de cavacos obtidos em corte ortogonal 90-0 na direção tangencial em função da espessura de corte (e) e do ângulo de ataque (α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada .

e (mm)	$\alpha = 10^\circ$							$\alpha = 20^\circ$							$\alpha = 30^\circ$						
	Eucalipto grandis																				
	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco
0,38	4,5	1,0	5,8	1,2	6,9	1,5	III	1,5	0,3	2,1	0,4	2,7	0,5	II e III	0,2	0,7	0,8	1,0	1,4	1,4	II
0,76	6,5	1,1	8,1	1,3	9,5	1,6	III	1,9	0,5	2,8	0,6	3,7	0,7	III	-0,6	0,9	0,4	1,1	1,3	1,3	II
1,14	8,1	1,4	10,5	1,4	12,6	1,9	III	2,0	0,6	3,3	0,7	4,5	0,8	III	-1,4	1,0	0,1	1,1	1,3	1,3	I
1,52	9,7	1,9	13,0	1,3	15,6	1,8	III	2,2	0,6	3,6	0,7	5,2	0,8	III (II)	-2,0	1,1	0,2	1,1	1,4	1,3	I
	Eucalipto saligna																				
e (mm)	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco
0,38	4,7	1,4	5,7	1,4	6,7	1,4	III	1,0	0,8	1,6	0,9	2,1	0,9	II	-0,9	0,5	-0,3	0,5	0,2	0,4	II
0,76	7,9	1,2	9,5	1,3	10,8	1,5	III	1,4	0,9	2,3	1,0	3,3	1,1	II	-2,3	0,9	-1,1	0,6	0,3	0,2	I
1,14	10,4	1,6	12,9	1,4	14,9	1,6	III	1,2	0,9	2,5	0,9	3,9	1,0	+I e II	-3,8	1,0	-1,4	0,6	0,4	0,2	I
1,52	11,1	1,7	15,6	1,6	18,7	1,7	III	1,0	0,9	2,9	0,9	4,7	1,1	I	-5,1	1,1	-1,7	0,5	0,4	0,6	I
	Eucalipto citriodora																				
e (mm)	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco
0,38	4,0	0,8	5,4	0,9	6,8	1,2	III	0,4	0,8	1,6	0,9	2,9	1,1	II	-1,9	1,2	-0,2	1,2	1,8	1,5	II
0,76	5,6	1,4	7,6	1,3	9,5	1,5	III	-1,0	1,3	0,7	1,4	2,5	1,5	II	-5,3	1,6	-2,0	1,5	1,1	1,5	I
1,14	7,2	2,2	9,8	2,3	12,2	2,5	III	-2,4	1,7	-0,1	1,7	2,0	1,8	I e II+	-7,9	2,2	-3,2	2,1	0,5	1,8	I
1,52	8,0	2,8	11,7	2,9	15,0	3,2	III	-3,6	2,0	-0,7	2,0	2,1	2,1	I (II)	-10,9	3,0	-4,1	3,0	0,3	1,9	I

*cada valor corresponde à média de 20 repetições

ângulo livre para os respectivos ângulos de ataque $\gamma = 50^\circ$ ($\alpha = 10^\circ$); $\gamma = 40^\circ$ ($\alpha = 20^\circ$); $\gamma = 30^\circ$ ($\alpha = 30^\circ$)

ângulo da faca - $\beta = 30^\circ$

Velocidade de corte = 30 mm/minuto

Uma força normal negativa indica que a faca de corte tende a levantar ou puxar a peça de madeira e uma força

Normal positiva indica que a faca de corte tende a pressionar ou empurrar a peça de madeira

Tabela 4.4 – Valores da força de corte normal – F_n (N/mm)^{*} e tipos de cavacos obtidos em corte ortogonal 90-0 na direção radial em função da espessura de corte (e) e ângulo de ataque (α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada.

e (mm)	$\alpha = 10^\circ$							$\alpha = 20^\circ$							$\alpha = 30^\circ$						
	Eucalipto grandis																				
	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco
0,38	5,2	0,5	6,9	0,6	8,5	0,9	III	2,8	0,5	3,9	0,5	5,3	1,1	II	1,1	0,5	2,2	0,8	3,2	1,2	II
0,76	7,6	1,2	10,5	0,6	13,1	0,9	+III,II	3,8	0,3	5,2	0,4	6,8	1,0	II	0,4	0,5	1,9	0,9	3,5	1,4	II
1,14	10,1	1,6	13,5	1,2	17,0	1,3	III (II)	4,3	0,7	6,1	0,5	8,1	1,0	II (I)	0,0	0,9	1,6	1,1	3,6	1,5	+II,I
1,52	11,1	2,3	16,9	1,1	21,7	1,3	III	4,6	0,7	6,9	0,8	9,3	1,2	I,II+III	-0,8	0,7	1,3	0,9	3,4	1,2	I,II+
Eucalipto saligna																					
e (mm)	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco
0,38	4,6	0,7	5,5	0,7	6,5	0,8	II	1,8	0,4	2,4	0,3	3,0	0,4	II	-0,6	0,4	0,1	0,5	0,7	0,5	II
0,76	8,0	1,0	9,6	1,1	11,2	1,2	+II, III	2,1	0,6	3,3	0,6	4,5	0,5	II	-2,5	0,8	-0,8	0,5	0,6	0,4	I,II+
1,14	10,3	2,4	12,8	1,8	15,2	1,7	III (I,II)	1,9	1,0	3,9	0,8	5,6	0,7	I, II,III+	-4,5	0,7	-0,8	0,5	0,7	0,4	I
1,52	12,4	3,0	15,9	2,4	18,7	2,1	III	1,4	1,2	4,2	0,9	6,4	0,9	I,II,III+	-5,8	0,9	-0,6	0,4	1,3	1,2	I
Eucalipto citriodora																					
e (mm)	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	cavaco
0,38	4,5	1,6	6,1	1,3	7,3	1,4	II	0,0	1,2	1,2	0,9	2,3	0,8	II	-2,6	0,5	-1,1	0,4	0,2	0,5	II
0,76	6,6	2,9	9,3	2,3	11,3	2,3	III	-1,6	1,7	0,8	1,3	2,6	1,2	I (II)	-5,4	0,5	-1,7	0,3	0,2	0,3	I
1,14	8,8	3,2	12,1	3,0	14,7	3,0	III	-2,5	1,6	0,5	1,2	2,6	1,4	I	-7,2	0,9	-2,1	0,5	1,8	4,1	I
1,52	8,6	3,3	14,6	3,0	18,6	2,9	III	-3,0	1,7	0,9	0,9	4,9	5,3	I	-9,6	1,2	-2,1	0,7	2,3	3,8	I

*cada valor corresponde à média de 20 repetições

ângulo livre para os respectivos ângulos de ataque $\gamma = 50^\circ$ ($\alpha = 10^\circ$); $\gamma = 40^\circ$ ($\alpha = 20^\circ$); $\gamma = 30^\circ$ ($\alpha = 30^\circ$)

ângulo da faca - $\beta = 30^\circ$

Velocidade de corte = 30 mm/minuto

Uma força normal negativa indica que a faca de corte tende a levantar ou puxar a peça de madeira e uma força

Normal positiva indica que a faca de corte tende a pressionar ou empurrar a peça de madeira

Tabela 4.5 – Valores da força de corte paralela – F_p (N/mm)* obtidos em corte ortogonal 90-90 na direção tangencial em função da espessura de corte (e) e ângulo de ataque (α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada.

e (mm)	$\alpha = 20^\circ$						$\alpha = 30^\circ$						$\alpha = 40^\circ$					
Eucalipto grandis																		
	Mín	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)
0,38	17,5	11,9	20,1	9,2	22,7	9,8	15,6	13,6	18,0	8,7	20,1	8,3	13,5	14,5	15,9	7,8	18,0	7,1
0,76	32,3	10,5	36,5	10,1	40,7	11,1	26,7	11,7	30,6	11,1	34,4	10,3	21,9	13,2	25,5	9,7	29,1	9,3
1,14	45,9	14,7	51,8	13,4	57,9	13,4	37,9	13,2	43,6	10,6	49,7	10,2	30,5	12,5	35,7	10,1	41,5	8,9
1,52	62,0	16,1	71,0	12,1	79,6	11,3	49,7	13,7	58,4	10,4	66,5	8,9	40,0	14,7	46,5	12,9	53,8	11,1
Eucalipto saligna																		
e (mm)	Mín	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)
0,38	22,9	26,5	26,9	25,6	31,5	26,0	18,5	11,3	21,8	9,8	25,8	8,6	15,3	13,6	18,4	10,8	22,0	11,6
0,76	46,5	23,4	53,5	22,3	61,8	22,5	36,0	14,4	42,3	13,0	49,6	12,7	24,7	9,3	29,7	7,4	35,3	8,2
1,14	72,3	17,2	82,7	16,3	95,0	17,3	55,1	10,5	64,7	11,0	75,0	11,3	42,6	12,9	50,4	11,6	58,9	11,4
1,52	99,1	15,0	112,1	15,3	127,0	16,1	67,5	12,1	78,9	12,4	91,3	12,0	54,8	10,5	66,8	11,2	78,2	11,0
Eucalipto citriodora																		
e (mm)	Mín	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)
0,38	42,4	13,7	51,4	14,9	63,3	15,3	31,1	7,5	38,2	9,0	45,7	11,1	24,0	10,8	30,2	9,5	36,7	10,1
0,76	88,8	10,6	108,1	10,4	126,2	11,5	62,4	8,7	78,0	10,4	93,3	11,4	51,6	9,8	63,3	8,2	74,9	8,1
1,14	122,5	8,9	157,4	8,7	184,1	8,7	93,8	9,7	120,1	9,3	141,5	9,7	73,5	14,2	94,3	11,4	113,3	11,0
1,52	146,7	10,3	196,6	6,7	228,5	8,0	117,8	11,7	154,6	10,3	183,6	10,7	93,3	11,2	120,8	9,8	145,5	11,4

*cada valor corresponde à média de 20 repetições

Ângulos do dente para os respectivos ângulos de ataque $\beta = 63^\circ$ ($\alpha = 20^\circ$); $\beta = 53^\circ$ ($\alpha = 30^\circ$); $\beta = 43^\circ$ ($\alpha = 40^\circ$)

ângulo livre - $\gamma = 7^\circ$ para todos os casos

Velocidade de corte = 30 mm/minuto

Tabela 4.6 – Valores da força de corte paralela – F_p (N/mm)* obtidos em corte ortogonal 90-90 na direção radial em função da espessura de corte (e) e ângulo de ataque (α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada .

e (mm)	$\alpha = 20^\circ$						$\alpha = 30^\circ$						$\alpha = 40^\circ$					
Eucalipto grandis																		
	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)
0,38	16,2	9,4	20,8	4,0	26,7	7,4	13,5	10,7	16,7	4,2	20,8	7,7	11,1	6,7	13,9	4,0	17,8	8,8
0,76	28,3	23,7	38,1	6,1	48,1	7,3	24,1	8,4	30,1	4,9	38,3	5,6	19,6	5,3	24,6	5,0	31,9	9,7
1,14	46,3	8,5	56,6	4,5	69,6	6,9	35,3	4,8	43,1	3,5	53,6	5,1	27,9	10,2	36,1	5,4	47,4	8,5
1,52	62,3	14,3	76,4	7,8	92,9	6,9	45,9	6,4	55,5	4,3	67,6	4,7	36,4	10,5	46,2	6,2	59,9	9,7
Eucalipto saligna																		
e (mm)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)
0,38	24,3	9,2	31,0	5,7	40,3	8,8	20,2	7,0	26,0	5,4	33,9	5,4	15,6	8,1	20,7	5,0	28,0	7,0
0,76	50,2	6,6	61,5	4,5	76,5	4,7	38,0	11,2	49,1	7,6	62,9	7,5	32,1	10,9	41,8	8,9	54,6	10,5
1,14	76,8	6,5	91,8	4,9	111,7	3,9	55,4	7,0	68,2	4,4	84,9	5,5	45,6	9,6	58,3	5,1	73,4	6,1
1,52	103,1	7,2	120,2	5,0	141,7	5,3	81,9	6,8	101,1	3,9	123,1	4,4	60,9	5,6	75,8	4,5	93,5	5,9
Eucalipto citriodora																		
e (mm)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)	Mín.	Cv(%)	Médio	Cv(%)	Máx.	Cv(%)
0,38	42,5	15,1	57,1	9,2	71,3	10,1	32,9	5,6	41,9	5,4	52,3	6,8	28,6	8,1	37,2	6,4	46,3	8,5
0,76	86,5	6,2	110,1	3,4	134,9	4,7	63,7	5,7	81,8	4,6	101,3	5,6	54,4	4,9	71,1	3,4	87,5	4,8
1,14	110,5	7,9	149,7	3,5	182,0	3,8	87,2	6,2	116,7	3,0	144,9	3,7	76,9	4,6	102,5	3,4	127,6	5,6
1,52	137,8	7,4	181,6	3,1	216,8	3,2	114,2	6,6	159,1	2,5	196,9	2,7	96,5	7,4	132,6	2,9	167,2	4,3

*cada valor corresponde à média de 20 repetições

Ângulos do dente para os respectivos ângulos de ataque $\beta = 63^\circ$ ($\alpha = 20^\circ$) ; $\beta = 53^\circ$ ($\alpha = 30^\circ$) ; $\beta = 43^\circ$ ($\alpha = 40^\circ$)

ângulo livre - $\gamma = 7^\circ$ para todos os casos

Velocidade de corte = 30 mm/minuto

Tabela 4.7 – Valores da força de corte normal – F_n (N/mm)* obtidos em corte ortogonal 90-90 na direção tangencial em função da espessura de corte (e) e ângulo de ataque (α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada .

e (mm)	$\alpha = 20^\circ$						$\alpha = 30^\circ$						$\alpha = 40^\circ$					
Eucalipto grandis																		
	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s
0,38	2,1	0,4	2,9	0,3	3,7	0,4	0,1	0,7	0,8	0,7	1,8	0,8	-0,7	0,5	0,1	0,5	1,2	1,4
0,76	1,9	0,6	3,1	0,6	4,5	0,8	-1,3	0,9	-0,1	0,9	1,5	1,6	-3,5	1,2	-2,2	1,1	-0,8	1,5
1,14	1,5	1,3	3,5	1,8	6,2	4,2	-3,4	1,5	-1,6	1,5	0,8	3,2	-6,5	1,8	-4,6	1,8	-2,4	3,0
1,52	1,1	1,3	3,3	1,4	6,2	2,8	-5,5	1,7	-3,2	1,9	-0,3	3,4	-9,5	2,5	-7,0	2,6	-4,1	4,1
Eucalipto saligna																		
e (mm)	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s
0,38	0,0	0,7	1,2	0,5	2,2	0,7	-2,6	0,7	-1,3	0,7	-0,3	0,6	-4,5	0,9	-3,0	0,7	-1,8	0,7
0,76	-2,0	1,5	-0,2	1,2	1,3	1,1	-7,5	2,0	-5,3	1,7	-3,4	1,6	-10,6	2,2	-8,0	1,7	-5,7	1,4
1,14	-4,8	2,1	-2,3	1,6	-0,1	1,6	-12,6	2,6	-9,5	2,2	-6,8	1,9	-17,0	3,1	-13,3	2,6	-10,2	2,3
1,52	-6,0	2,1	-3,3	1,6	-0,6	1,5	-18,1	3,7	-14,1	3,2	-10,5	3,0	-24,5	4,7	-19,5	3,7	-14,9	2,9
Eucalipto citriodora																		
e (mm)	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s
0,38	-6,0	2,4	-3,7	1,9	-1,7	1,6	-9,3	2,1	-6,8	1,6	-4,5	1,3	-11,7	2,0	-8,8	1,6	-6,0	1,1
0,76	-14,1	3,7	-10,6	3,1	-5,9	2,0	-21,8	4,7	-16,9	3,4	-12,2	2,3	-27,1	3,4	-21,4	2,9	-15,9	3,2
1,14	-22,4	5,1	-16,6	4,0	-7,1	3,1	-34,0	5,8	-27,2	4,4	-19,6	3,0	-42,9	6,4	-33,7	5,3	-24,6	5,1
1,52	-27,7	5,8	-20,5	4,0	-7,9	3,1	-45,8	8,2	-35,7	6,2	-23,7	5,1	-57,7	8,2	-45,7	6,4	-32,3	5,1

*cada valor corresponde à média de 20 repetições

Ângulos do dente para os respectivos ângulos de ataque $\beta = 63^\circ$ ($\alpha = 20^\circ$) ; $\beta = 53^\circ$ ($\alpha = 30^\circ$) ; $\beta = 43^\circ$ ($\alpha = 40^\circ$)

ângulo livre - $\gamma = 7^\circ$ para todos os casos

Velocidade de corte = 30 mm/minuto

Tabela 4.8 – Valores da força de corte normal – F_n (N/mm)* obtidos em corte ortogonal 90-90 na direção radial em função da espessura de corte (e) e ângulo de ataque (α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada.

e (mm)	$\alpha = 20^\circ$						$\alpha = 30^\circ$						$\alpha = 40^\circ$					
Eucalipto grandis																		
	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s
0,38	1,7	0,3	2,9	0,5	5,3	2,3	0,3	0,5	1,8	0,7	4,3	3,1	-2,4	0,8	-0,7	0,5	1,5	1,7
0,76	1,3	0,7	3,9	1,7	8,7	5,5	-3,7	1,0	-0,3	1,1	3,9	3,4	-6,8	1,6	-3,3	1,0	1,2	3,6
1,14	1,7	0,8	4,7	1,3	10,0	5,3	-6,0	1,4	-2,0	1,1	2,2	2,9	-10,9	2,2	-5,9	1,9	-0,5	4,9
1,52	1,8	1,1	5,6	1,9	10,9	4,6	-6,9	1,8	-2,3	1,7	2,9	3,9	-14,1	2,8	-8,0	2,1	-1,3	6,3
Eucalipto saligna																		
e (mm)	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s
0,38	-1,1	0,9	0,9	0,6	2,5	0,5	-4,3	0,8	-1,8	0,5	0,2	0,5	-7,1	0,9	-4,0	0,6	-1,8	0,6
0,76	-4,1	1,0	-1,1	0,8	1,7	0,8	-9,9	1,2	-5,7	0,9	-2,1	0,9	-17,0	2,2	-11,3	1,6	-6,7	1,1
1,14	-7,1	1,5	-2,6	1,0	1,9	1,2	-15,6	1,4	-9,9	0,9	-5,2	1,0	-23,2	2,2	-16,5	1,3	-10,9	1,6
1,52	-8,2	1,9	-3,0	1,2	3,1	2,2	-19,8	1,6	-13,2	1,0	-5,9	1,7	-30,1	2,9	-21,8	1,6	-14,9	2,0
Eucalipto citriodora																		
e (mm)	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s	Mín.	s	Médio	s	Máx.	s
0,38	-7,5	1,4	-4,7	1,1	-2,1	1,0	-11,4	1,2	-7,8	0,9	-4,8	0,9	-16,1	1,8	-12,0	1,3	-8,2	1,5
0,76	-17,2	1,5	-12,0	1,2	-6,3	2,1	-26,4	2,0	-19,7	1,3	-13,4	1,5	-35,0	2,1	-27,0	1,1	-18,7	2,7
1,14	-27,4	1,6	-19,8	1,5	-8,0	4,2	-39,5	1,3	-29,8	1,2	-20,0	2,2	-51,0	3,3	-38,8	2,9	-26,5	5,3
1,52	-32,3	2,0	-23,1	1,7	-9,6	3,8	-52,4	2,3	-39,3	1,0	-22,7	3,3	-67,7	3,6	-51,2	1,9	-34,1	3,9

*cada valor corresponde à média de 20 repetições

Ângulos do dente para os respectivos ângulos de ataque $\beta = 63^\circ$ ($\alpha = 20^\circ$); $\beta = 53^\circ$ ($\alpha = 30^\circ$); $\beta = 43^\circ$ ($\alpha = 40^\circ$)

ângulo livre - $\gamma = 7^\circ$ para todos os casos

Velocidade de corte = 30 mm/minuto

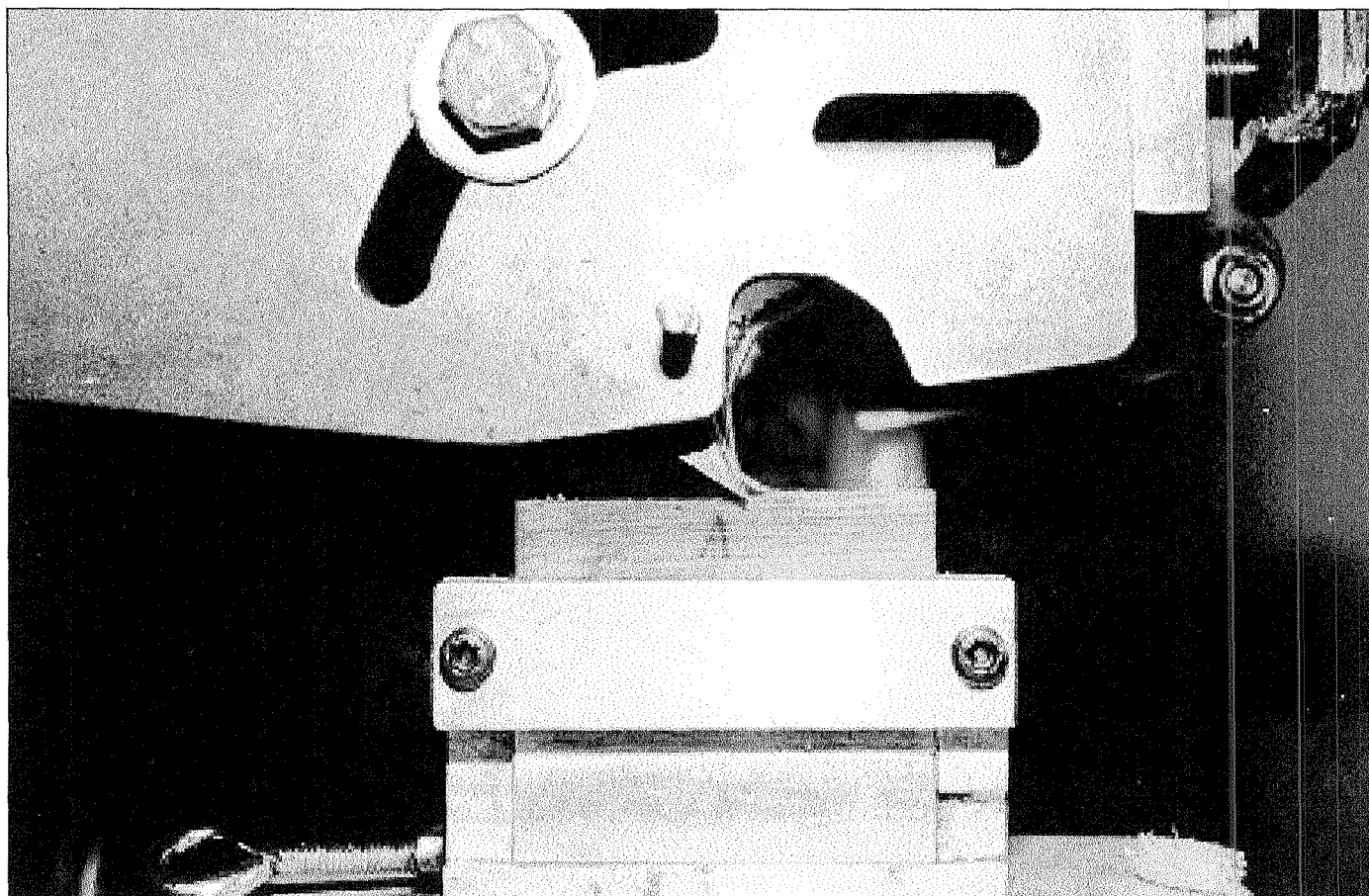


Figura 4.1 – Cavaco tipo I obtido no ensaio de corte ortogonal 90-0. Espécie: Eucalipto grandis, espessura de corte: 1,52 mm e ângulo de ataque: $\alpha = 30^{\circ}$

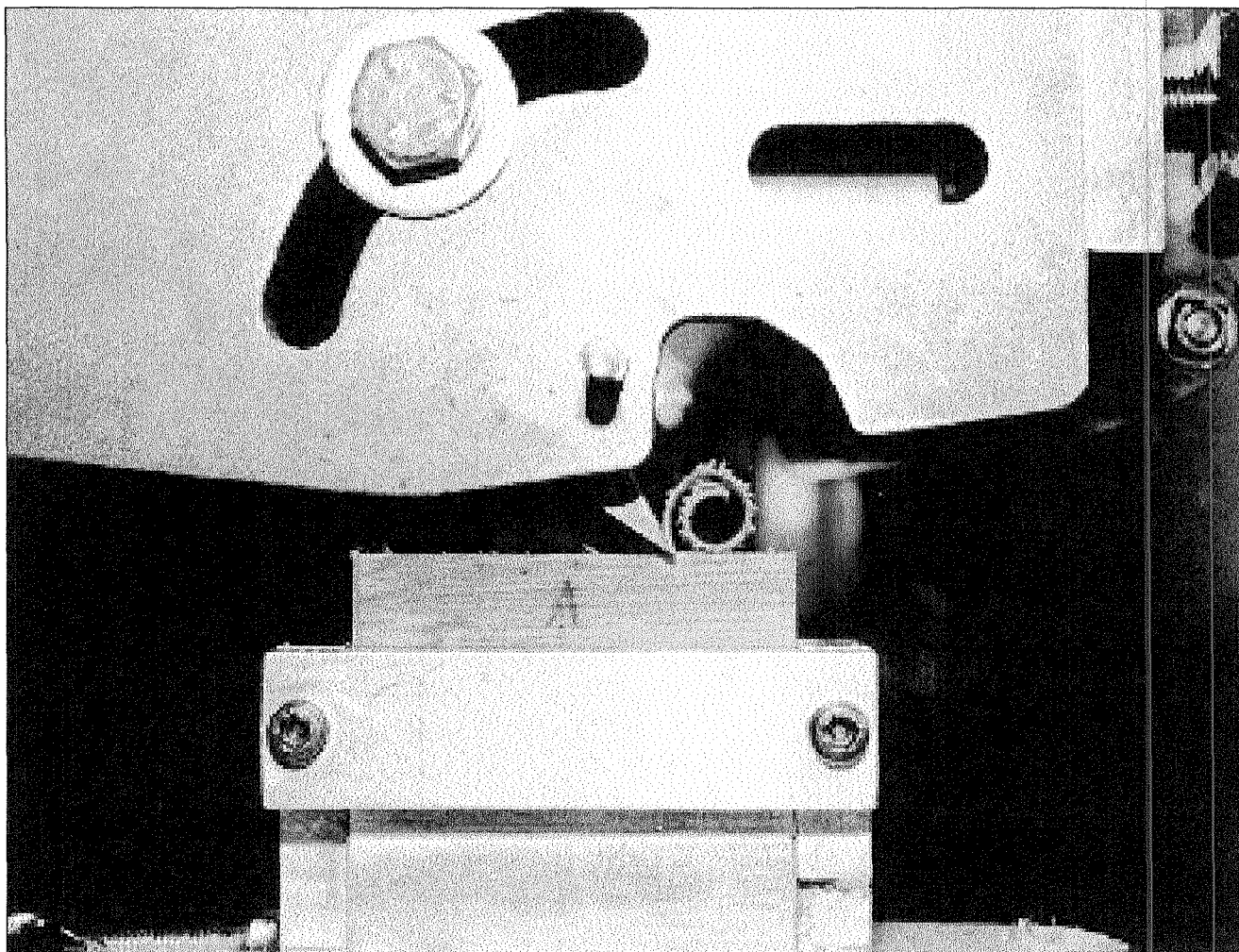


Figura 4.2 – Cavaco tipo II obtido no ensaio de corte ortogonal 90-0. Espécie: Eucalipto grandis, espessura de corte: 0,38 mm e ângulo de ataque: $\alpha = 30^{\circ}$

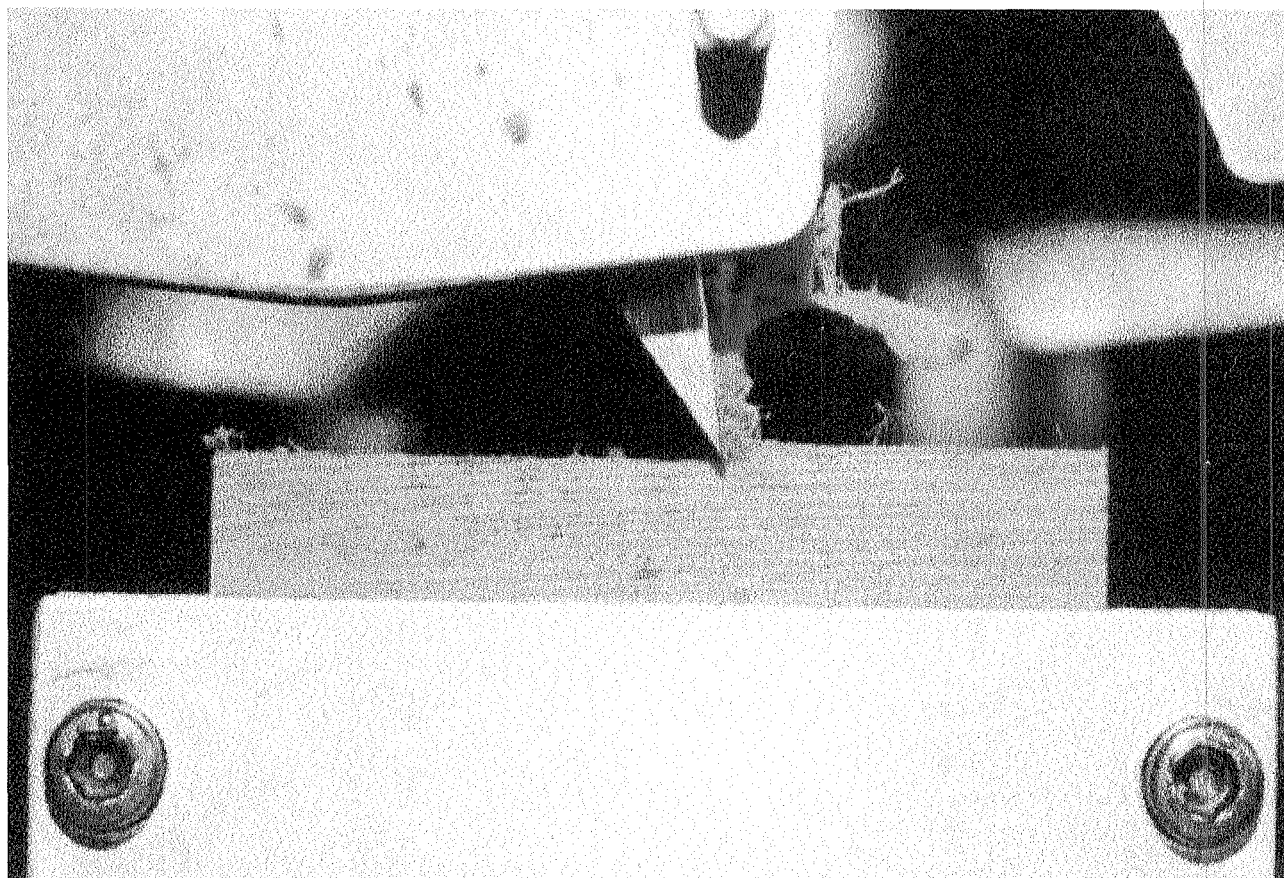


Figura 4.3 – Cavaco tipo III obtido no ensaio de corte ortogonal 90-0. Espécie: Eucalipto grandis, espessura de corte: 0,38 mm e ângulo de ataque: $\alpha = 10^0$

Tabela 4.9- Valores médios de umidade e densidade básica resultantes do ensaio dos corpos de prova de orientação tangencial. Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora.

Espécie	n	Umidade (%)	s (%)	Db (g/cm ³)	s (%)
Eucalipto grandis	20	106,1	11,0	0,422	3,2
Eucalipto saligna	20	82,5	6,9	0,559	2,5
Eucalipto citriodora	18	39,2	3,2	0,905	6,3

Tabela 4.10- Valores médios de umidade e densidade básica resultantes do ensaio dos corpos de prova de orientação radial. Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora.

Espécie	n	Umidade (%)	s (%)	Db (g/cm ³)	s (%)
Eucalipto grandis	20	92,6	8,3	0,407	1,0
Eucalipto saligna	20	78,7	5,8	0,568	0,8
Eucalipto citriodora	20	38,2	1,2	0,918	1,8

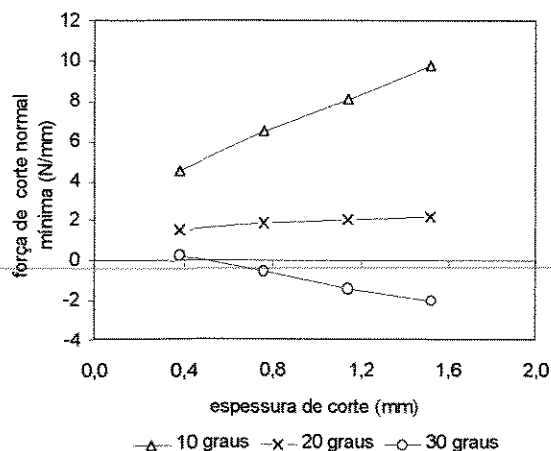


Figura 4.4 – Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis

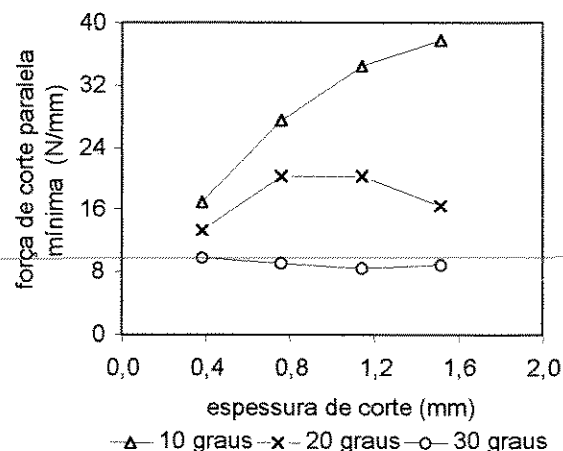


Figura 4.7 – Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis

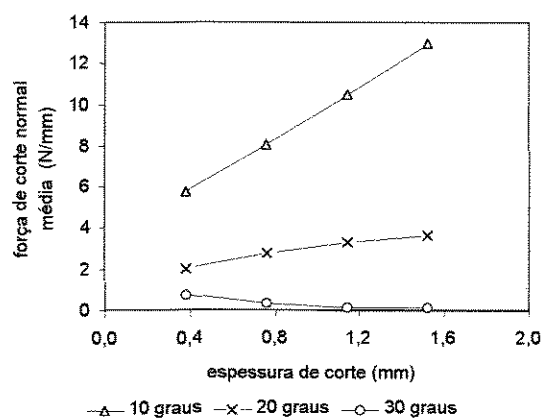


Figura 4.5 – Relação entre a força de corte normal média (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis

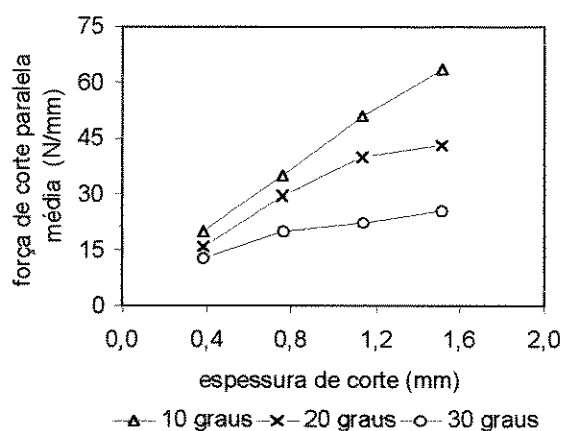


Figura 4.8 – Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis

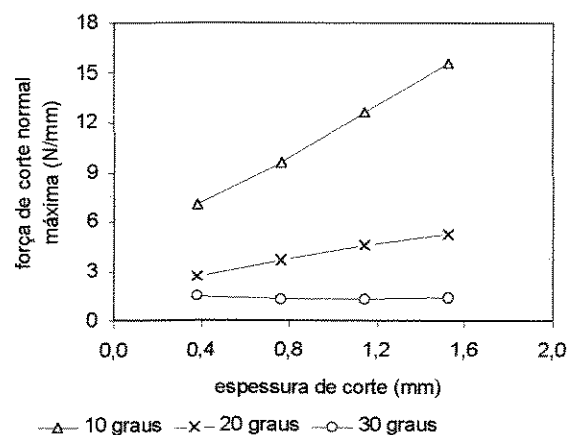


Figura 4.6 – Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis

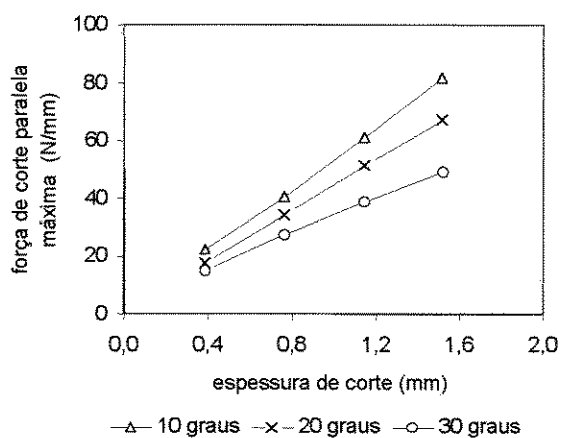


Figura 4.9 – Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis

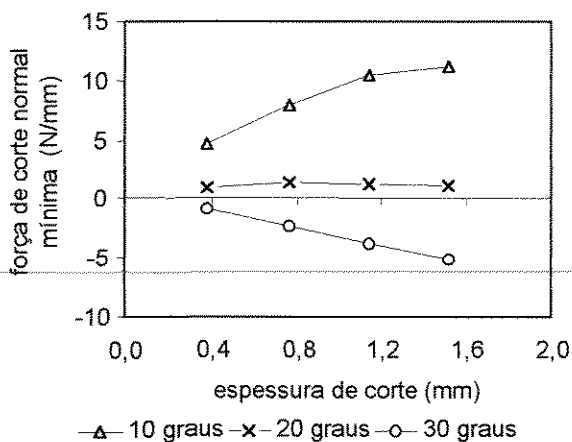


Figura 4.10 – Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna

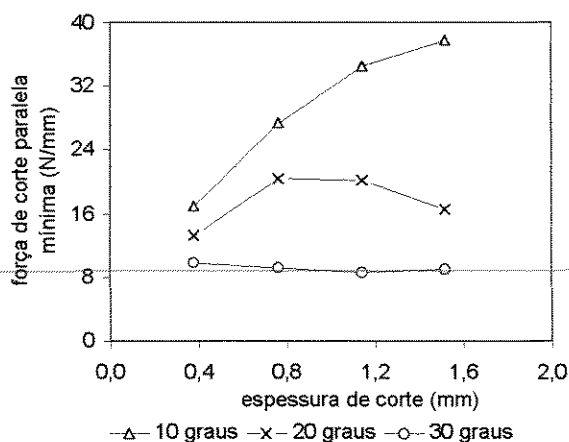


Figura 4.13 – Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna

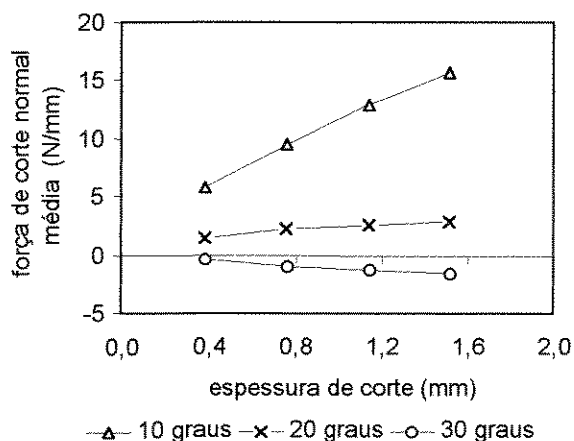


Figura 4.11 – Relação entre a força de corte normal média (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna

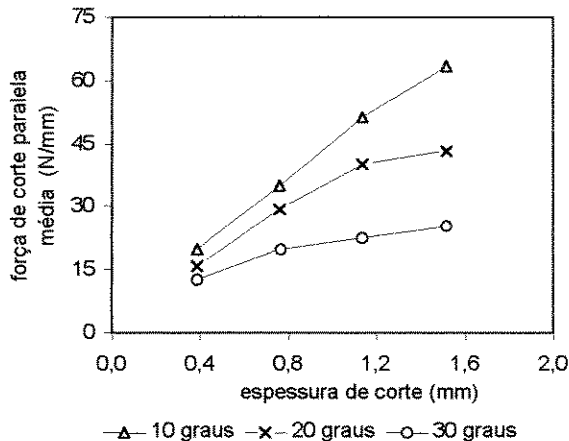


Figura 4.14 – Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna

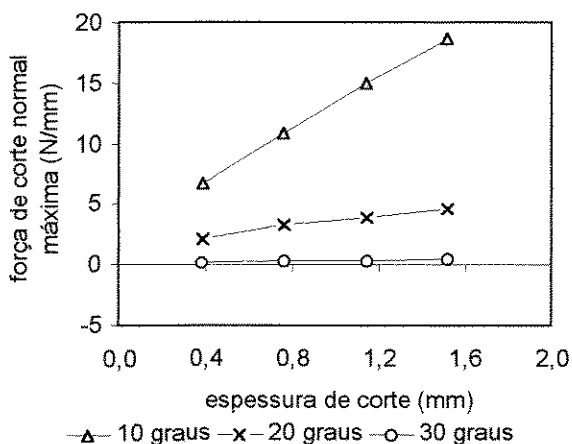


Figura 4.12 – Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna

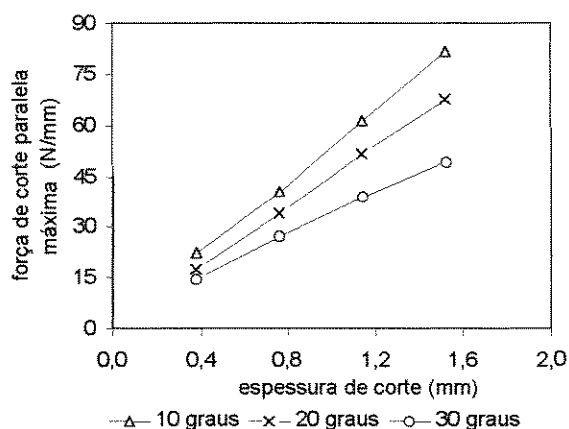


Figura 4.15 – Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna

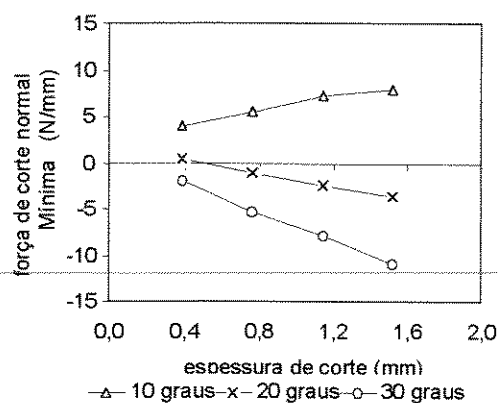


Figura 4.16– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora

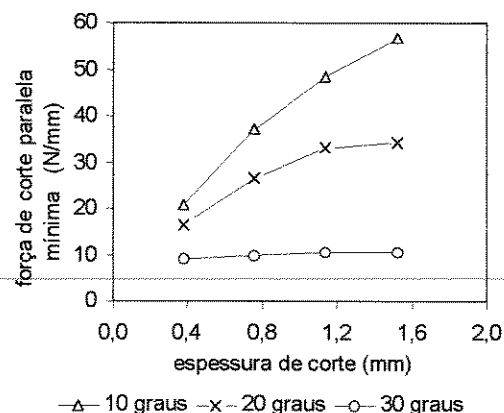


Figura 4.19– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora

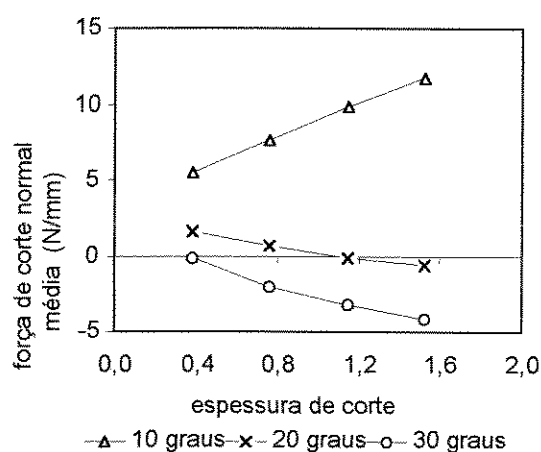


Figura 4.17– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora

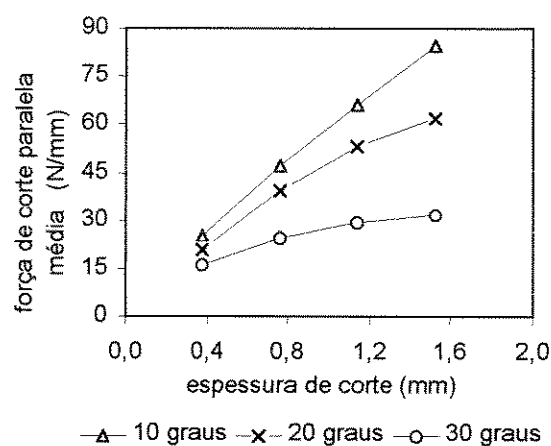


Figura 4.20– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora

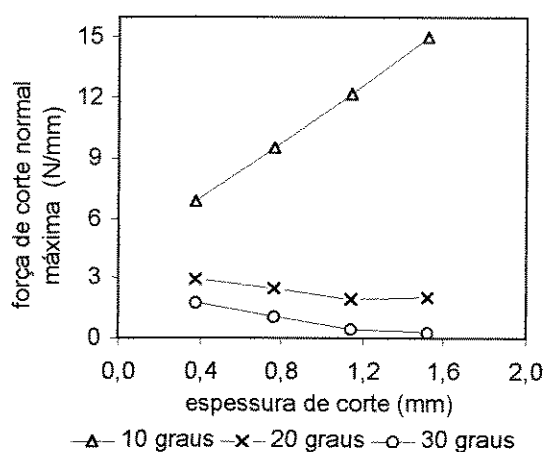


Figura 4.18– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora

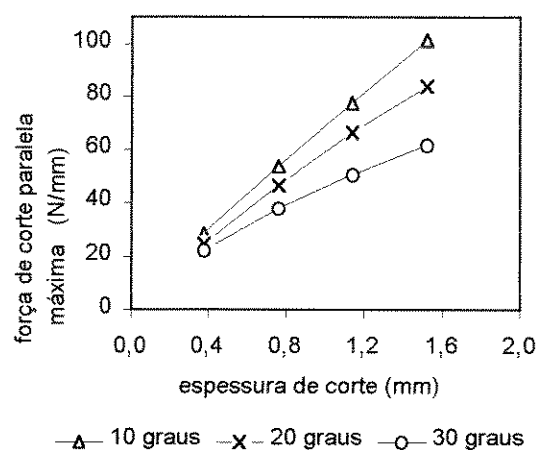


Figura 4.21– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora

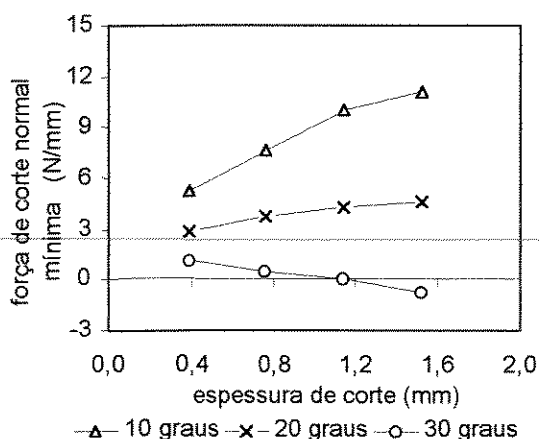


Figura 4.22– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Grandis

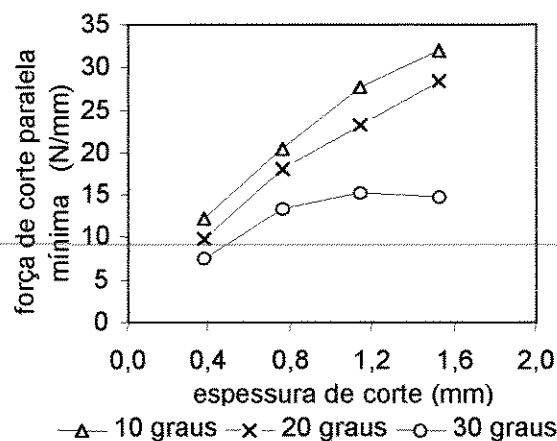


Figura 4.25– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Grandis

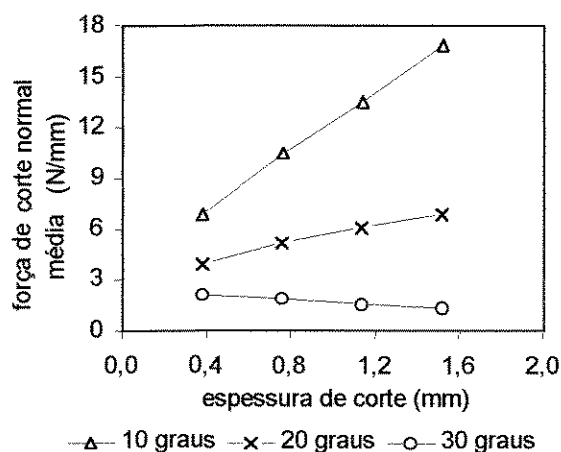


Figura 4.23– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Grandis

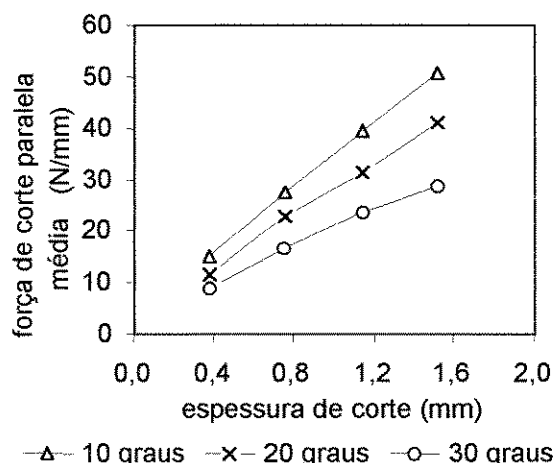


Figura 4.26– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Grandis

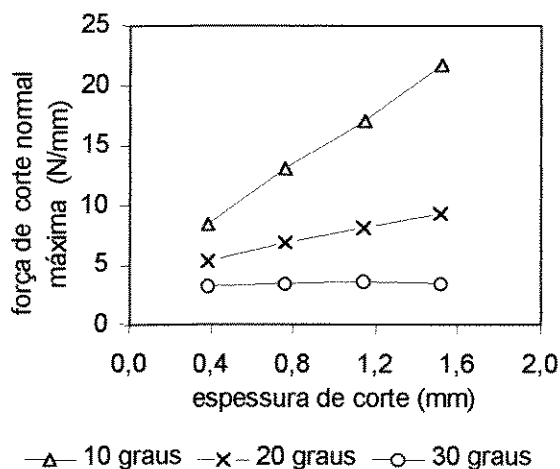


Figura 4.24– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Grandis

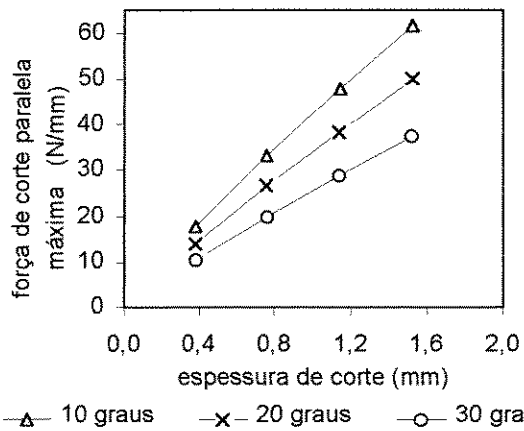


Figura 4.27– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Grandis

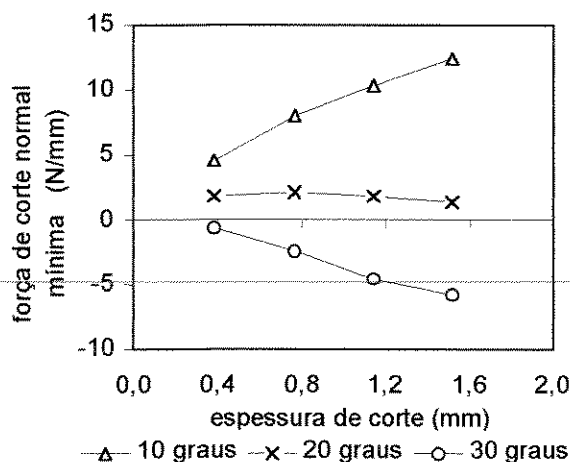


Figura 4.28– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Saligna

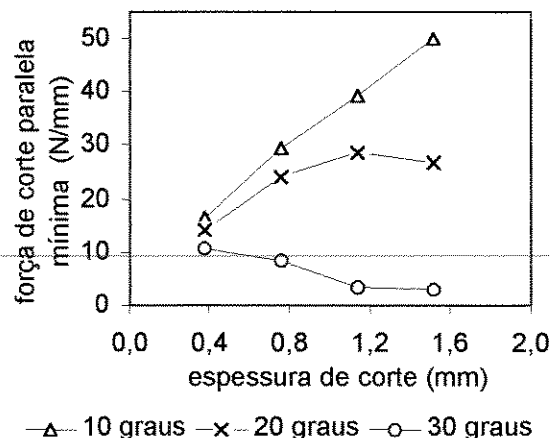


Figura 4.31– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Saligna

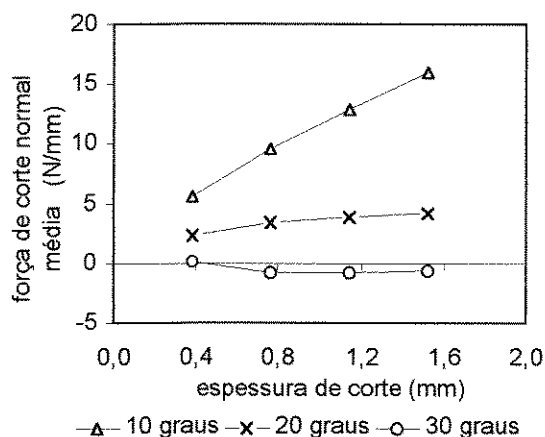


Figura 4.29– Relação entre a força de corte normal média (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Saligna

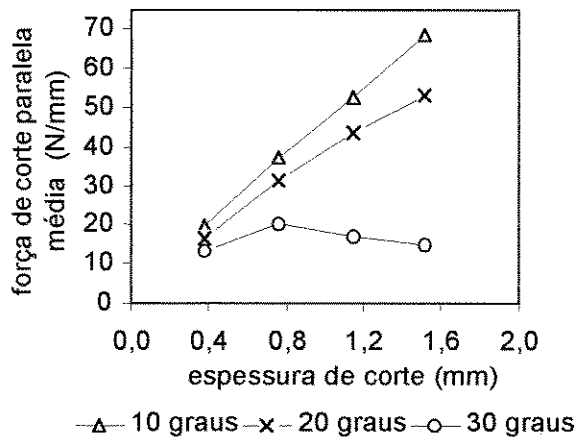


Figura 4.32– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Saligna

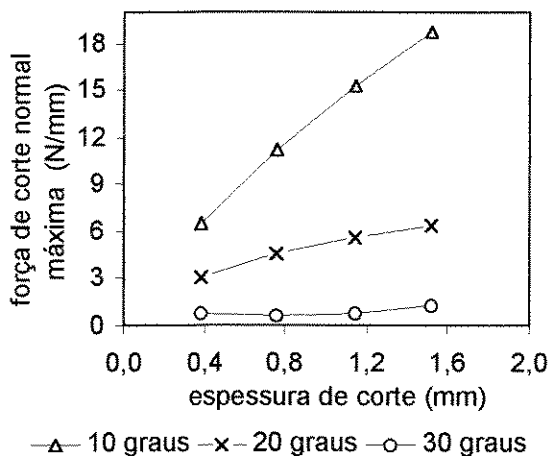


Figura 4.30– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Saligna

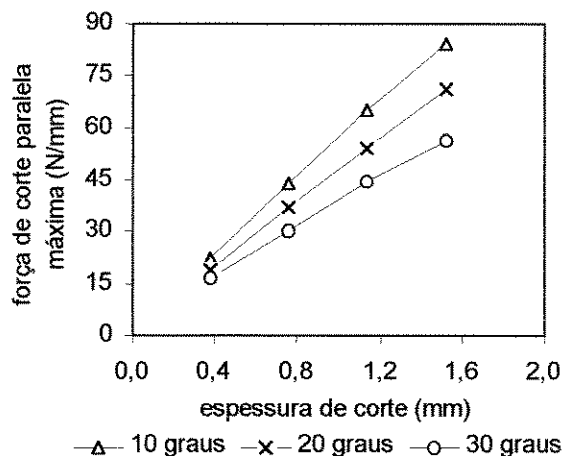


Figura 4.33– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Saligna

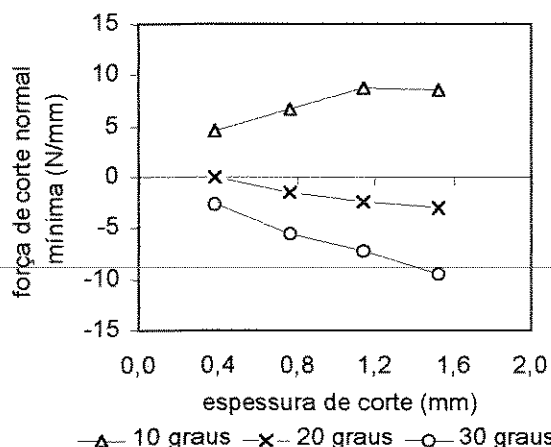


Figura 4.34– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Citriodora

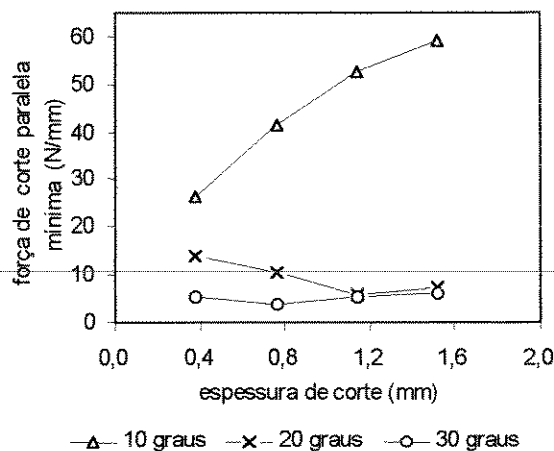


Figura 4.37– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Citriodora

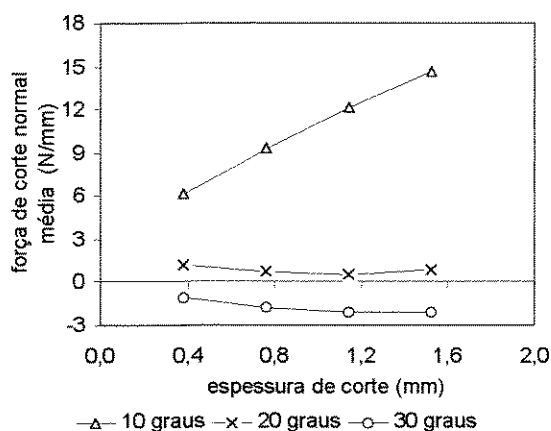


Figura 4.35– Relação entre a força de corte normal média (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Citriodora

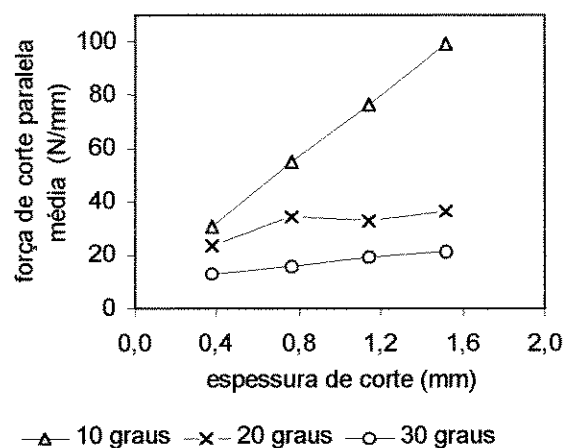


Figura 4.38– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Citriodora

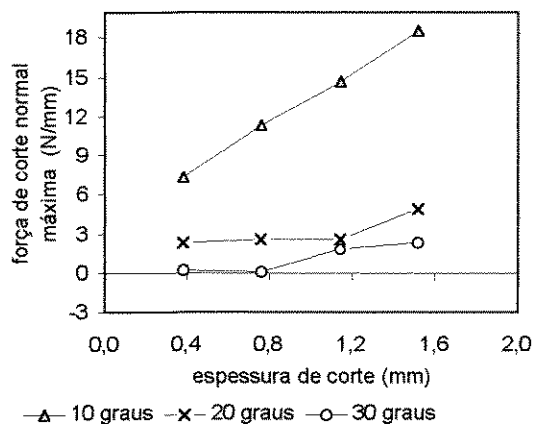


Figura 4.36– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Citriodora

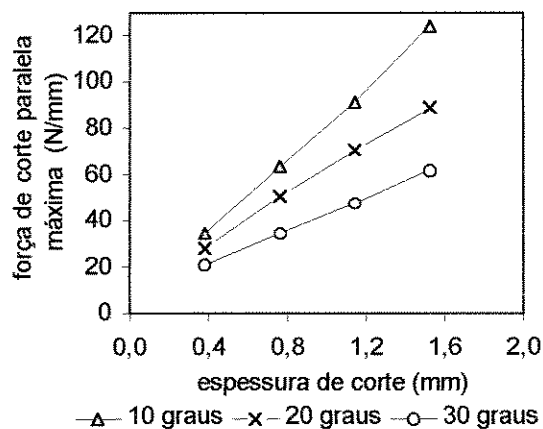
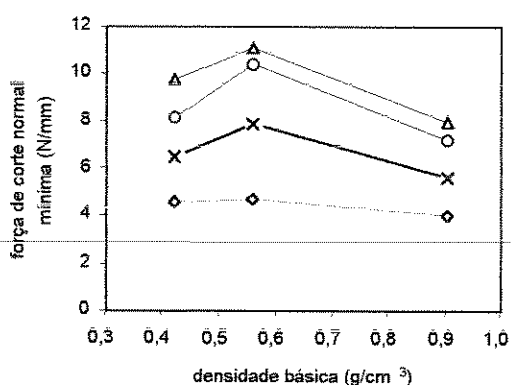
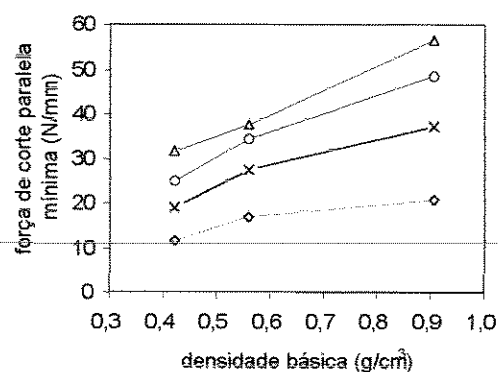


Figura 4.39– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Citriodora



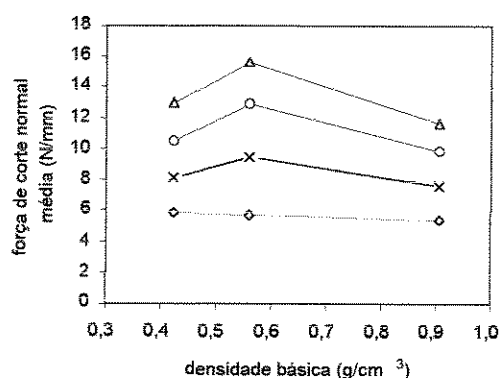
—◇— 0,38 mm —x— 0,76 mm —○— 1,14 mm —△— 1,52 mm

Figura 4.40— Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 10^\circ$



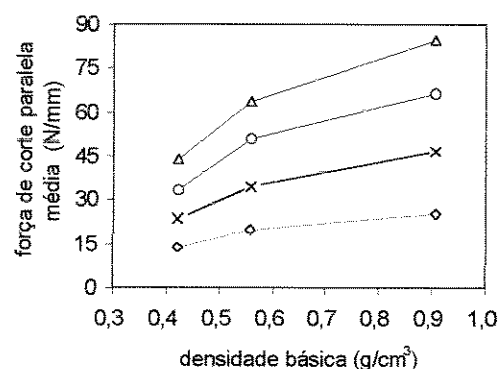
—◇— 0,38 mm —x— 0,76 mm —○— 1,14 mm —△— 1,52 mm

Figura 4.43— Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 10^\circ$



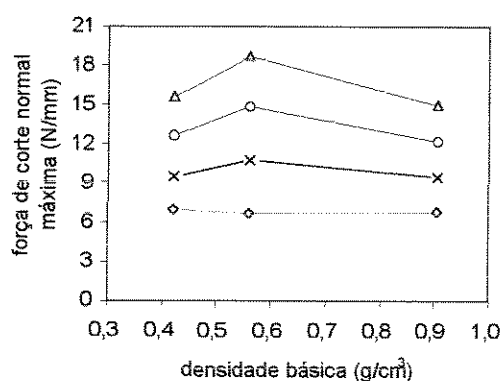
—◇— 0,38 mm —x— 0,76 mm —○— 1,14 mm —△— 1,52 mm

Figura 4.41— Relação entre a força de corte normal média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 10^\circ$



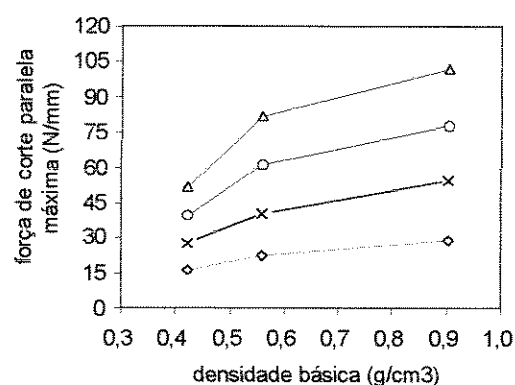
—◇— 0,38 mm —x— 0,76 mm —○— 1,14 mm —△— 1,52 mm

Figura 4.44— Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 10^\circ$



—◇— 0,38 mm —x— 0,76 mm —○— 1,14 mm —△— 1,52 mm

Figura 4.42— Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 10^\circ$



—◇— 0,38 mm —x— 0,76 mm —○— 1,14 mm —△— 1,52 mm

Figura 4.45— Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 10^\circ$

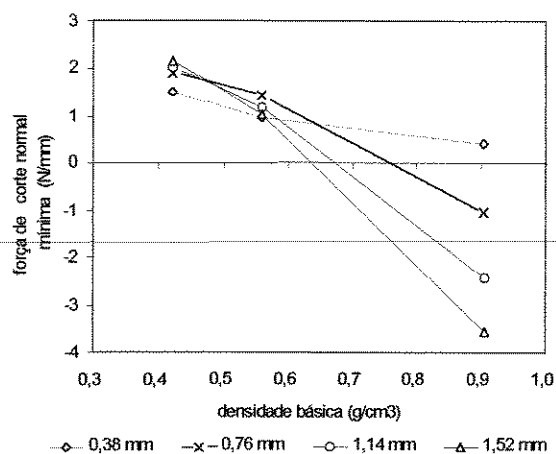


Figura 4.46– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 20^\circ$

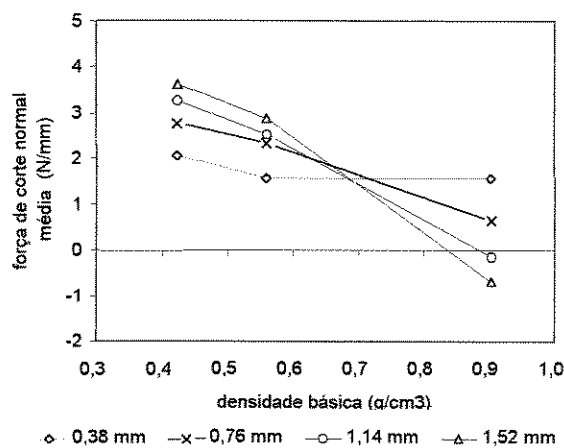


Figura 4.47– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 20^\circ$

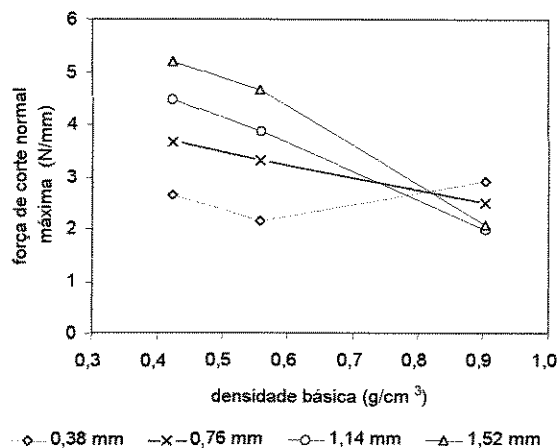


Figura 4.48– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 10^\circ$

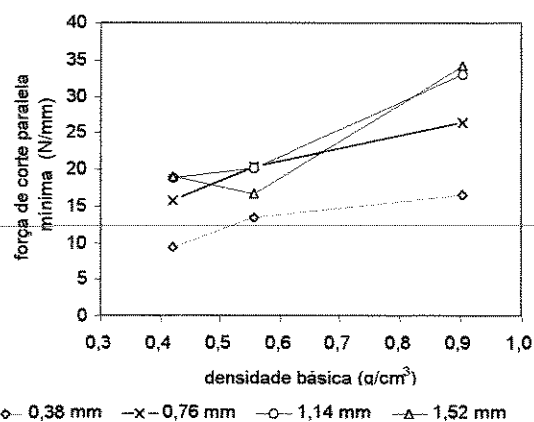


Figura 4.49– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 20^\circ$

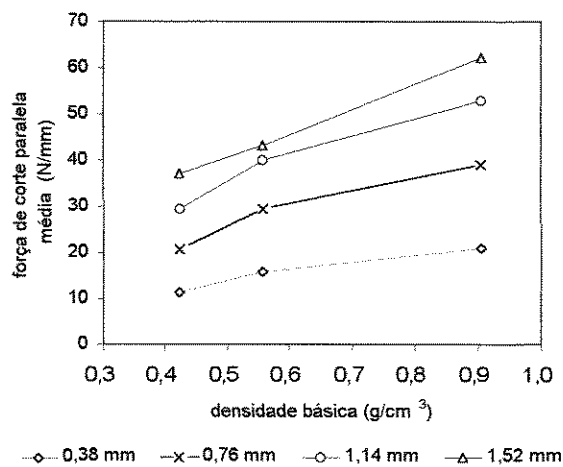


Figura 4.50– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 20^\circ$

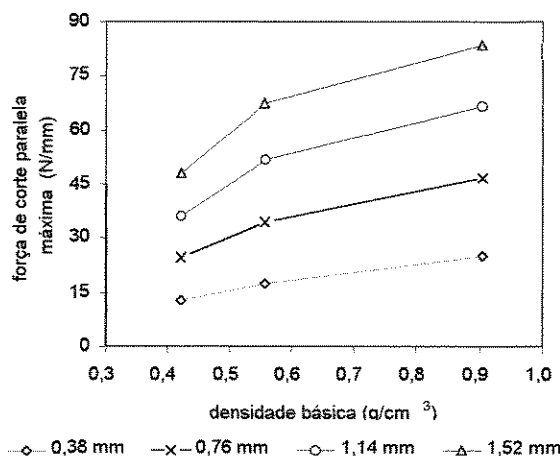


Figura 4.51– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 20^\circ$

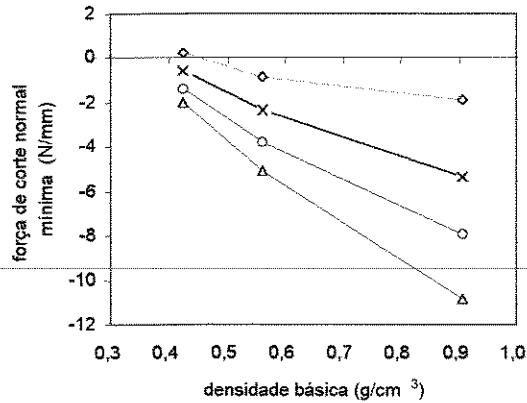


Figura 4.52— Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 30^\circ$

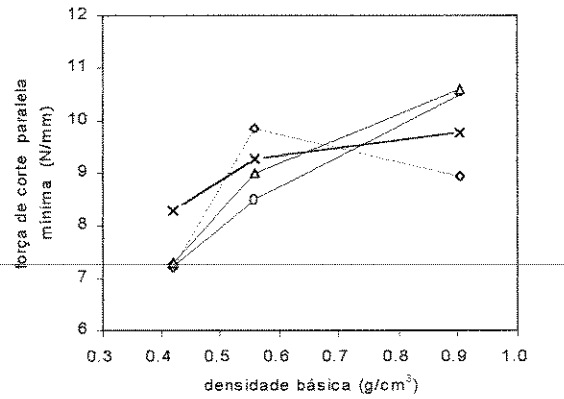


Figura 4.55— Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 30^\circ$

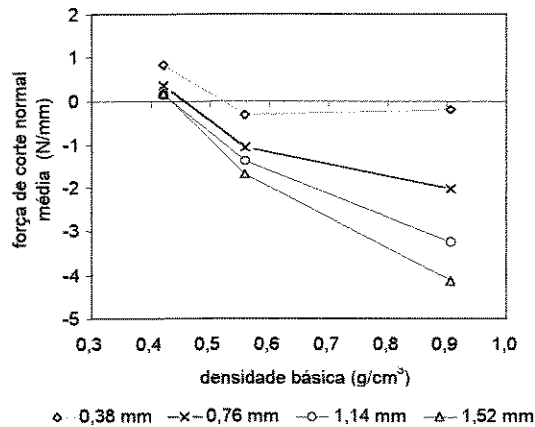


Figura 4.53— Relação entre a força de corte normal média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 30^\circ$

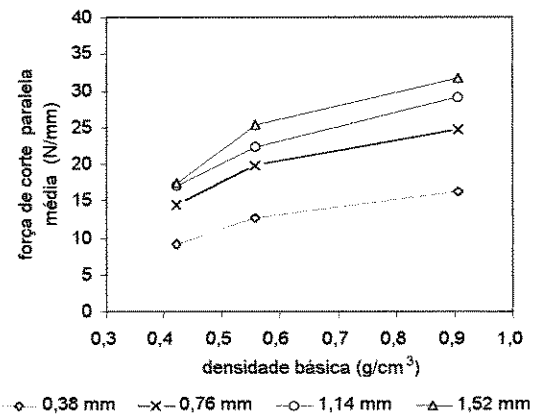


Figura 4.56— Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 30^\circ$

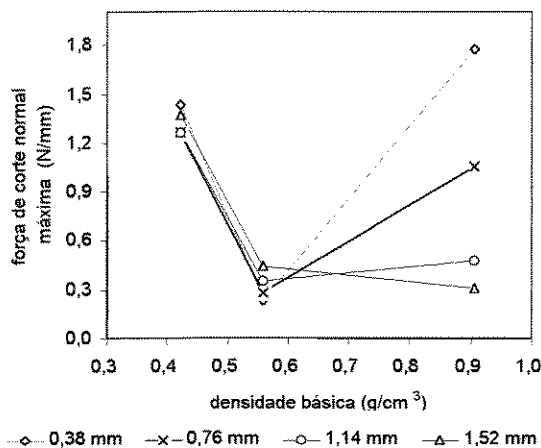


Figura 4.54— Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 30^\circ$

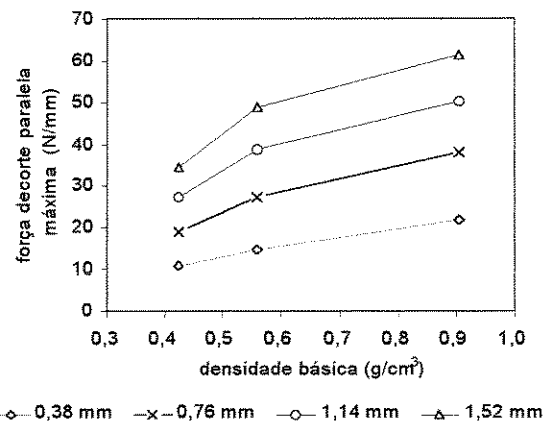


Figura 4.57— Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 30^\circ$

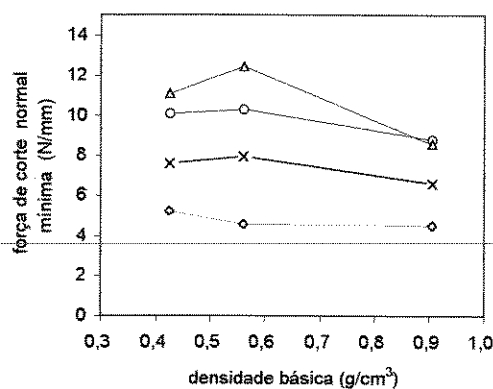


Figura 4.58— Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 10^\circ$

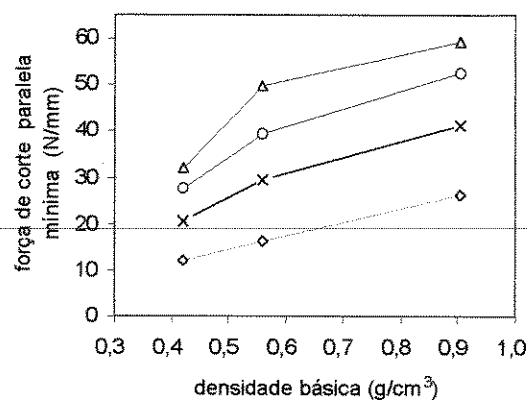


Figura 4.61— Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 10^\circ$

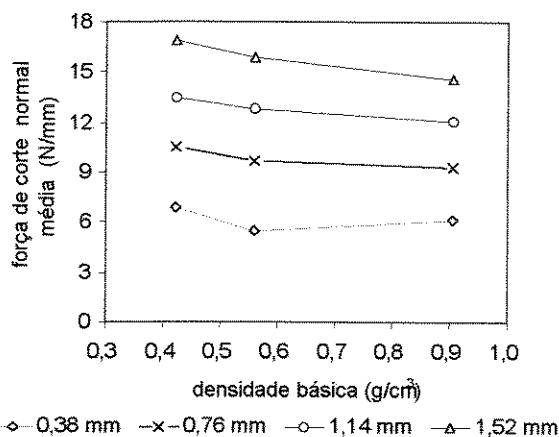


Figura 4.59— Relação entre a força de corte normal média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 10^\circ$

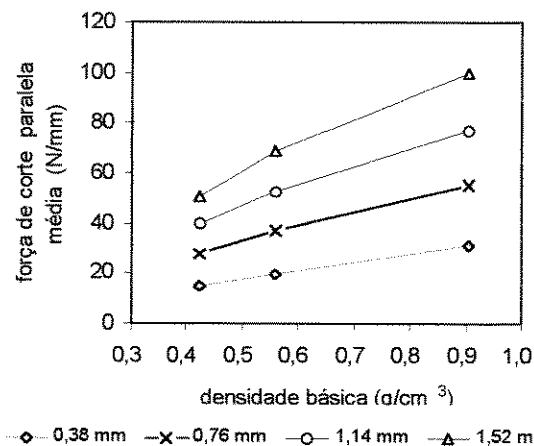


Figura 4.62— Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 10^\circ$

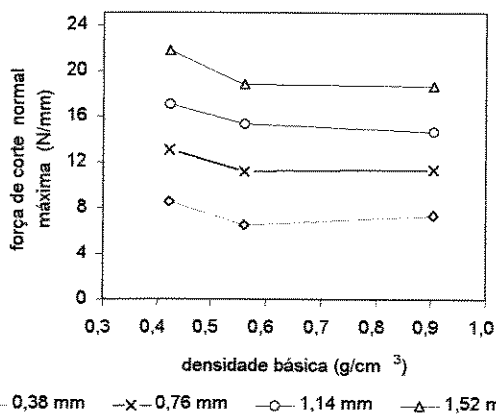


Figura 4.60— Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 10^\circ$

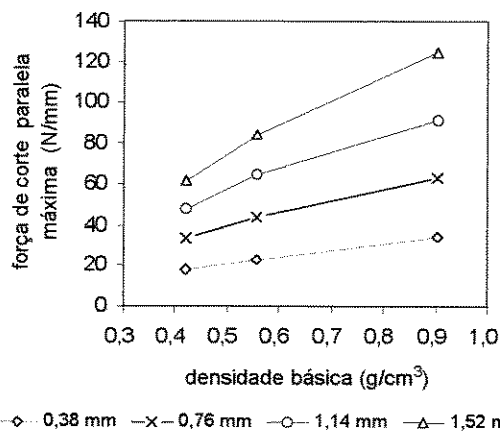


Figura 4.63— Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 10^\circ$

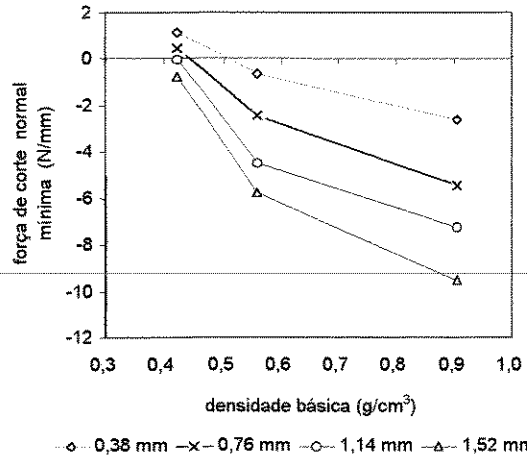


Figura 4.70– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 30^\circ$

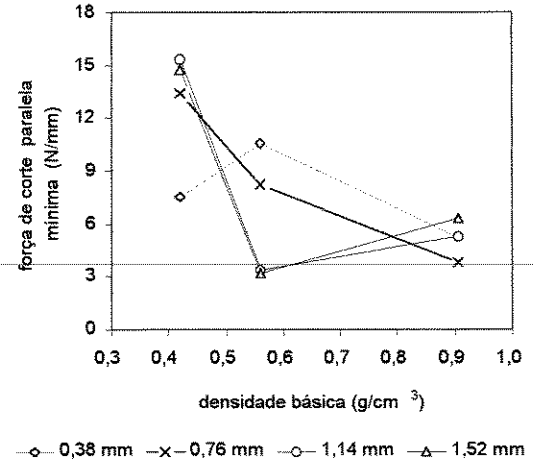


Figura 4.73– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 30^\circ$

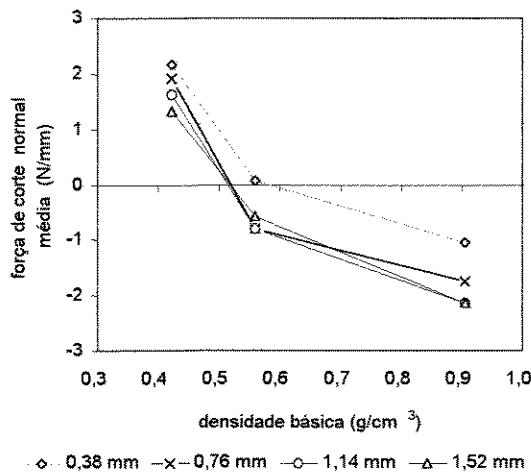


Figura 4.71– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 30^\circ$

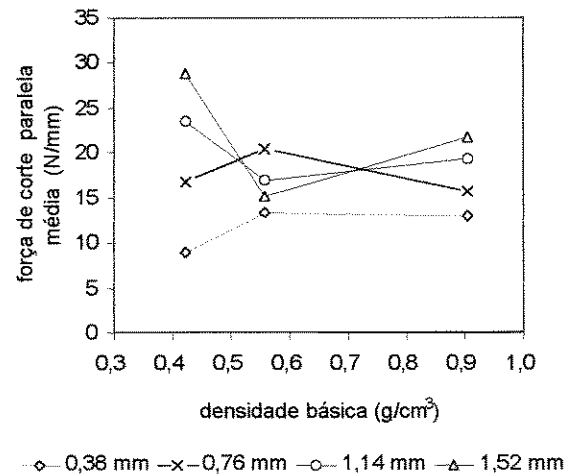


Figura 4.74– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 30^\circ$

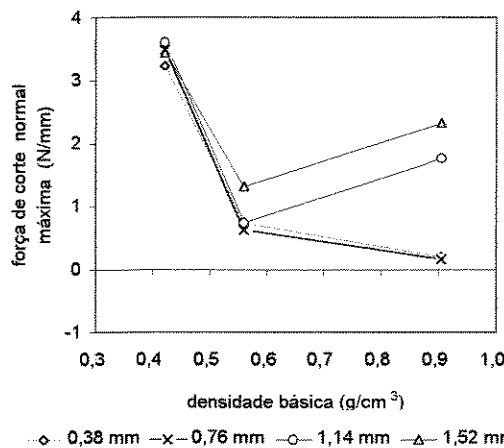


Figura 4.72– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 30^\circ$

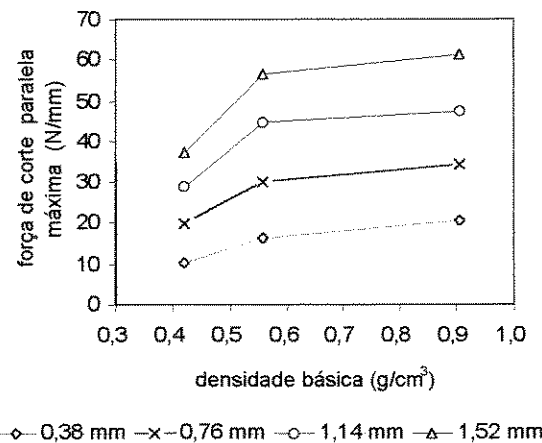


Figura 4.75– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 30^\circ$

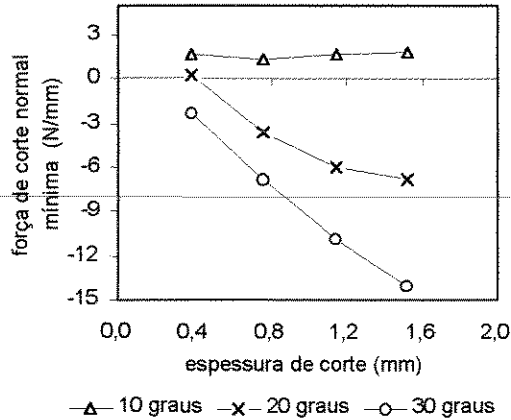


Figura 4.76– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Grandis

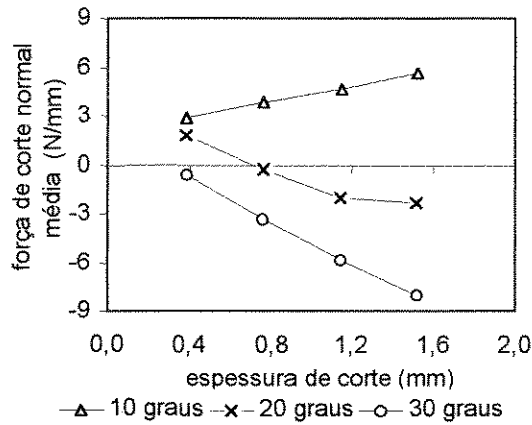


Figura 4.77– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Grandis

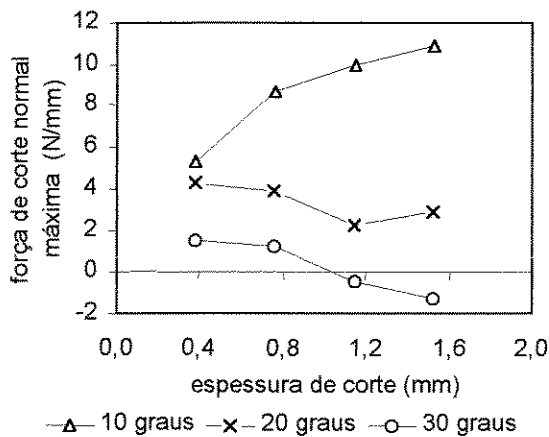


Figura 4.78– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Grandis

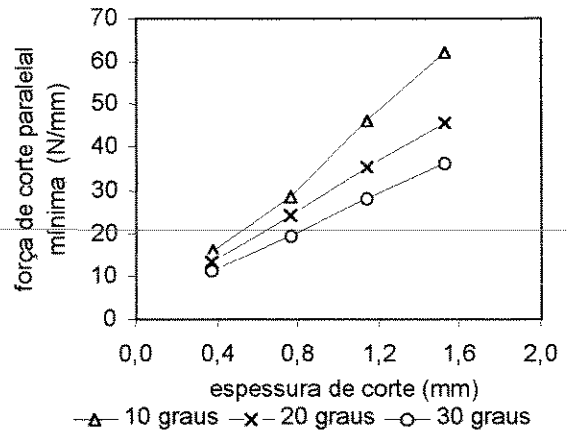


Figura 4.79– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Grandis

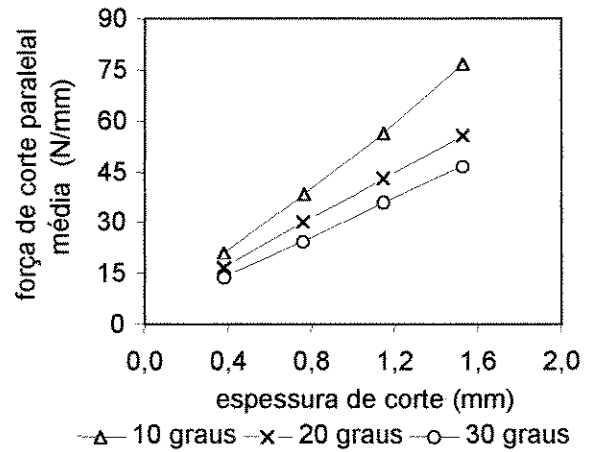


Figura 4.80– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Grandis

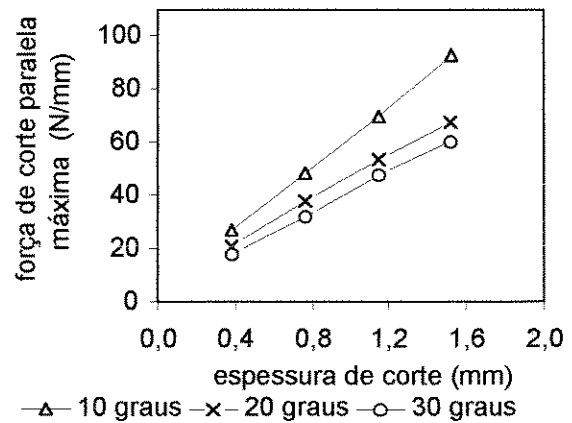


Figura 4.81– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Grandis

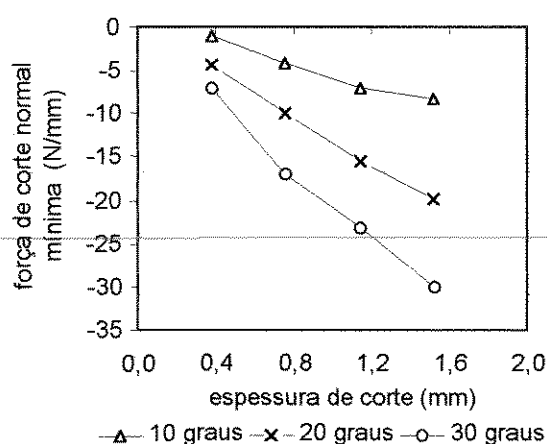


Figura 4.82– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Saligna

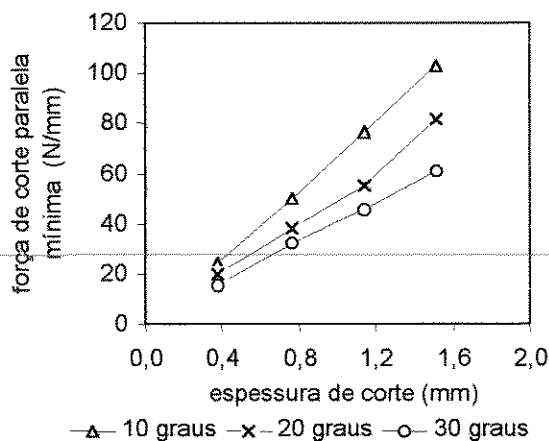


Figura 4.85– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Saligna

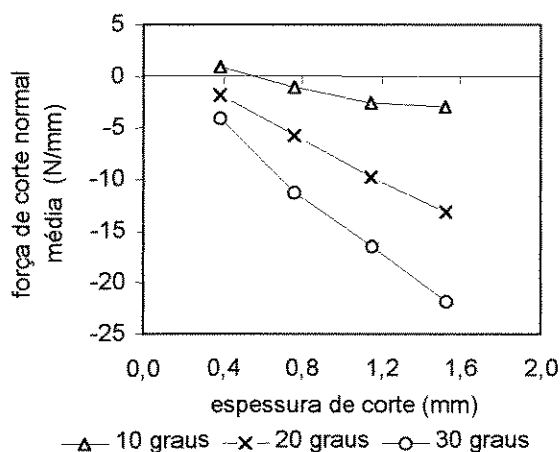


Figura 4.83– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Saligna

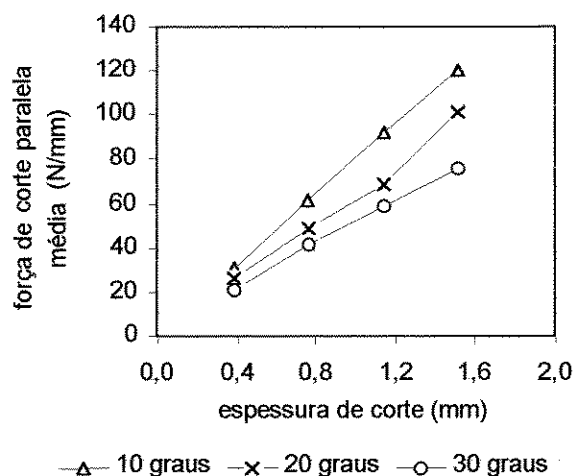


Figura 4.86– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Saligna

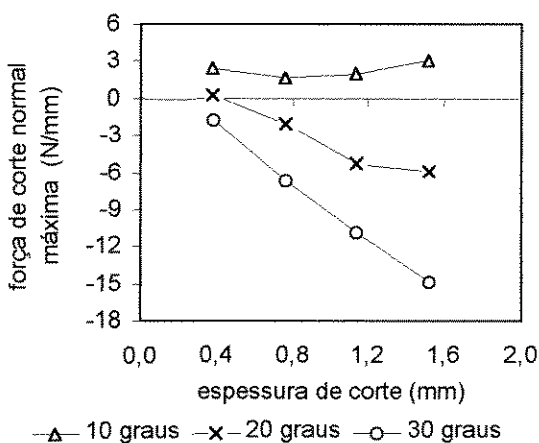


Figura 4.84– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Saligna

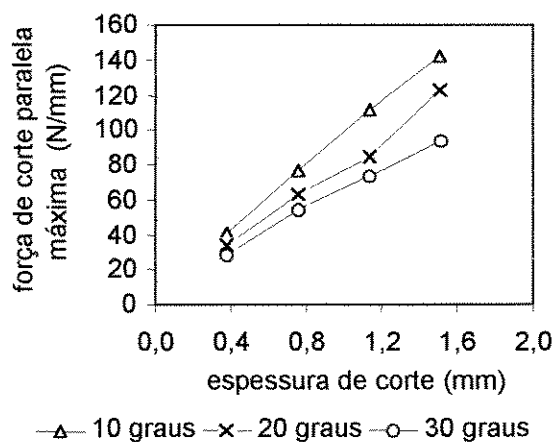


Figura 4.87– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Saligna

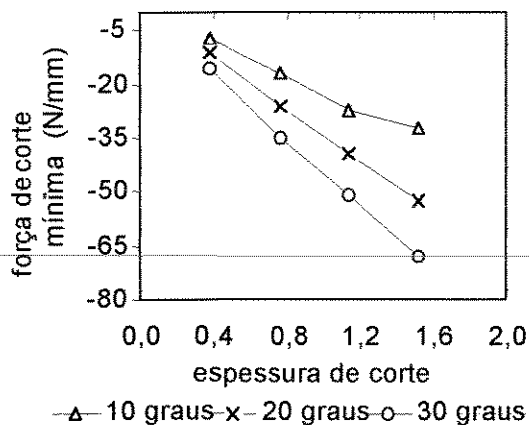


Figura 4.88– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Citriodora

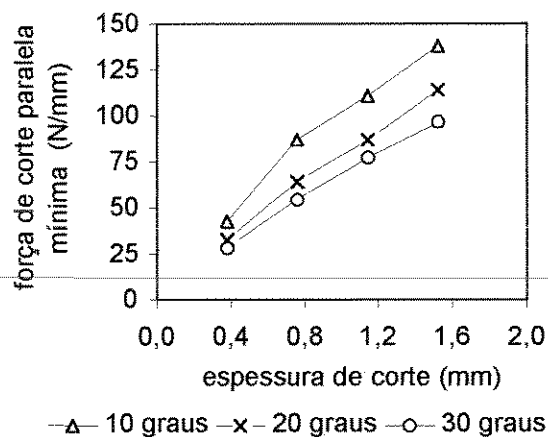


Figura 4.91– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Citriodora

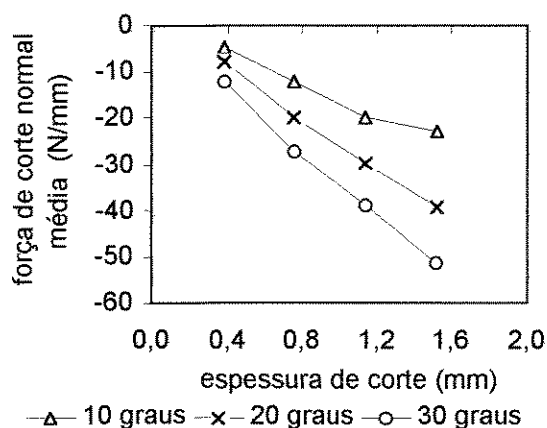


Figura 4.89– Relação entre a força de corte normal média (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Citriodora

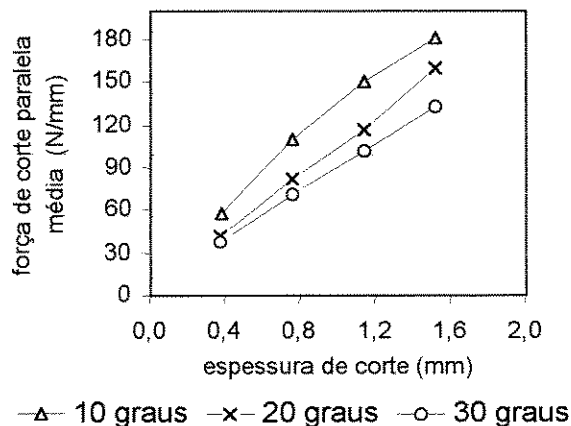


Figura 4.92– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Citriodora

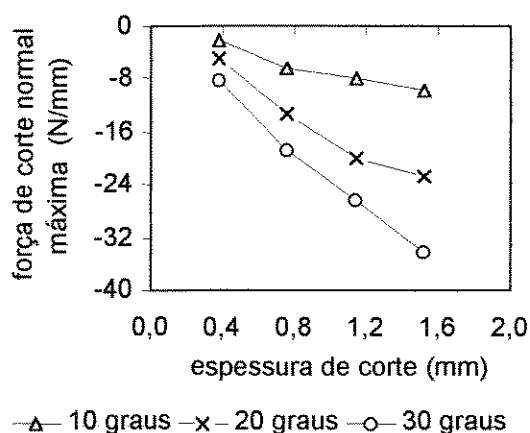


Figura 4.90– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Citriodora

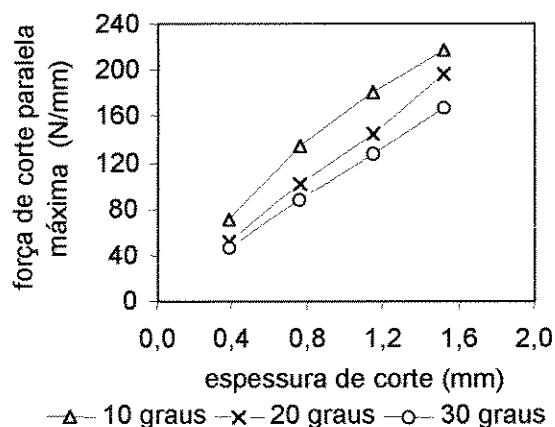


Figura 4.93– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Citriodora

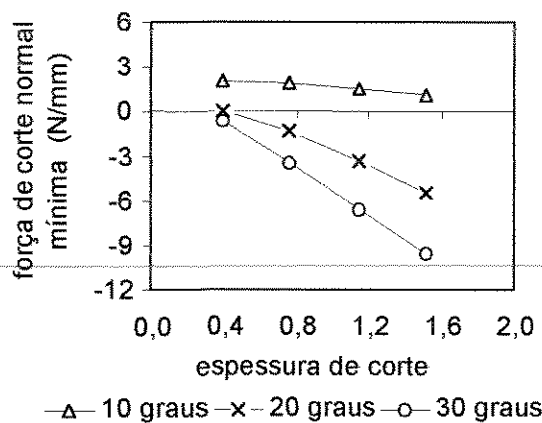


Figura 4.94– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis

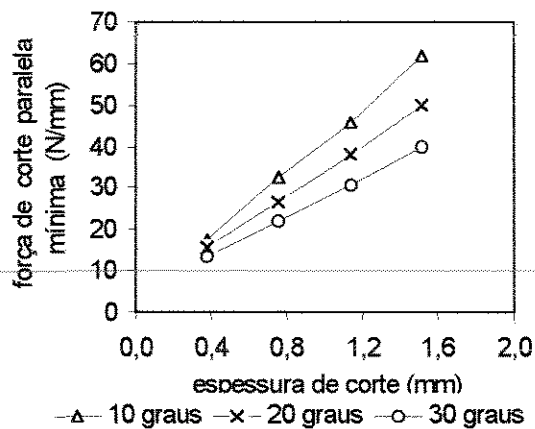


Figura 4.97– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis

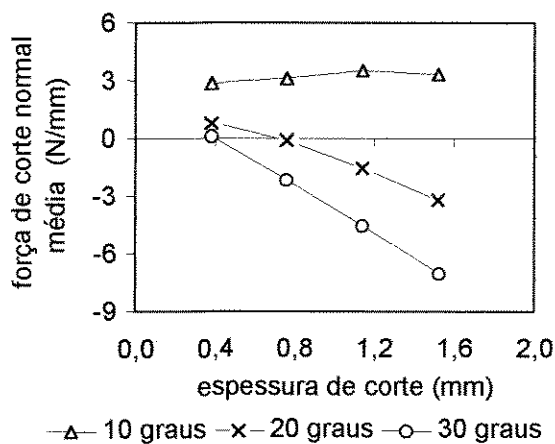


Figura 4.95– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis

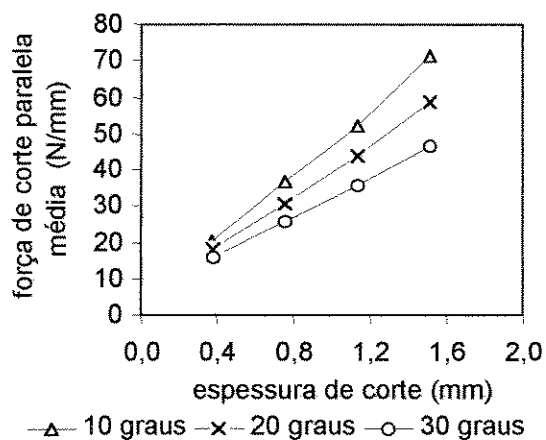


Figura 4.98– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis

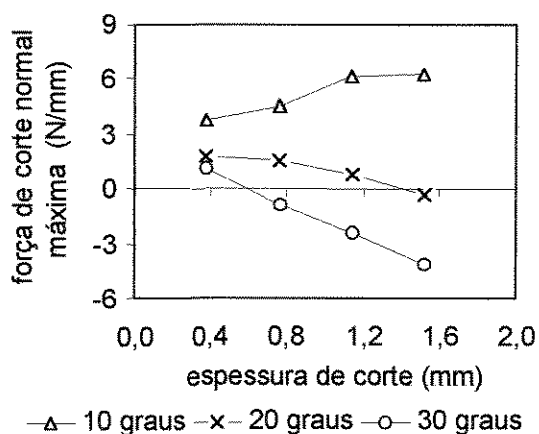


Figura 4.96– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis

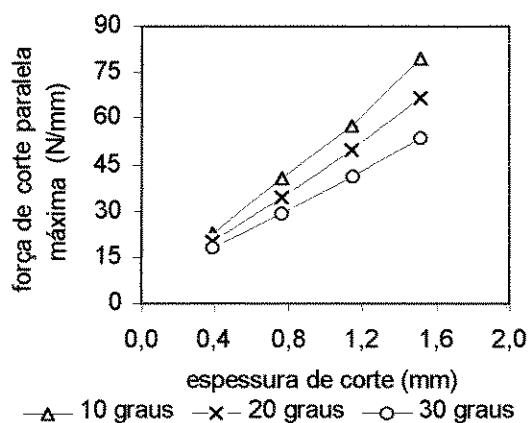


Figura 4.99– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis

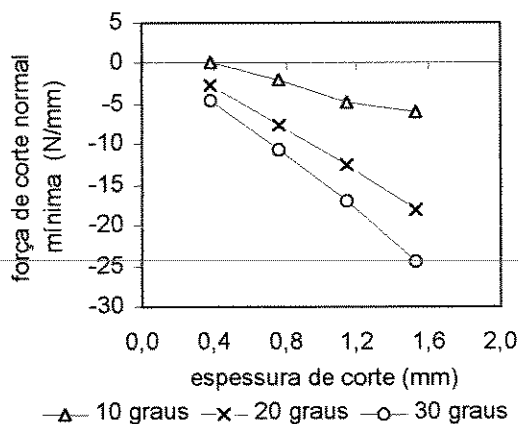


Figura 4.100– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna

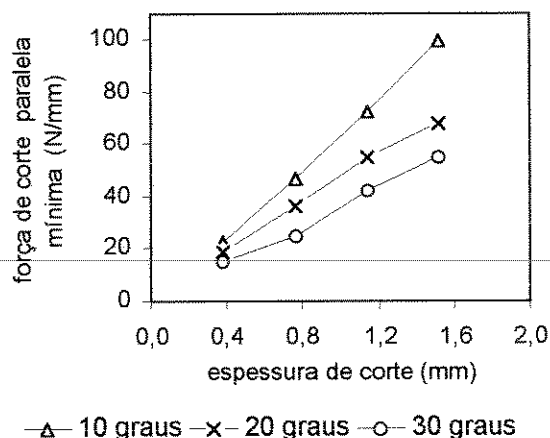


Figura 4.103– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna

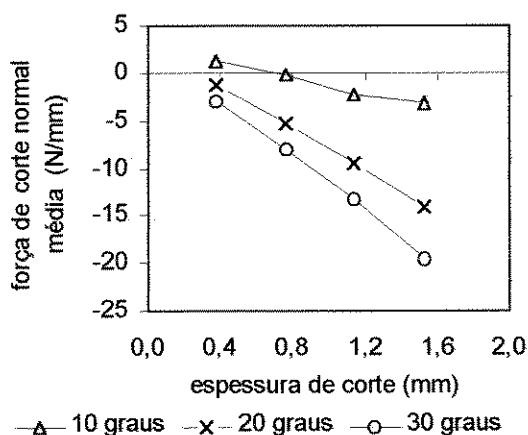


Figura 4.101– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna

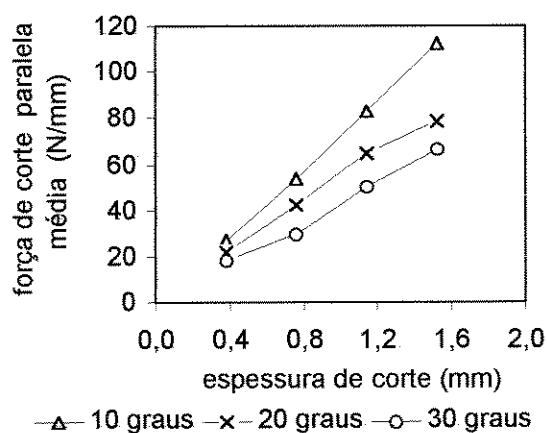


Figura 4.104– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna

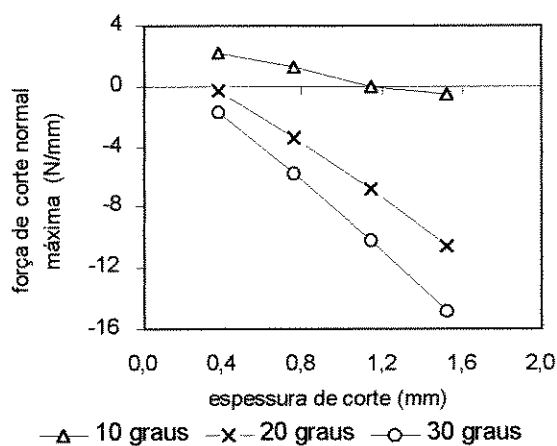


Figura 4.102– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna

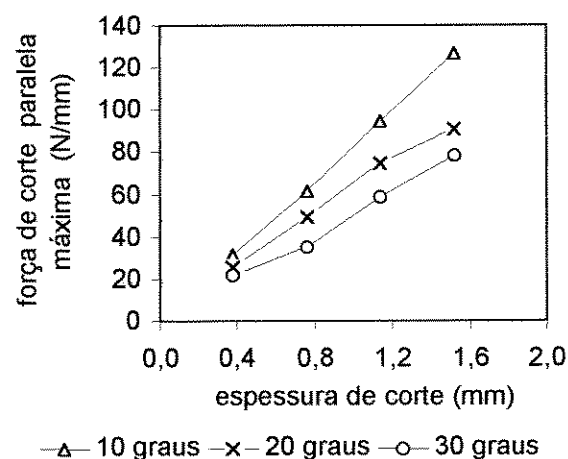
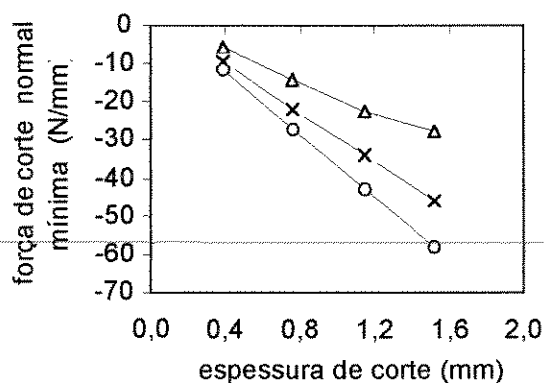
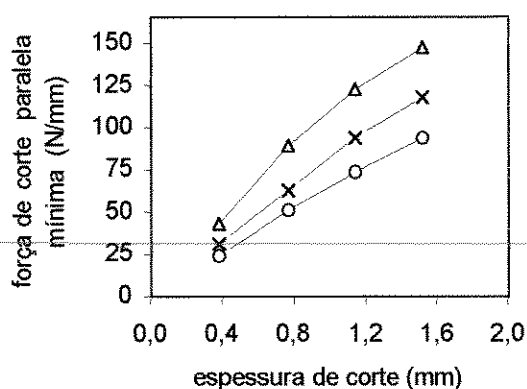


Figura 4.105– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna



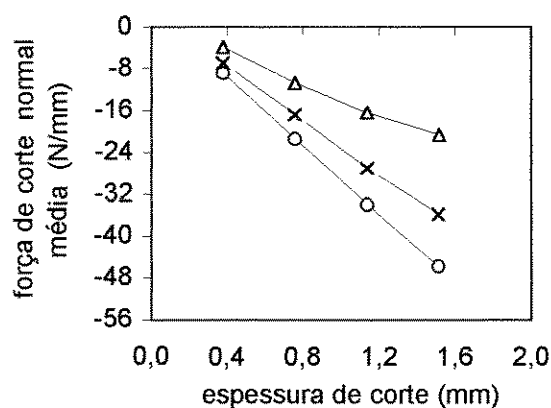
—△— 10 graus —x— 20 graus —○— 30 graus

Figura 4.106– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora



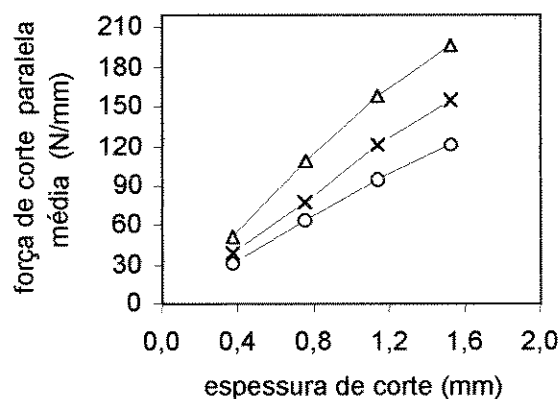
—△— 10 graus —x— 20 graus —○— 30 graus

Figura 4.109– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora



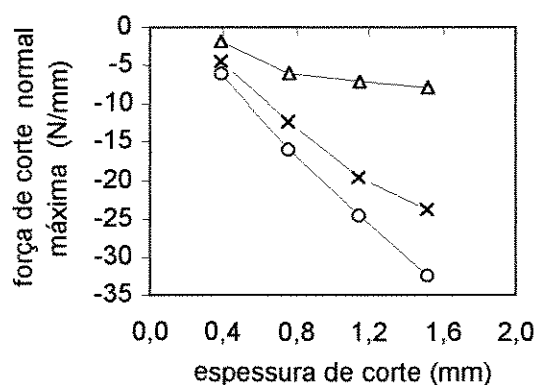
—△— 10 graus —x— 20 graus —○— 30 graus

Figura 4.107– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora



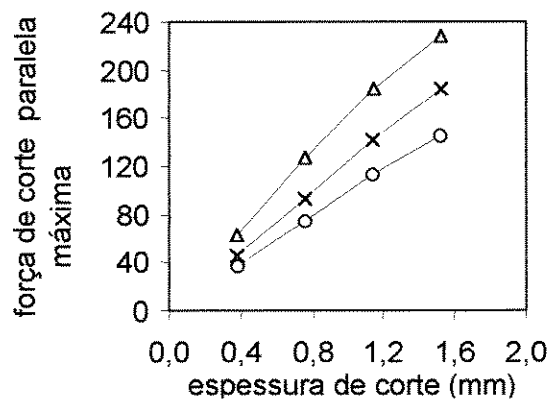
—△— 10 graus —x— 20 graus —○— 30 graus

Figura 4.110– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora



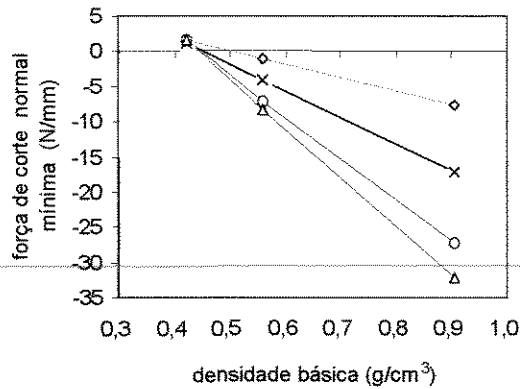
—△— 10 graus —x— 20 graus —○— 30 graus

Figura 4.108– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora



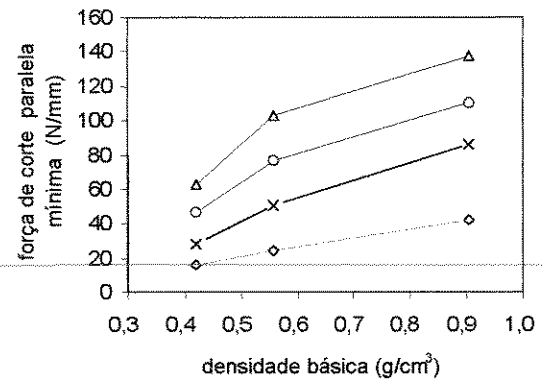
—△— 10 graus —x— 20 graus —○— 30 graus

Figura 4.111– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora



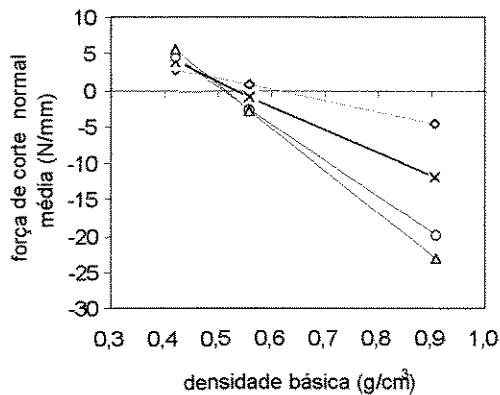
—◇— 0,38 mm —x— 0,76 mm —○— 1,14 mm —△— 1,52 mm

Figura 4.112— Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 20^\circ$



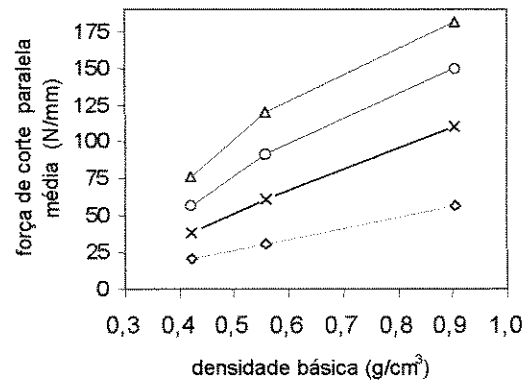
—◇— 0,38 mm —x— 0,76 mm —○— 1,14 mm —△— 1,52 mm

Figura 4.115— Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 20^\circ$



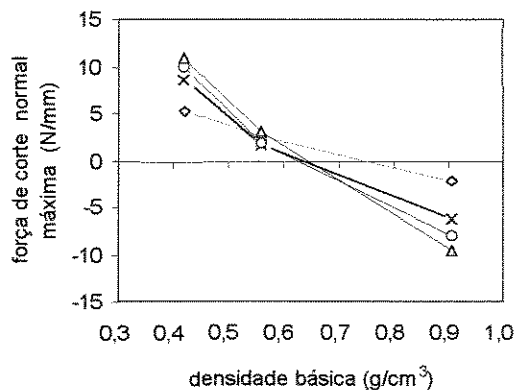
—◇— 0,38 mm —x— 0,76 mm —○— 1,14 mm —△— 1,52 mm

Figura 4.113— Relação entre a força de corte normal média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 20^\circ$



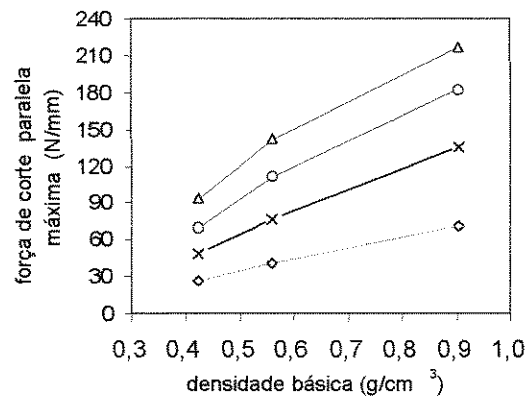
—◇— 0,38 mm —x— 0,76 mm —○— 1,14 mm —△— 1,52 mm

Figura 4.116— Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 20^\circ$



—◇— 0,38 mm —x— 0,76 mm —○— 1,14 mm —△— 1,52 mm

Figura 4.114— Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 20^\circ$



—◇— 0,38 mm —x— 0,76 mm —○— 1,14 mm —△— 1,52 mm

Figura 4.117— Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 20^\circ$

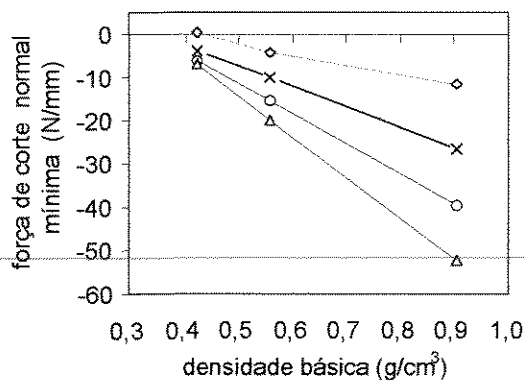


Figura 4.118 – Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 30^\circ$

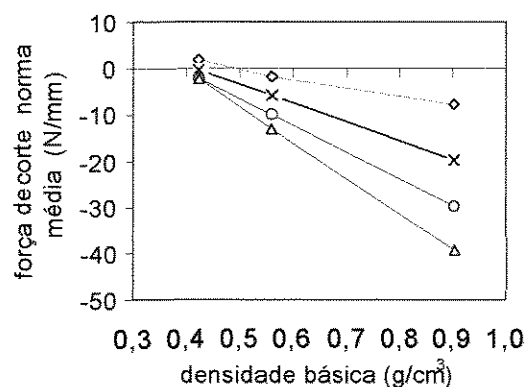


Figura 4.119 – Relação entre a força de corte normal média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 30^\circ$

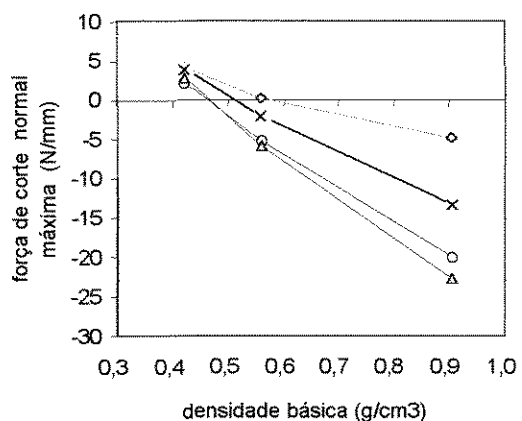


Figura 4.120 – Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 30^\circ$

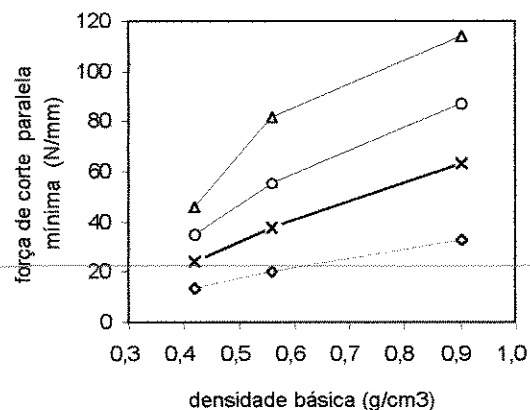


Figura 4.121 – Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 30^\circ$

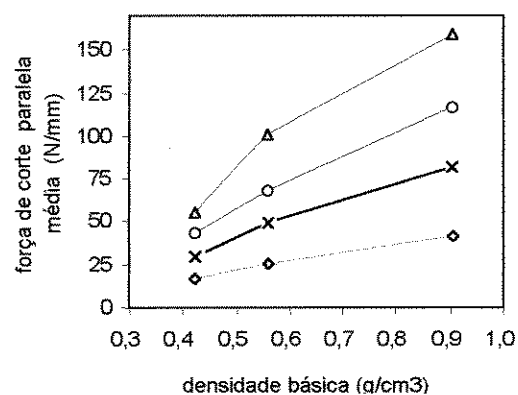


Figura 4.122 – Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 30^\circ$

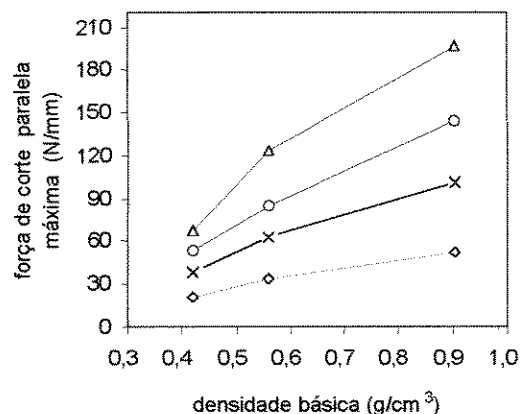


Figura 4.123 – Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 30^\circ$

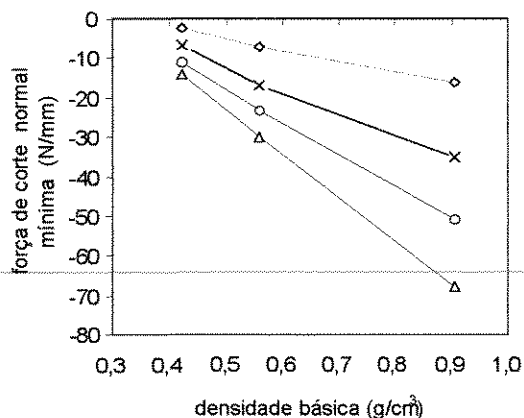


Figura 4.124 – Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 40^\circ$

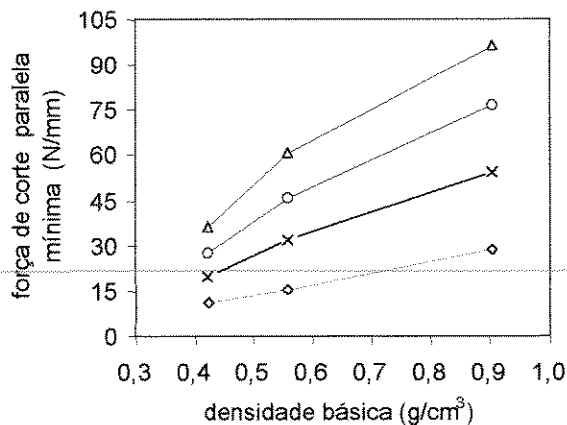


Figura 4.127 – Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 40^\circ$

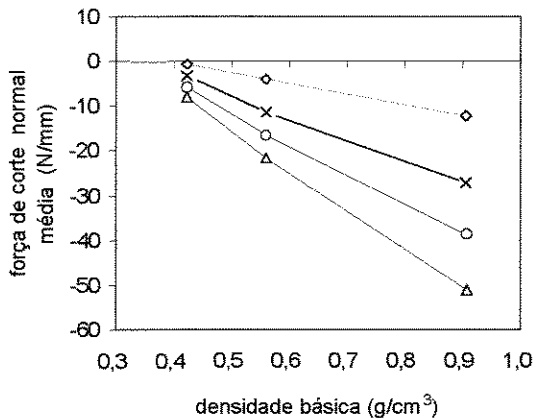


Figura 4.125 – Relação entre a força de corte normal média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 40^\circ$

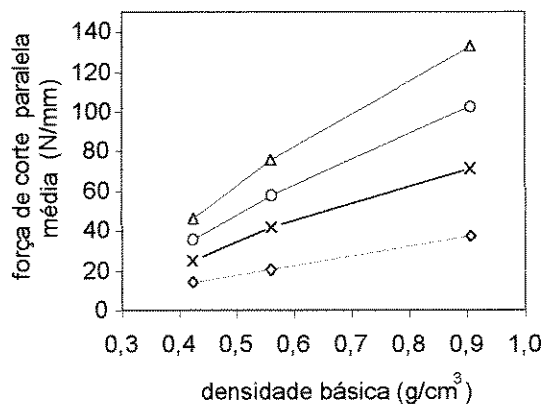


Figura 4.128 – Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 40^\circ$

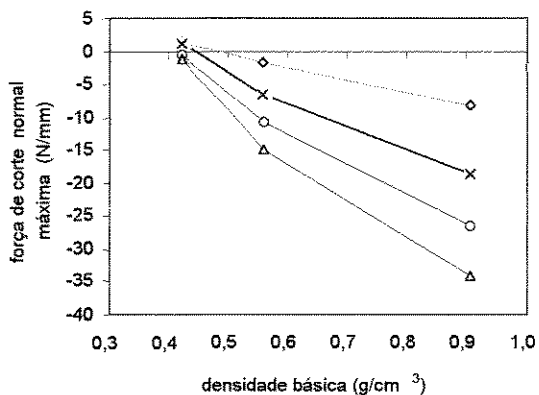


Figura 4.126 – Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 40^\circ$

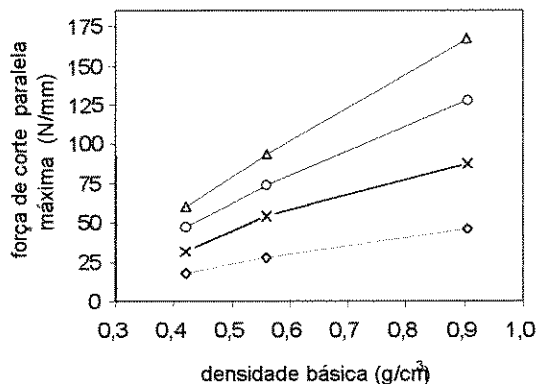
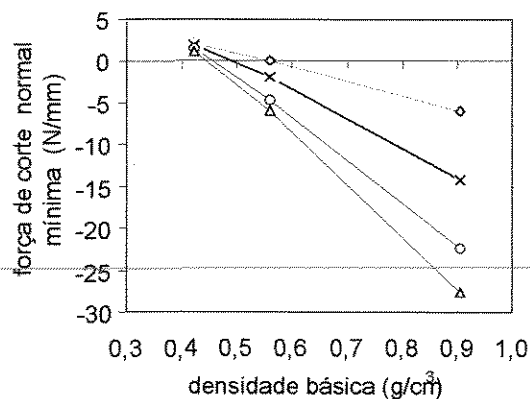
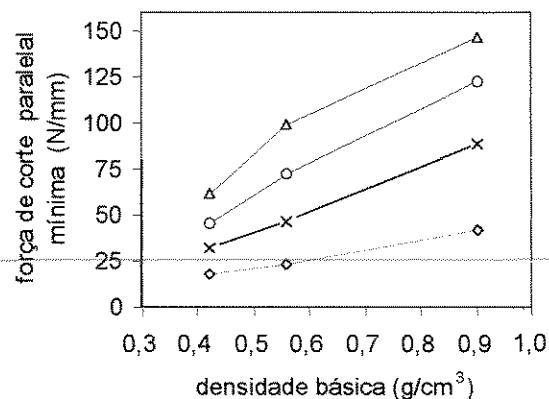


Figura 4.129 – Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 40^\circ$



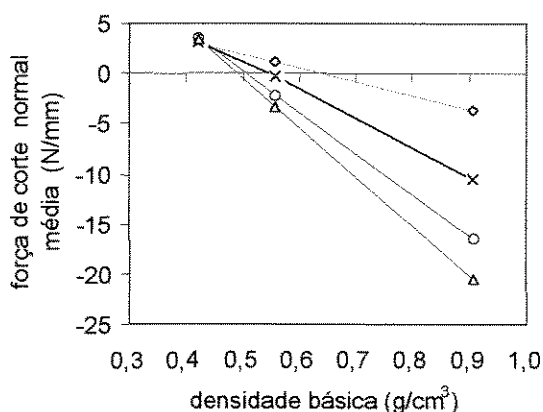
—○— 0,38 mm —x— 0,76 mm —●— 1,14 mm —▲— 1,52 mm

Figura 4.130 – Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 20^\circ$



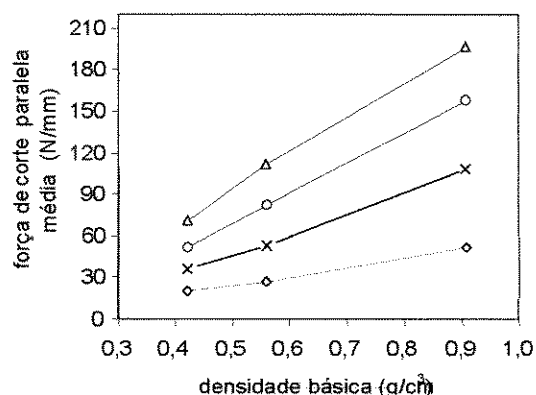
—○— 0,38 mm —x— 0,76 mm —●— 1,14 mm —▲— 1,52 mm

Figura 4.133 – Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 20^\circ$



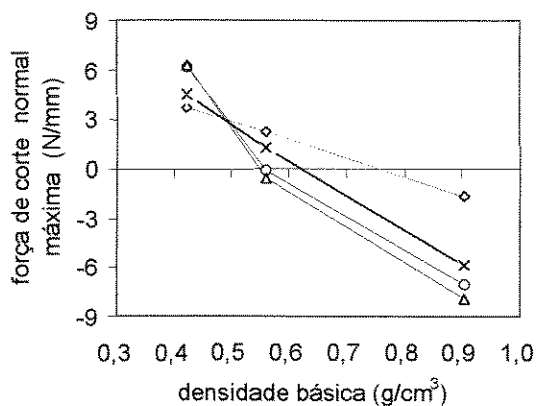
—○— 0,38 mm —x— 0,76 mm —●— 1,14 mm —▲— 1,52 mm

Figura 4.131 – Relação entre a força de corte normal média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 20^\circ$



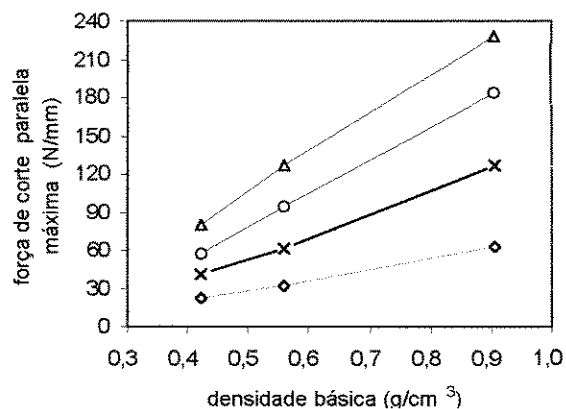
—○— 0,38 mm —x— 0,76 mm —●— 1,14 mm —▲— 1,52 mm

Figura 4.134 – Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 20^\circ$



—○— 0,38 mm —x— 0,76 mm —●— 1,14 mm —▲— 1,52 mm

Figura 4.132 – Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 20^\circ$



—○— 0,38 mm —x— 0,76 mm —●— 1,14 mm —▲— 1,52 mm

Figura 4.135 – Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 20^\circ$

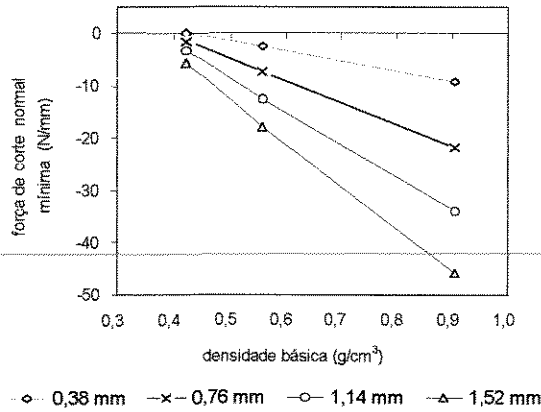


Figura 4.136 – Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 30^\circ$

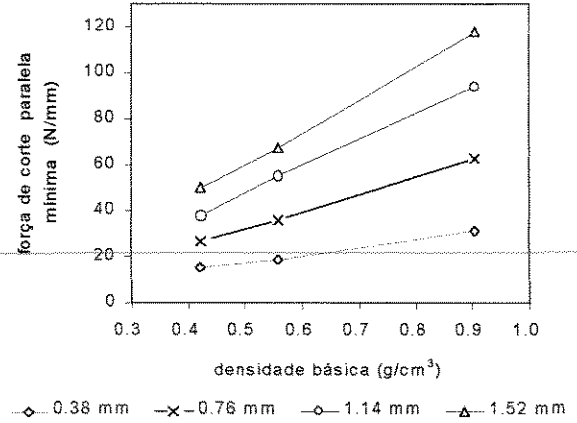


Figura 4.139 – Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 30^\circ$

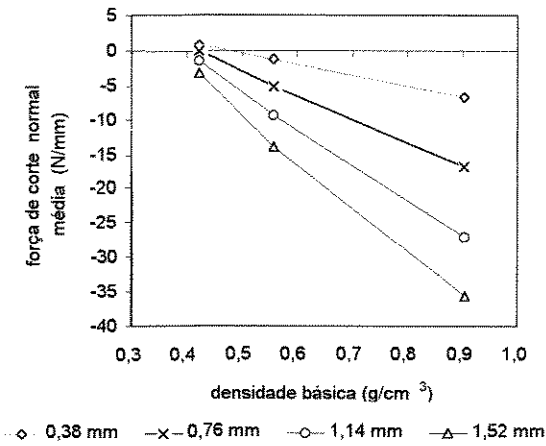


Figura 4.137 – Relação entre a força de corte normal média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 30^\circ$

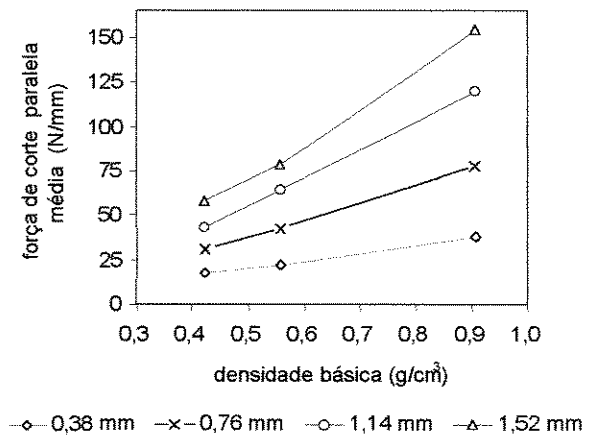


Figura 4.140 – Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 30^\circ$

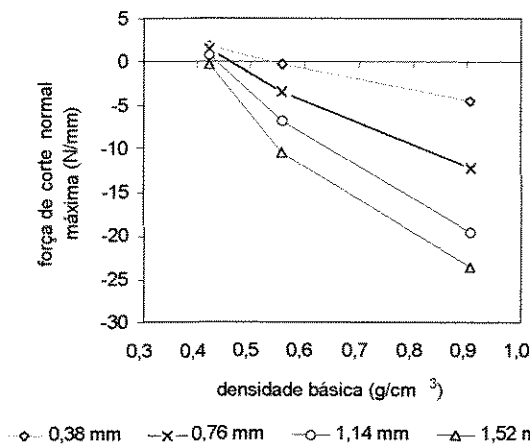


Figura 4.138 – Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 30^\circ$

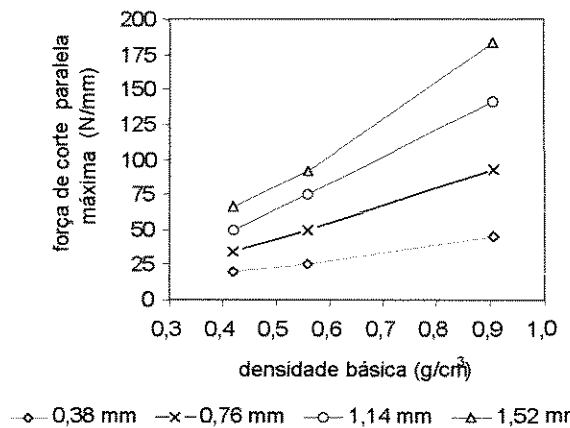


Figura 4.141 – Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 30^\circ$

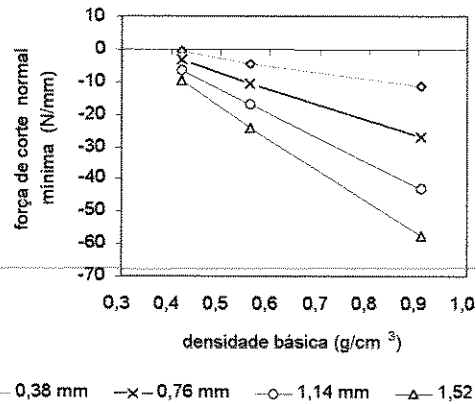


Figura 4.142 – Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 40^\circ$

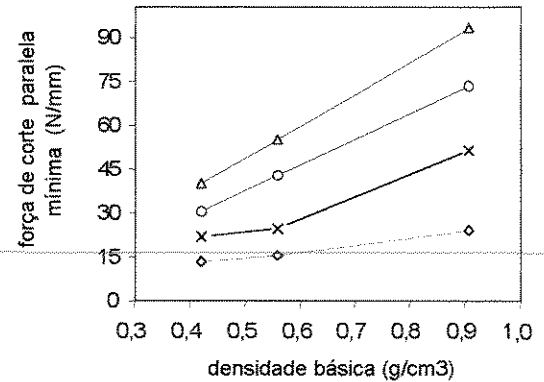


Figura 4.145 – Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 40^\circ$

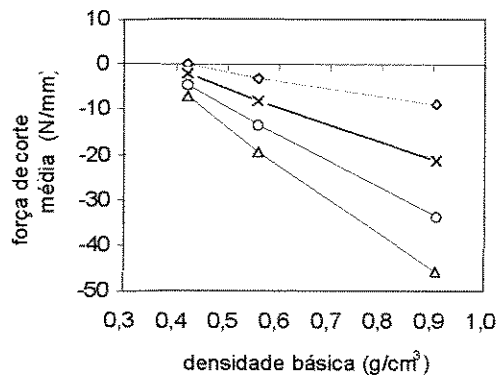


Figura 4.143 – Relação entre a força de corte normal média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 40^\circ$

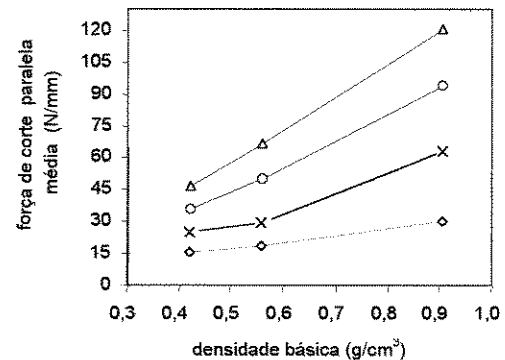


Figura 4.146 – Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 40^\circ$

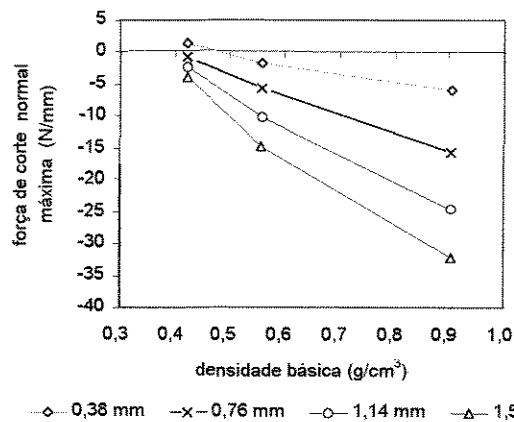


Figura 4.144 – Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 40^\circ$

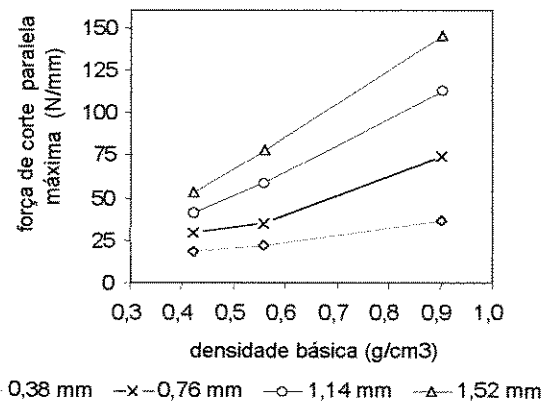


Figura 4.147 – Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), densidade básica (g/cm³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 40^\circ$

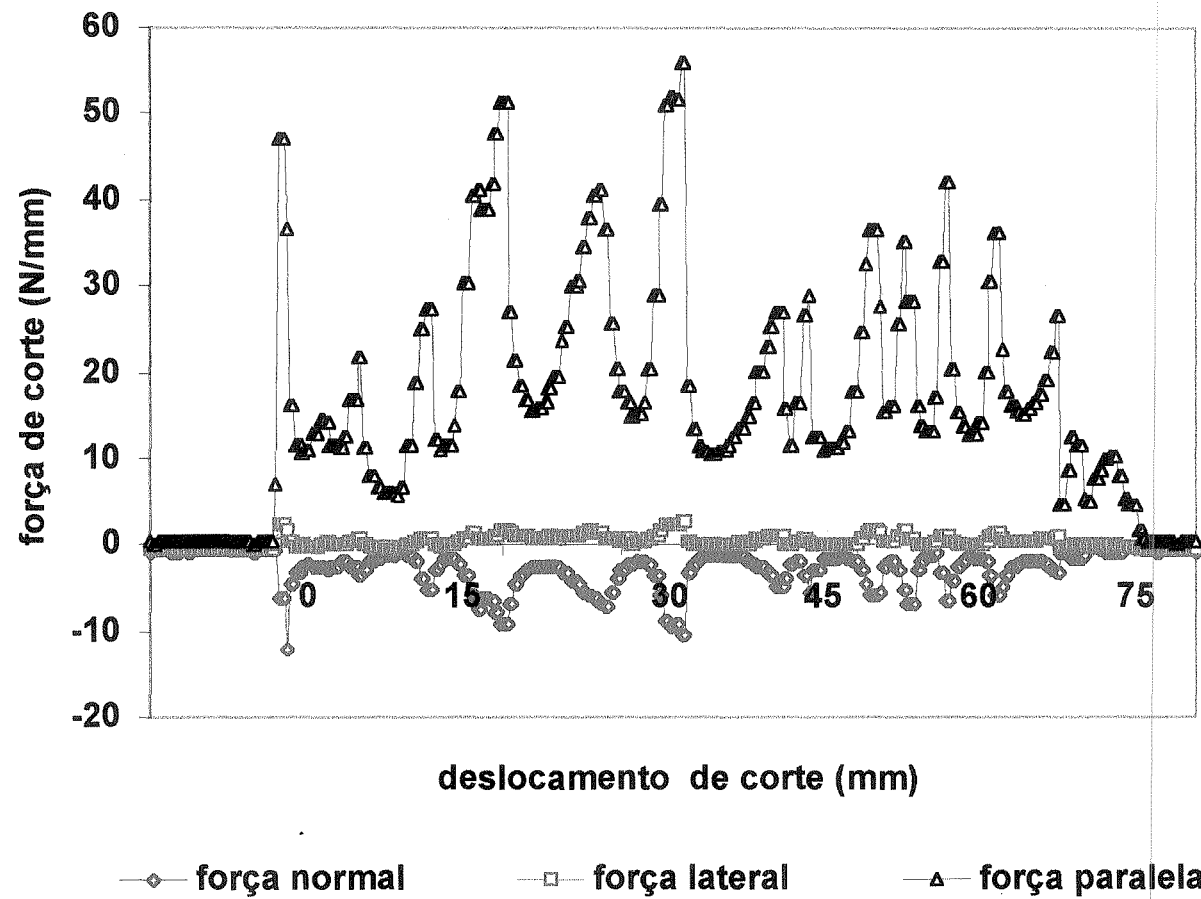


Figura 4.148 – Registro das forças paralela, normal e lateral durante a realização do ensaio de corte ortogonal 90-0 radial. Espécie: Eucalipto citriodora, espessura de corte: 1,52 mm e ângulo de ataque: $\alpha = 30^\circ$

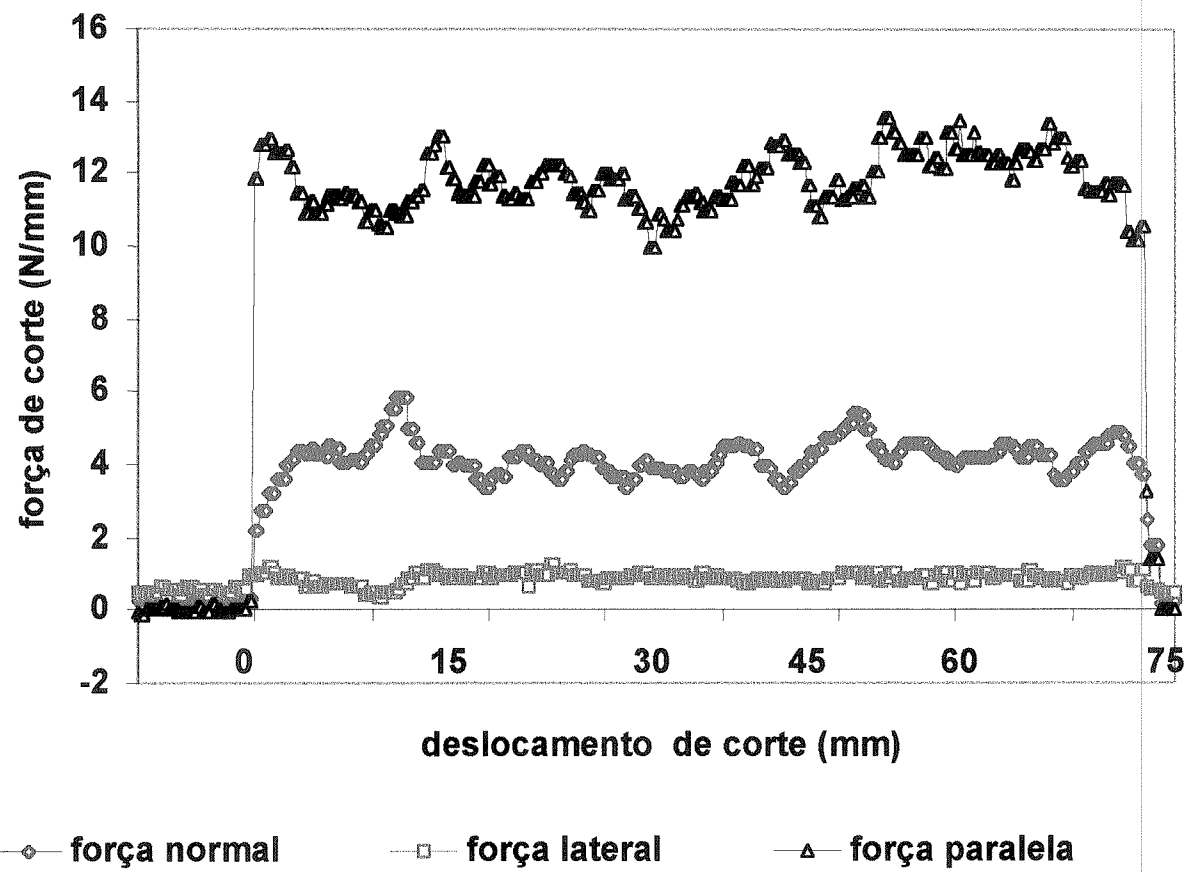


Figura 4.149 – Registro das forças paralela, normal e lateral durante a realização do ensaio de corte ortogonal 90-0radial. Espécie: Eucalipto grandis, espessura de corte: 0,38 mm e ângulo de ataque : $\alpha = 20^\circ$

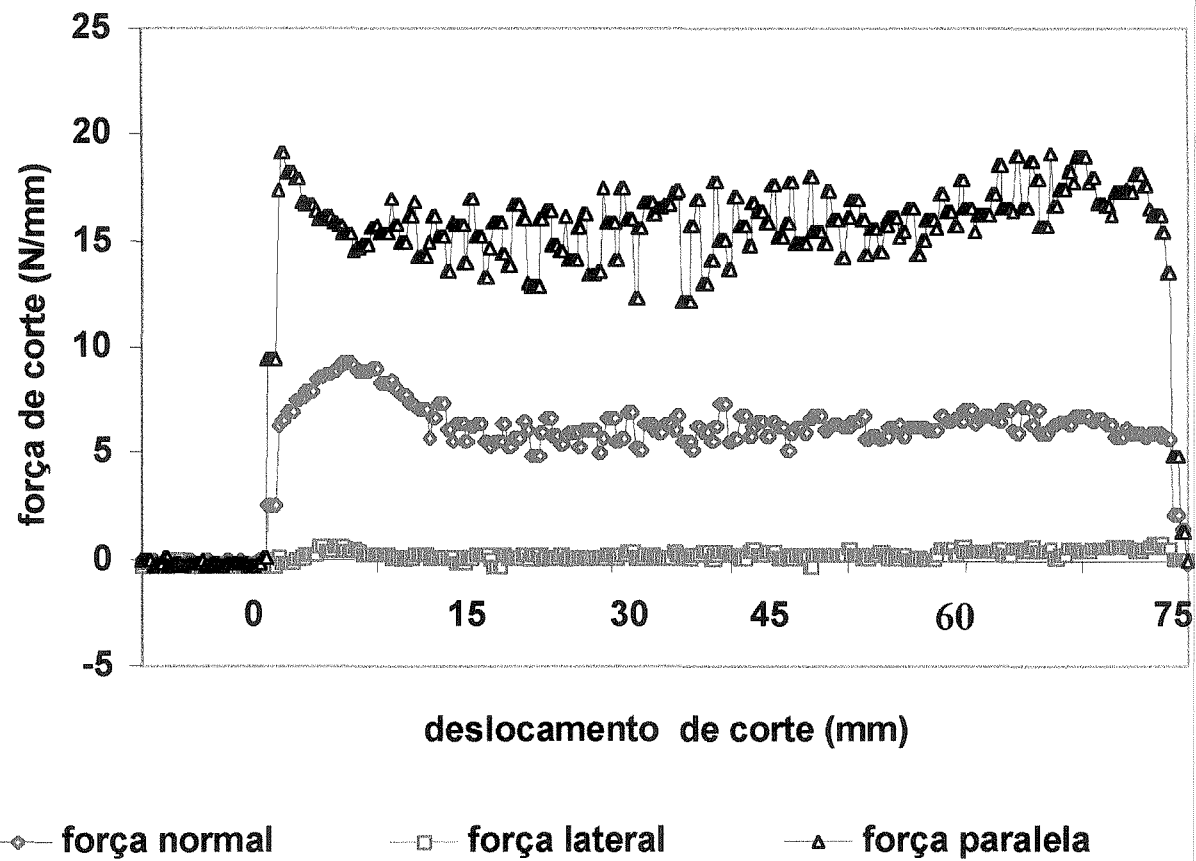


Figura 4.150 – Registro das forças paralela, normal e lateral durante a realização do ensaio de corte ortogonal 90-0 radial. Espécie: *Eucalypto grandis*, espessura de corte: 1,52 mm e ângulo de ataque : $\alpha = 10^{\circ}$

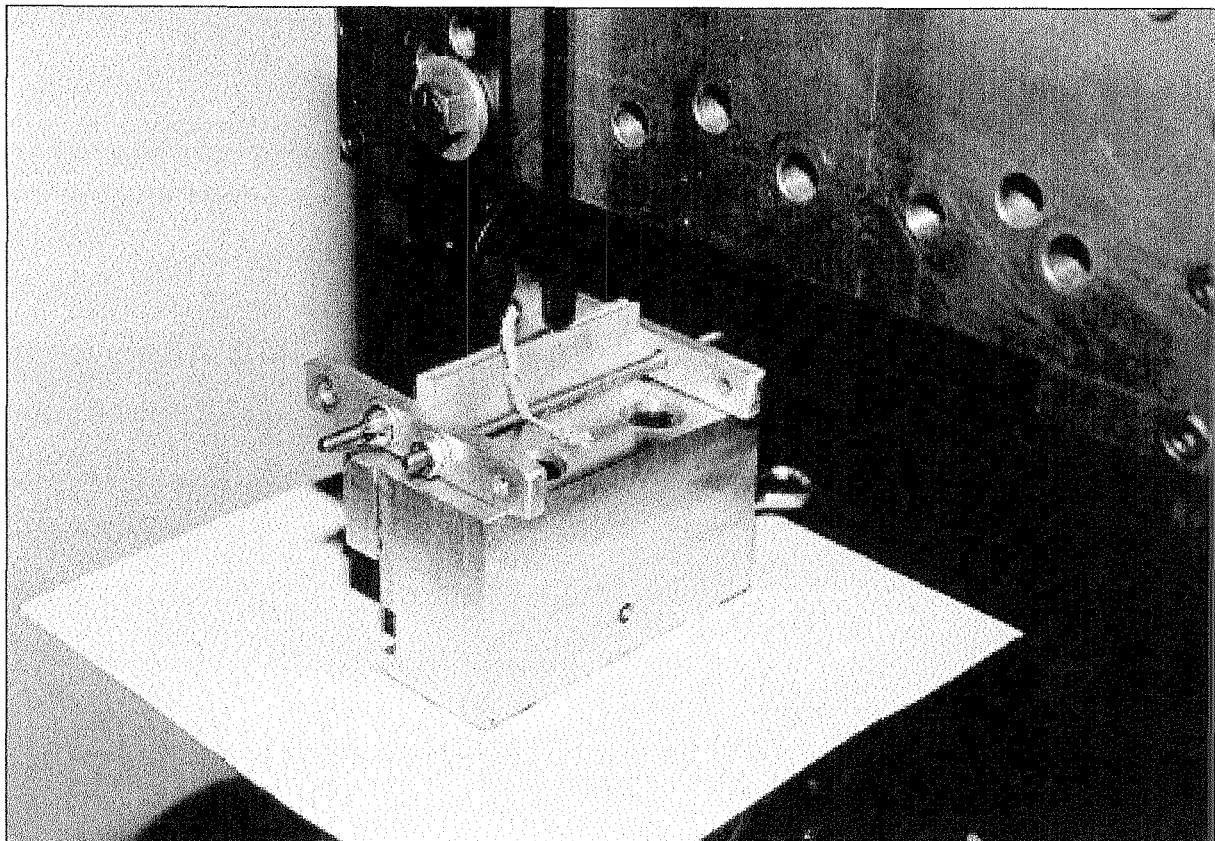


Figura 4.151 – Cavaco obtido no ensaio de corte ortogonal 90-90 tangencial
Espécie: Eucalipto citriodora, espessura de corte: 1,52 mm e ângulo de ataque $\alpha = 20^\circ$

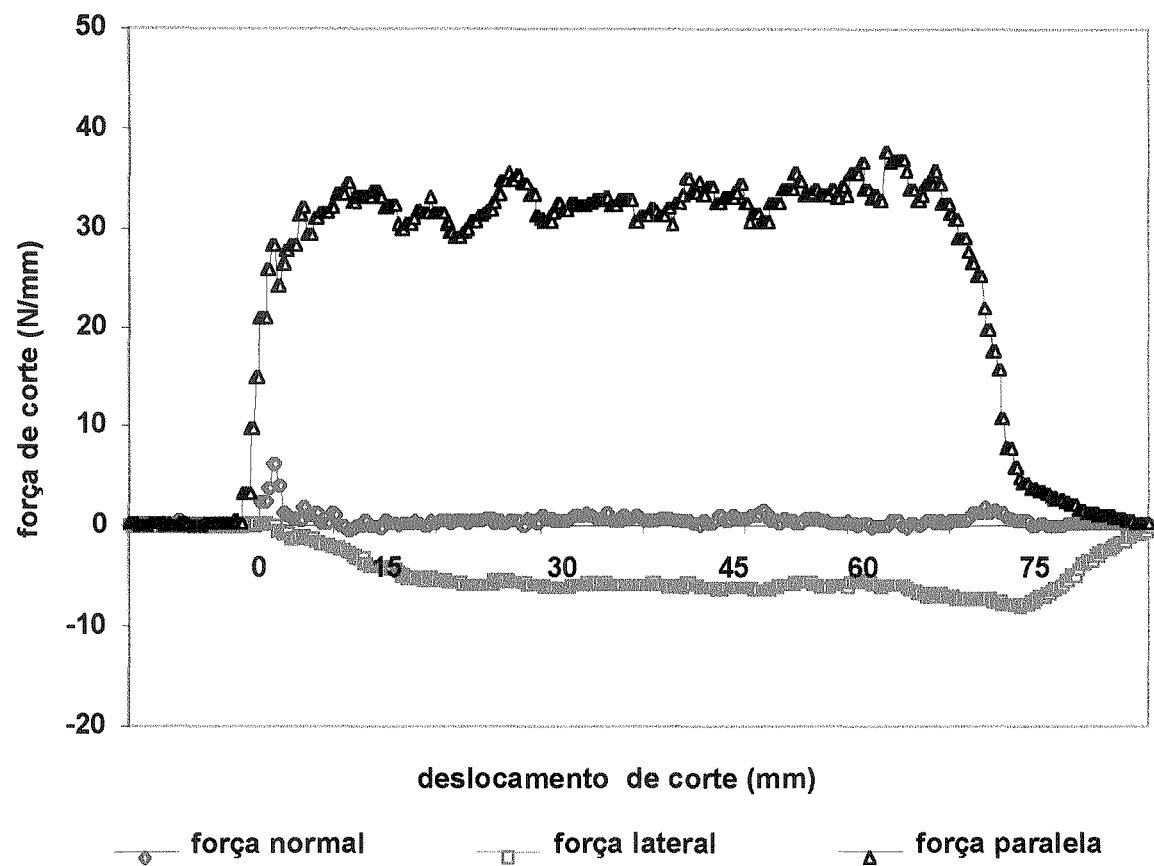


Figura 4.152 – Registro das forças paralela, normal e lateral durante a realização do ensaio de corte ortogonal 90-90 radial. Espécie: Eucalipto saligna, espessura de corte: 1.14 mm e ângulo de ataque : $\alpha = 20^{\circ}$

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As tabelas e figuras apresentadas no capítulo 4 mostram os valores das forças normais e paralelas mínimas, médias e máximas. O valor da força paralela máxima é particularmente importante para, por exemplo, o dimensionamento da potência das máquinas que compõe uma serraria. Os valores mínimos da força paralela, bem como os valores máximos e mínimos da força normal são importantes num trabalho fundamental como este, pois, através destes resultados se tem uma visualização do comportamento geral do ensaio de força de corte. Para as discussões, no entanto, serão tomados, principalmente os valores e gráficos obtidos para as forças médias.

É importante salientar, ainda, que, no caso das forças mínimas e máximas os valores representados nas tabelas e figuras são representativos dos “picos” encontrados em cada um dos ensaios. Ou seja, representam a média, das vinte repetições, dos maiores ou menores valores obtidos em um gráfico do tipo apresentado nas figuras de 4.148 a 4.150. São valores, portanto, importantes para o entendimento geral do comportamento da força de corte nas várias condições pesquisadas, mas, não devem ser a base da discussão e das conclusões. A força média é a que melhor representa o ensaio, estando menos afetada, por exemplo, por defeitos ocasionais (nó, fibras reversas, etc.) ou problemas relacionados ao ensaio, devido a grande quantidade de repetições efetuadas.

Tendo em vista que os cortes 90-0 e 90-90 apresentam características diferenciadas, a discussão dos resultados e conclusões será realizada separadamente.

5.1 - Corte ortogonal 90-0

O corte na direção 90-0 é muito utilizado para as operações de acabamentos superficiais da madeira. A qualidade, portanto, é muito importante neste caso.

5.1.1 - Relação das forças com os tipos de cavaco obtidos

Tal como já foi discutido na revisão bibliográfica se diferenciam três tipos de cavaco quando se trabalha a madeira em corte 90-0: os cavacos tipos I, II e III. O cavaco tipo II é o que produz uma melhor qualidade superficial do plano usinado.

A Figura 4.1 representa o cavaco tipo I. Como foi mencionado anteriormente, este tipo de cavaco está associado a ângulos de ataque elevados, grandes espessuras de corte e forças normais negativas. Uma força normal negativa indica que a ferramenta de corte tem a tendência de sair da madeira.

O cavaco tipo I é formado de maneira cíclica: o esforço exercido pelo instrumento de corte provoca uma ruptura por fendilhamento longitudinal. Esta ruptura provoca a abertura de fendas diante da aresta de corte da ferramenta e o fendilhamento se propaga seguindo a direção da fibra da madeira. O cavaco gerado desliza na superfície de ataque da ferramenta sofrendo esforços de flexão e a ruptura ocorre como se o cavaco fosse uma viga engastada. Em seguida outro ciclo se inicia. A ruptura neste caso não ocorre sob o fio da ferramenta, como pode ser observado na Figura 4.1, e sim em uma seção à frente da mesma. Desta maneira, não há como controlar o desenvolvimento desta ruptura e conseqüentemente da superfície de corte gerada. O defeito típico neste caso é o da fibra fragmentada (chipped grain).

O comportamento cíclico gerado neste tipo de cavaco pode ser visualizado na Figura 4.148 através dos picos existentes para o caso da força paralela. Os valores de pico representam o momento da ruptura por fendilhamento. A seguir observa-se trechos com

força muito pequena, ocasionados durante a propagação das fendas. Um outro pico ocorre quando se inicia o próximo ciclo.

As tabelas 4.1 à 4.4 mostram que o aparecimento dos diferentes tipos de cavaco varia com a espécie (densidade). Notou-se também uma diferenciação das direções tangencial e radial. A direção tangencial apresentou uma maior uniformidade de cavacos dentro de uma mesma condição de corte, enquanto que na radial houve a ocorrência mais freqüente de mais de um tipo de cavaco durante o ensaio.

De maneira geral, o cavaco tipo I foi obtido com ângulo de ataque de 30° e a partir de 0,76 mm de espessura de corte. De maneira mais detalhada, a análise dos dados mostra que, para o corte tangencial, o cavaco tipo I começa a surgir com ângulos de 20° , somente nas espécies saligna e citriodora e, somente para as maiores espessuras de corte 1,14 e 1,52 mm). Em grandis o cavaco tipo I ocorre somente para espessuras de corte acima de 1,14 mm enquanto que para o saligna e citriodora a partir de 0,76 mm.

Na direção radial há a ocorrência do cavaco tipo I para ângulo de 20° mesmo para E. grandis, no entanto, esta ocorrência é esporádica e mesclada com outros tipos de cavaco. Para o eucalipto saligna e citriodora o comportamento foi semelhante ao obtido para a direção tangencial, no entanto houve, para este caso, uma mistura um pouco mais acentuada de tipos de cavaco.

As tabelas 4.3 e 4.4 mostram que, em geral todos os casos onde se obteve o cavaco tipo I, as forças de corte normais médias foram negativas, conforme menciona a literatura.

O cavaco tipo III se produz em condições de pequenos ângulos de ataque e forças normais e positivas.

A Figura 4.3 apresenta um exemplo de cavaco tipo III. Neste caso, a força exercida pela ferramenta de corte provoca ruptura por cisalhamento e compressão

paralela. O cavaco formado tem dificuldade de se soltar da face de ataque da ferramenta de corte e se compacta nesta face. A ruptura neste caso se dá num plano abaixo do plano de corte e os defeitos normalmente são ocasionados porque os cortes dos elementos da madeira ficam incompletos na superfície – fibra em pelúcia (fuzzy grain).

A Figura 4.150 apresenta um exemplo de gráfico obtido na geração de um cavaco tipo III. As forças obtidas neste caso são maiores que as obtidas em mesmas condições na formação de outros tipos de cavacos. Isto ocorre porque neste caso, a ruptura se dá em um tipo de solicitação para o qual a madeira tem resistência elevada (compressão paralela ou cisalhamento paralelo). Neste caso, o cavaco também se forma de maneira cíclica, mas não se observa picos no gráfico como para o tipo I.

Os resultados obtidos neste trabalho para a direção tangencial mostram que para o ângulo de ataque $\alpha = 10^\circ$, o tipo de cavaco formado foi sempre tipo III para todas as espessuras de corte e todas as espécies. No corte radial houve a ocorrência de mistura com cavaco tipo II, para a espécie *grandis* e *saligna* e cavaco tipo III puro para as espécies *saligna* e *citriodora* nas menores espessuras de corte. Para o ângulo de 20° , houve a ocorrência do cavaco tipo III puro (sem mistura com outros tipos de cavacos) somente para a espécie *grandis*, na direção tangencial e nas espessuras de corte 0,76 e 1,14 mm. Para a direção radial houve a ocorrência de cavaco tipo III para *grandis* e *saligna* mas sempre misturado a outros tipos de cavacos. Para o ângulo de 30° nenhuma espécie apresentou este tipo de cavaco.

Em *E. grandis*, observa-se ainda que as forças normais médias de corte em *E. grandis* foram sempre positivas e superiores a 0,13 N/mm no caso dos corpos de prova tangenciais (tabela 4.3) e maiores que 1,31 N/mm para o caso dos corpos de prova radiais (tabela 4.4). Uma força normal positiva indica que a faca teve a tendência de penetrar ou pressionar a madeira. As diferenças entre estas forças mínimas, nos dois tipos de orientação do corpo de prova, se explica pela diferença entre as propriedades mecânicas transversais da madeira. De fato, sabe-se que a resistência da madeira a tração ou compressão radial é maior que a resistência a tração ou compressão tangencial. Desta

maneira, a força normal requerida para produzir os cavacos serão menores no caso dos corpos de prova tangenciais que nos radiais, tal como mostram os resultados deste trabalho.

A Figura 4.149 representa o comportamento do gráfico durante o corte na formação do cavaco tipo II. Neste caso, a ação da ferramenta de corte provoca a ruptura por cisalhamento diagonal. O cisalhamento diagonal é um tipo de solicitação para o qual o comportamento da madeira em termos de resistência é intermediário entre o fendilhamento (baixa resistência) e o cisalhamento paralelo (resistência mais elevada). É de se esperar, portanto, que a força de corte neste caso tenha também valores intermediários às produzidas durante a formação dos cavacos tipos I e III.

O cavaco formado neste caso é contínuo e normalmente a superfície gerada é de boa qualidade. O cavaco formado tem a forma espiralada e a ruptura se dá sob a aresta de corte da ferramenta, conforme se observa na Figura 4.2. Neste caso, existe uma possibilidade de maior controle do trabalho.

O cavaco tipo II é o que produz uma melhor qualidade de superfície e está associada a ângulos de ataque intermediários, pequenas espessuras de corte e forças normais de corte próximas de zero ou ligeiramente negativas (Franz 1958; Stewart 1977).

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que, este tipo de cavaco foi obtido em condições intermediárias, ou seja, com ângulo de ataque de 20° e pequenas espessuras de corte. Em alguns casos este tipo de cavaco ocorreu com ângulos de 10° e 30°, sempre quando a espessura de corte era a mínima (0,38 mm).

No corte radial, com exceção de *E. grandis*, o cavaco tipo II sempre foi obtido para pequenas espessuras, independente do ângulos de ataque. A espessura de corte na qual ocorre a transição do cavaco tipo II para o tipo I variou com a espécie. A tendência mostrada foi a de que quanto maior a densidade menor é a espessura de transição.

Os resultados deste trabalho mostram que as forças normais médias nestas condições foram em geral próximas de zero ou ligeiramente negativas, tal como indicado pela literatura. Da mesma maneira como no caso do cavaco tipo III, os valores das forças normais foram ligeiramente maiores para os corpos de prova radiais que para os tangenciais.

A relação F_p (máxima) / F_p (média) pode ser usada para, juntamente com a observação do tipo de cavaco representar o comportamento observado nas figuras 4.148, 4.149 e 4.150. Os resultados obtidos para as três espécies de eucalipto na direção tangencial, mostram que F_p (máxima) é em média de 17% maior que a F_p (média), para todas as espessuras de corte, quando o ângulo de ataque é de $\alpha = 10^\circ$. Para este caso os cavacos obtidos foram tipo III, confirmando a inexistência de picos (valores mais homogêneos).

Para ângulo de ataque $\alpha = 20^\circ$ e espessuras pequenas este valor fica em torno de 30 a 35% e o tipo de cavaco obtido é o tipo II. Tendo em vista que para este caso também não há a ocorrência de picos como no caso do cavaco tipo I e que, as forças não são tão elevadas como no caso do cavaco tipo III, os valores da relação $F_p(\text{máxima})/F_p(\text{média})$ são intermediários entre os obtidos para o caso do cavaco tipos I e III.

Esta relação sobe para 50 a 90% quando o ângulo é de 30° com pequenas variações entre as espécies, dependendo apenas da espessura onde ocorre a transição do cavaco. Esta variação progressiva mostra a passagem do cavaco desde o tipo III até o tipo I, passando por transições onde se encontram cavacos tipos I, II e III misturados.

Na direção radial as espécies se comportaram de maneira um pouco diferente com relação ao tipo de cavaco obtido e esta diferenciação foi também confirmada pelas diferenças obtidas nas relações F_p (máximo)/ F_p (médio).

Para a espécie *grandis* observou-se que a relação se manteve uniforme e baixa. A $F_p(\text{máxima})$ foi em média 20% maior que a $F_p(\text{média})$, para praticamente todos os ângulos de ataque e todas as espessuras de corte, subindo para 31% apenas para $\alpha = 30^\circ$

e espessura de corte de 1.52 mm. Os cavacos obtidos foram sempre misturados III e II para o ângulo menor e pequenas espessuras de corte e II e I para os ângulos de 20 e 30° e maiores espessuras de corte.

O eucalipto saligna manteve relações pequenas (em torno de 20%) para $\alpha = 10^\circ$ (todas as espessuras de corte) e para $\alpha = 20^\circ$ até a espessura de 1,14 mm. Para $\alpha = 30^\circ$ nas espessuras maiores (1,14 e 1,52 mm) esta relação subiu em média a 170%.

O eucalipto citriodora manteve relações em torno de 20% na média para ângulos de 10° (todas as espessuras de corte) e para $\alpha = 20^\circ$ na menor espessura de corte. Para as $\alpha = 20^\circ$ e espessura de 0,76 mm e $\alpha = 30^\circ$ para a espessura menor (0,38 mm) este valor subiu a 55% na média e para as outras condições para 150% em média.

5.1.2 - Relação das forças com as espessuras de corte e densidade

5.1.2.1 - Força paralela

De maneira geral, os resultados mostram que a força paralela aumenta com a espessura de corte e com a densidade para todos os ângulos de ataque. No entanto, a intensidade de variação desta força varia com o ângulo de ataque e com a direção de corte (radial ou tangencial) e está relacionado ao tipo de cavaco formado.

Para o ângulo de 10° observa-se que a relação entre força paralela e espessura de corte é nitidamente linear e que a reta obtida tem inclinação elevada indicando uma influência acentuada da espessura de corte para todas as espécies e direções de corte. Este comportamento retilíneo pode ser explicado pela invariabilidade do tipo de cavaco obtido em todas as espessuras de corte (tipo III).

Para o ângulo de 20° as três espécies tiveram um comportamento aproximadamente igual, na direção tangencial, para espessuras de corte até 1,14 mm. Para o eucalipto grandis a relação continua linear, mas para o saligna e citriodora o valor

da força não cresce linearmente no trecho de 1,14 mm a 1,52 mm. Esta diminuição da força pode ser explicada pela presença de cavaco tipo I nesta espessura de corte para as espécies mencionadas. No corte radial este comportamento foi diferente para a espécie citriodora. A força cresce pouco com o aumento da espessura de corte, notando-se um aumento inicial, entre as espessuras 0,38 mm e 0,76 mm e logo um aumento pequeno da força em relação à espessura, não acompanhando a tendência linear. Isto pode ser também explicado através da formação dos cavacos, tendo em vista que a transição do cavaco tipo II para o I neste caso ocorreu exatamente para a espessura de 0,76 mm.

Para 30°, as espécies apresentaram um comportamento muito semelhante no corte tangencial. No corte radial o eucalipto saligna apresentou um comportamento muito próximo do citriodora no ângulo de 20°, ou seja, a variação da força de corte com a espessura é muito pequena.

Em relação a densidade, de maneira geral a força paralela aumenta com o aumento da densidade. No caso dos corpos de prova tangenciais a relação pode ser considerada linear para a força paralela média e máxima. No caso dos corpos de prova radiais, a relação foi dependente do ângulo de ataque e da espessura de corte. A força paralela aumentou de maneira linear com a densidade para o ângulo de ataque de 10°, mas se tornou curvilínea para os ângulos de ataque de 20° e 30°. As curvaturas se tornaram maiores à medida que a espessura de corte aumentou. Estas mudanças na relação da força paralela e densidade obedecem claramente também às mudanças havidas nos tipos de cavacos formados durante o corte e discutidos anteriormente.

Com ângulo de ataque de 10° houve a formação do cavaco tipo III na maior parte dos casos e, portanto, as propriedades mecânicas da madeira implicadas durante o corte foram sempre as mesmas à medida que a densidade aumentou. Este comportamento originou relações retilíneas.

A medida que o ângulo de ataque e espessura de corte aumentaram, houve a ocorrência de transição de um tipo de cavaco a outro, o que, conseqüentemente afetou a relação entre a força paralela e a densidade da madeira.

Desta maneira, fica comprovado que as variáveis (ângulo de ataque e espessura de corte) são muito importantes no tipo de cavaco formado durante o corte ortogonal 90-0. O corte na direção radial, aparentemente oferece uma maior variação na relação entre a densidade e as forças de corte, dada sua maior variação a nível de formação de cavacos (tabelas 4.1 e 4.2)

5.1.2.2 - Força normal

Segundo Woodson (1979) espera-se que, no corte ortogonal 90-0 com ângulos de ataque pequenos, os cavacos sejam homogêneos e as forças normais médias sejam positivas e crescentes com a espessura de corte e a densidade. Os resultados obtidos neste trabalho confirmam em parte esta afirmação. Os cavacos foram homogêneos (principalmente na direção tangencial) e as forças normais foram sempre positivas e crescentes com a espessura para as três espécies e para as direções tangencial e radial.

Pode-se dizer que a inclinação do gráfico da força normal x espessura de corte inverte ou pelo menos inicia a inversão de sua direção à partir do ângulo de 20° para todas as espécies. Ou seja, para ângulos pequenos a força normal cresce positivamente com a espessura de corte. Conforme o ângulo aumenta, a inclinação da reta vai diminuindo, passando por um valor tal de ângulo de ataque para o qual não há variação da força normal com a espessura de corte (reta paralela ao eixo das abcissas). Se o ângulo de ataque continua a crescer, a inclinação da reta muda de direção fazendo com que a força normal diminua com o aumento da espessura de corte até o ponto em que a reta cruza o eixo das abcissas e o valor da força normal passa a ser negativo. Neste caso, pode-se dizer que a força normal volta a ser crescente com o aumento da espessura de corte em valor absoluto. Os resultados obtidos neste trabalho mostram que, para as espécies saligna e citriodora, quando o ângulo de ataque é de 30°, a força normal média, cresce com a espessura de corte em valor absoluto, tornando-se cada vez mais negativa. Os resultados mostram ainda que, a força normal passa de positiva à negativa (transição) para ângulos de ataque próximos de 20° para a espécie citriodora, entre 20° e 30° graus a

espécie saligna e para ângulos maiores que 30° para a espécie grandis. Isto estaria indicando que, o ângulo de ataque ideal proposto por Stewart (1977) estaria dentro desta faixa para as espécies citadas, tendo em vista que a hipótese do autor para calcular este ângulo é de que a força normal seja aproximadamente zero.

A variação da força normal em função da densidade foi similar para os dois tipos de orientação dos corpos de prova. Esta variação foi semelhante a já apresentada no caso da força paralela, com relação aos diferentes tipos de cavacos produzidos em cada situação de corte. O efeito da densidade na força normal média aumentou com o aumento da espessura de corte e variou com os diferentes ângulos de ataque.

Tendo em vista a grande variação dos cavacos, a relação entre a força normal de corte e a densidade será também complexa, sendo em alguns casos retas e em outros casos curvas, dependendo do ângulo de ataque e espessura de corte.

Para o corte 90-0 na direção tangencial e um ângulo de 10° , a força normal média não varia, ou varia muito pouco com a densidade para baixas espessuras de corte, ou seja 0,38 e 0,76 mm. A maiores espessuras a força é igual para grandis e citriodora e aumentou para saligna mostrando um pico (Figura 4.41). Para o corte 90-0 em direção radial e um mesmo ângulo de ataque o efeito da densidade foi ainda pequeno e aumentou ligeiramente para maiores espessuras de corte. Neste último caso, a força normal diminuiu ligeiramente com o aumento da densidade da madeira (Figura 4.59).

A medida que ângulo de ataque aumenta, a força normal tende a se tornar negativa (Figuras 4.47 e 4.53). Os resultados obtidos neste trabalho mostram que, para o saligna e grandis, a força normal média foi sempre negativa para o ângulo de 30° (Figuras 4.53 e 4.71). Para grandis, a força normal não foi negativa para nenhum dos ângulos de ataque estudados, mostrando que, seriam necessários ângulos de ataque maiores que 30° para que esta força se tornasse negativa (Tabelas 4.3 e 4.4). Uma força normal negativa indica que a ferramenta de corte (faca) tende a levantar ou sair da madeira durante o corte.

Da mesma maneira que para a força paralela, as relações entre F_n (máxima) / F_n (média) crescem à medida que se passa do cavaco tipo III para o cavaco tipo I.

No corte 90-0 o que geralmente se pretende obter é uma peça de madeira com uma boa qualidade de superfície. Neste caso, estimar a energia de corte a partir da densidade não é tão importante quanto determinar as condições de corte apropriadas para gerar cavacos tipo II. A estimação do ângulo de ataque mais apropriado poderá ser realizado com a utilização dos valores de força normal e paralela obtidos nas diferentes condições de corte.

5.2 - Corte ortogonal 90-90

5.2.1 - Relação das forças com os tipos de cavaco obtidos

Segundo a literatura, no corte ortogonal 90-90, cavacos uniformes devem ser obtidos quando o ângulo de ataque varia de 30° a 40° e quando o instrumento de corte tem boa qualidade de afiação (Koch 1995). Se isto é verdade, as relações $F_p(\text{máxima})/F_p(\text{média})$ devem se manter constantes dentro de uma mesma espécie para todos as espessuras de corte e ângulos de ataque. Os resultados obtidos neste trabalho confirmam esta expectativa. Existe uma pequena variação desta relação entre as espécies, mas dentro da espécie a relação não varia significativamente nem com a espessura de corte nem com o ângulo de ataque. Para o corte na direção tangencial as forças máximas encontradas foram de 13% maior que a força média para a espécie *grandis*, 17% para a espécie *saligna* e 20% para a espécie *citriodora*. Para o corte radial estas relações continuaram sendo constantes dentro da espécie, mas cresceram para 26% para o eucalipto *grandis*, 23% para o eucalipto *saligna* e 24% para o eucalipto *citriodora*. Woodson (1979) obteve em média um valor de 23% para as 22 espécies de dicotiledôneas pesquisadas.

Tendo em vista que a relação foi invariável e pequena, espera-se que o gráfico do ensaio seja razoavelmente constante, sem muitos picos e que os gráficos que representam

as relações entre forças e espessura de corte tenham tendência linear para todos os ângulos de ataque. O gráfico representativo do ensaio de corte ortogonal 90-90 apresentado na figura 4.151 e as discussões apresentadas em 5.2.2 e 5.2.3 confirmam estas expectativas.

5.2.2 - Relação das forças com as espessuras de corte e densidade

5.2.2.1 - Força paralela

A força paralela média aumenta com o aumento da espessura de corte e com o aumento da densidade básica para todas as espécies. Espera-se que, os gráficos força paralela x espessura de corte e força paralela x densidade tenham uma relação linear para todos os ângulos de ataque.

No caso dos corpos de prova tangenciais, esta relação foi linear, mas para os corpos de prova radiais esta relação, ainda que apresentou uma boa tendência, não foi perfeitamente linear no caso de espessuras elevadas. Neste caso, é possível que a correção da superfície que se fez para eliminar a zona afetada pelo primeiro corte não tenha sido efetuada eficientemente. Isto ocorreu, principalmente, nos casos de maiores forças de corte, ou seja, com ângulos de ataque de 10° e 20°.

A força paralela diminui com o aumento do ângulo de ataque, para todas as espécies estudadas.

5.2.2.2 - Força normal

De acordo com Woodson (1979), a força normal média é positiva para madeiras com densidades básicas menores que 0,50 g/cm³ e negativas para madeiras com densidades básicas maiores que 0,50 g/cm³. Os resultados obtidos neste trabalho mostram que, para a espécie *grandis*, cuja densidade básica média foi de 0,415 g/cm³ a força normal média foi sempre positiva somente para o menor ângulo de ataque (20°) e

negativa para os demais ângulos de ataque estudados. Para as espécie citriodora, cuja densidade média foi de $0,912 \text{ g/cm}^3$, as forças normais médias foram sempre negativas. Para a espécie saligna, cuja densidade média foi de $0,564 \text{ g/cm}^3$ houve um único valor médio positivo, que ocorreu para o ângulo de ataque de 10° , tanto na direção radial como tangencial.

Não se pode afirmar que o resultado obtido deste trabalho seja discrepante dos resultados obtidos pelo autor citado, pois as espécies grandis e saligna tinham densidades muito próximas do limite admitido para a conclusão do autor. Provavelmente não se possa definir o limite de $0,50 \text{ g/cm}^3$ com tanta exatidão.

A força normal média em corte 90-90 apresentou comportamento semelhante ao obtido no corte ortogonal 90-0, ou seja, aumenta ou diminui com a espessura de corte em função do ângulo de ataque implicado, de maneira que passa por intervalo de ângulo de ataque onde se mantém constante a medida que a espessura de corte aumenta.

O efeito da densidade sobre a força normal aumentou com o aumento do ângulo de ataque e da espessura de corte.

5.3 - Comparações entre os cortes ortogonais 90-0 e 90-90

Espera-se que as forças de corte obtidas no corte ortogonal 90-90 sejam maiores que as obtidas no corte ortogonal 90-0. Os resultados obtidos neste trabalho confirmam esta expectativa e mostram que a diferença aumenta com o aumento da densidade da madeira. Neste ponto, deve ser lembrado que, no corte 90-90, tendo em vista que a ferramenta de corte tipo (dente) fazia uma ranhura central no corpo de prova, provavelmente surgiram forças laterais devido ao atrito entre as faces laterais do dente e as superfícies laterais da ranhura de corte. Estas forças laterais podem ter afetado os valores das forças mas não invalidam a comparação. Para esta comparação serão utilizados os valores das forças de corte obtidos para o ângulo de ataque de 20° , nas duas situações de corte. Para este caso, a força paralela obtida no corte 90-90 foi em média

81% maior que a obtida no corte 90-0 para a espécie *grandis*, 104% em média, maior para a espécie *saligna* e em média 183% em média maior para a espécie *citriodora* na direção tangencial. Para a direção radial estas relações foram de 78% para a espécie *grandis*, 105% para a espécie *saligna* e, no caso da espécie *citriodora*, tomando por base a força máxima, a relação foi de 155%. A força máxima foi tomada por base para esta comparação no caso do eucalipto *citriodora* tendo em vista que o comportamento obtido no ensaio para as espessuras de corte 0,73 mm até 1,52 mm foi totalmente atípico, devido a problemas locais de desvio de fibras no corpo de prova.

5.4 - Densidade básica

Um dos principais objetivos do trabalho foi o de possibilitar o estabelecimento de relações entre a força de corte e a densidade da madeira. Isto permitirá, na continuidade deste projeto, efetuar estimações das forças de corte a partir da densidade, o que se torna muito importante tendo em vista que esta propriedade é amplamente disponível e fácil de ser determinada.

Desta maneira, neste trabalho, a escolha das espécies de eucalipto foi feita na tentativa de se abranger um amplo intervalo de densidades, de maneira a se tentar representar a variação da densidade da madeira de eucalipto.

A Norma Brasileira de Estruturas de Madeira NBR 7190/96 apresenta, em seu item 5.3.5 as seguintes classes de resistência, na qual se buscou a base para a verificação do possível enquadramento das espécies adotadas:

DICOTILEDÔNEAS	
CLASSES	Densidade básica (g/cm ³)
C20	0,50
C30	0,65
C40	0,75
C60	0,80

Tomando-se por base os valores obtidos no ensaio de densidade (tabelas 4.9 e 4.10), observa-se que as espécies adotadas no trabalho conseguiram abranger três classes de densidade. O eucalipto *grandis* estaria enquadrado na classe C20 pois a densidade média é menor que $0,50 \text{ g/cm}^3$. O eucalipto *saligna* estaria enquadrado na classe C30 tendo em vista que a densidade média obtida no ensaio está dentro do intervalo compreendido entre $0,50 \text{ g/cm}^3$ e $0,65 \text{ g/cm}^3$ e a eucalipto *citriodora* estaria enquadrado na classe C60, pois a densidade básica média encontrada foi maior que $0,80 \text{ g/cm}^3$.

6. CONCLUSÕES

Com base nas discussões apresentadas no capítulo 5, pode-se apresentar as conclusões gerais de comportamento das forças de corte. Estas conclusões são válidas para as condições de corte da presente pesquisa.

Corte 90-0

- ✓ Três tipos básicos de cavacos foram obtidos. A melhor superfície de corte foi geralmente coincidente com a formação do cavaco tipo II.
- ✓ A relação entre a força paralela máxima e força paralela média foi em média de 64% para os corpos de prova radiais e 43% para os corpos de prova tangenciais.
- ✓ As relações obtidas entre a força de corte e a espessura e a força de corte e a densidade não tiveram comportamento linear para todos os casos. Isto pode ser explicado pelos diferentes tipos de cavacos formados, os quais afetam as forças geradas (Figura 6.1).

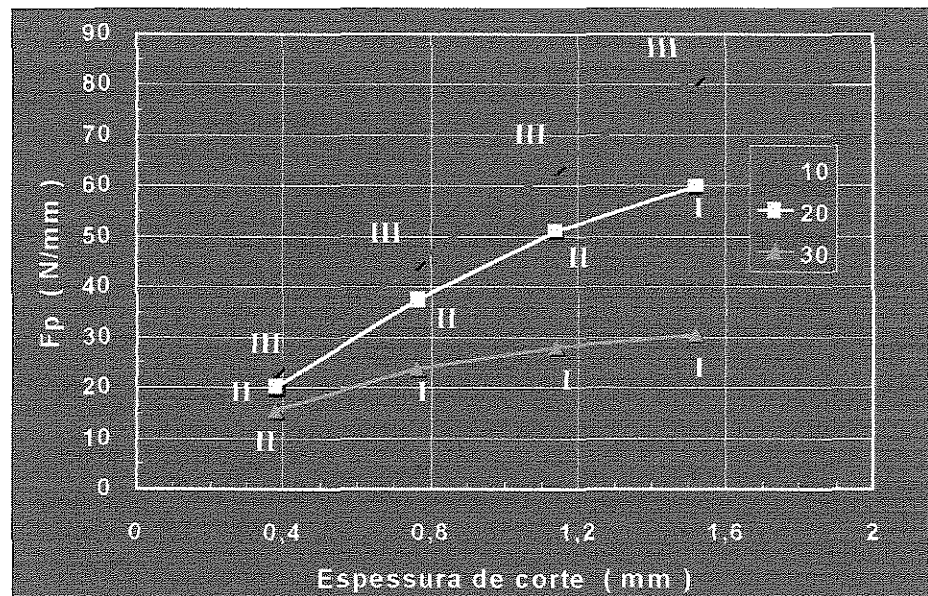


Figura 6.1 - Força paralela média no corte 90-0 em função da espessura de corte e do ângulo de ataque. Corpo de prova tangencial de *E. citriodora*

- ✓ A força de corte paralela aumenta com o aumento da espessura de corte. Este efeito aumenta com o decréscimo do ângulo de ataque (Figura 6.2).
- ✓ A força de corte paralela decresce com o aumento do ângulo de ataque (Figura 6.2)

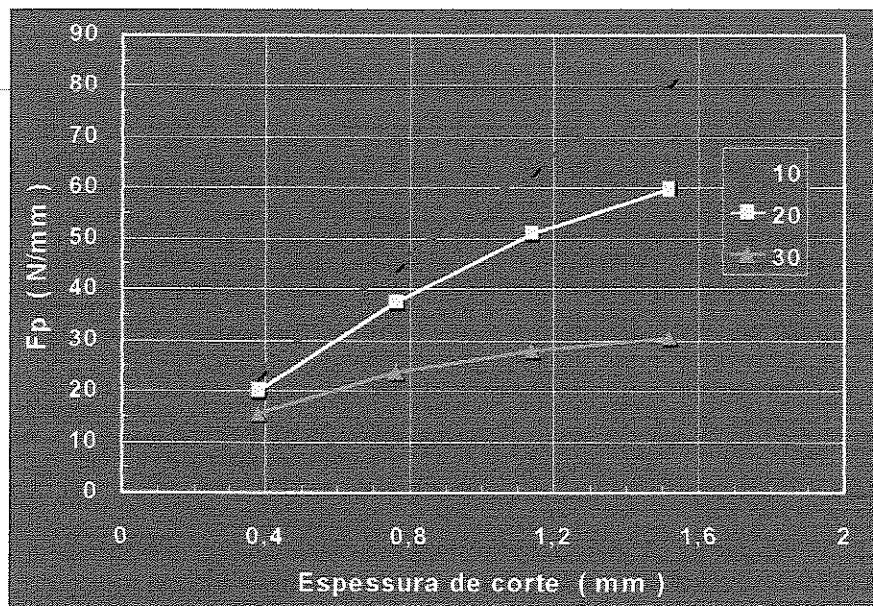


Figura 6.2- Força paralela média no corte 90-0 em função da espessura de corte e do ângulo de ataque. Corpo de prova tangencial de *E. citriodora*

- ✓ Em geral, a força de corte paralela aumenta com o aumento da densidade. Este efeito depende do ângulo de ataque utilizado (Figura 6.3).

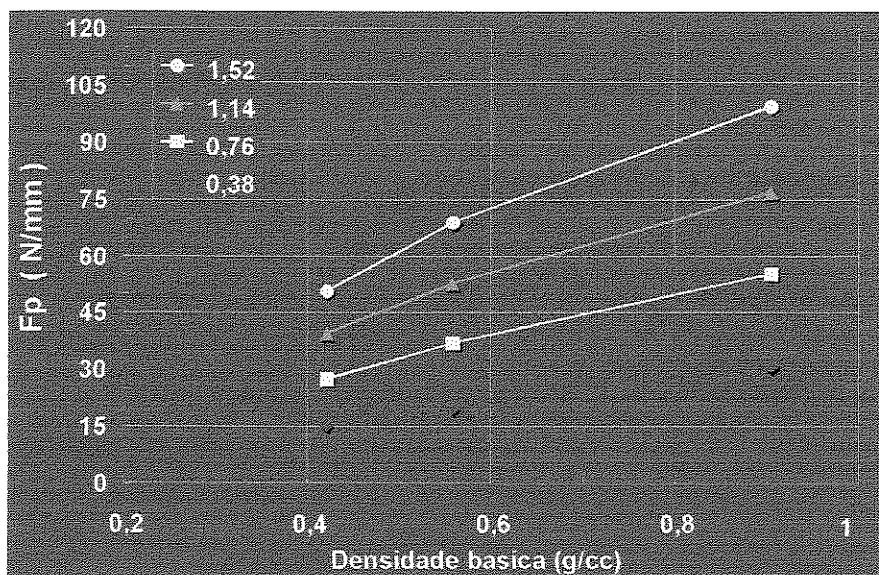


Figura 6.3 - Força normal média no corte 90-90 em função da densidade básica da madeira e da espessura de corte. Corpo de prova tangencial ; $\alpha = 30^\circ$

- ✓ O efeito da espessura de corte na força normal é dependente do ângulo de ataque utilizado (Figura 6.4).
- ✓ Para o *E. saligna* e *E. citriodora*, a força normal média passou de positiva à negativa (faca saindo ou puxando a peça de madeira) entre os ângulos de ataque de 20° e 30° tanto para os corpos de prova com orientação tangencial quanto para os de orientação radial (Figura 6.4).

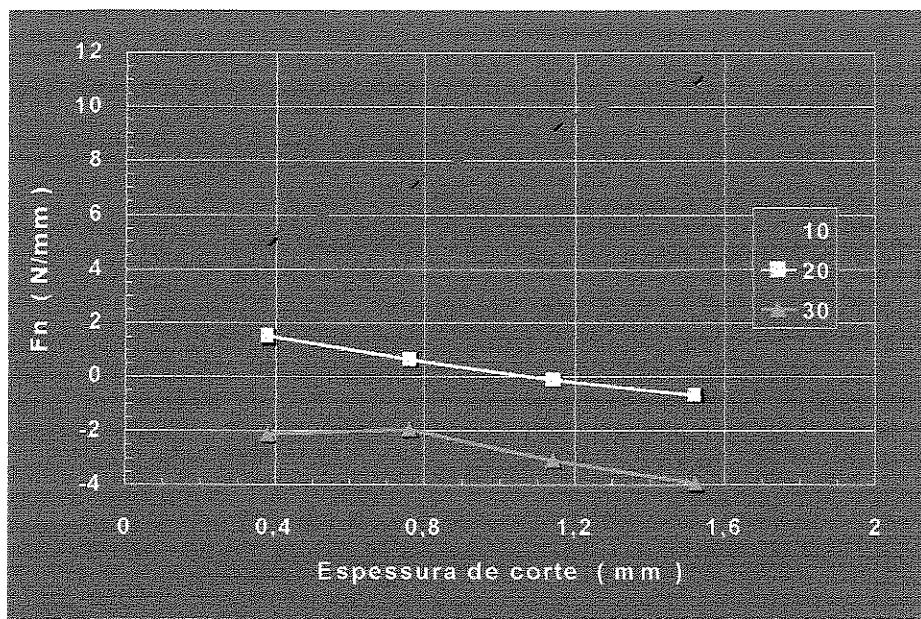


Figura 6.4 - Força normal média no corte 90-0 em função da espessura de Corte e do ângulo de ataque. Corpo de prova tangencial de *E. citriodora*

- ✓ Para os corpos de prova com orientação tangencial e radial de *E. grandis*, a força normal média foi positiva para todos os ângulos e espessuras de corte. Uma força normal positiva indica que a faca tende a empurrar ou pressionar a peça de madeira.

Corte 90-90

- ✓ Os cavacos obtidos são uniformes para todas as espessuras e todos os ângulos de ataque. A relação entre a força paralela máxima e força paralela média foi em média de 24 % para os corpos de prova radiais e 17 % para os corpos de prova tangenciais.
- ✓ A força paralela aumenta com o aumento da espessura de corte. Este efeito aumenta com o decréscimo do ângulo de ataque (Figura 6.5).

- ✓ A força de corte paralela decresce com o aumento do ângulo de ataque (Figura 6.5)

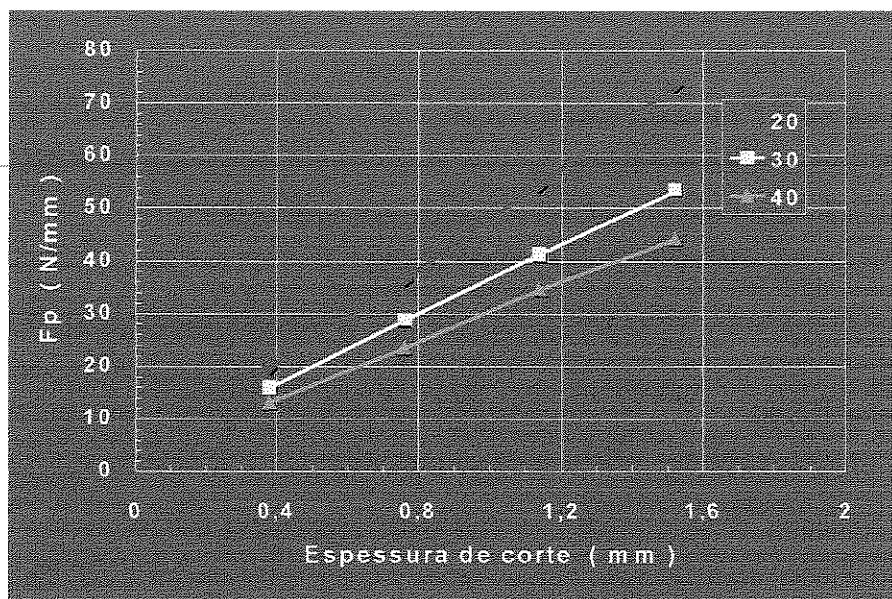


Figura 6.5 - Força de corte paralela média no corte 90-90 em função da espessura de corte e do ângulo de ataque. Corpo de prova radial de *E. grandis*

- ✓ efeito da espessura de corte na força paralela mostrou ser mais importante para as espécies de eucalipto que para outras dicotiledôneas provenientes de regiões temperadas (Figura 6.6).

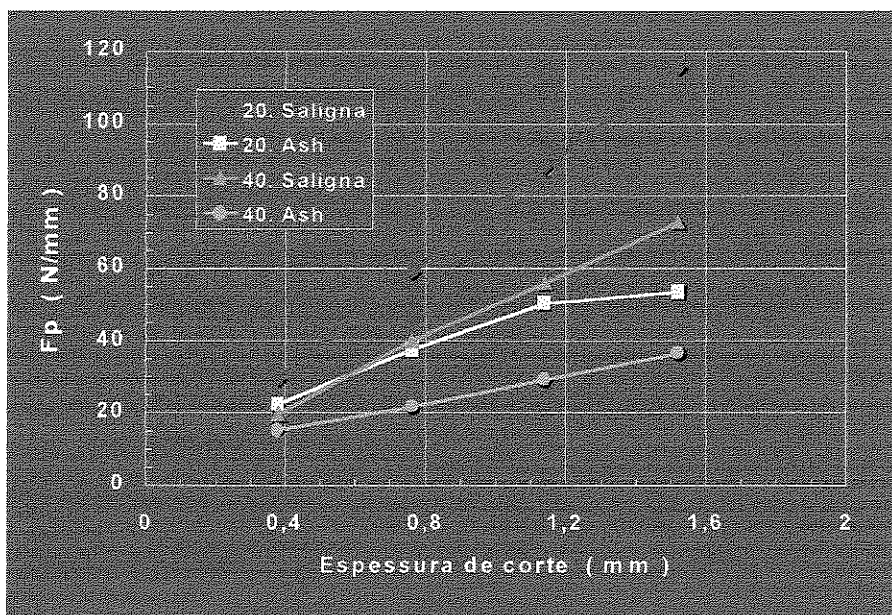


Figura 6.6 - Comparação da força paralela média no corte 90-90 entre a madeira de ash (Woodson 1979) e *E. saligna* (corpo de prova radial) para quatro espessuras de corte e dois ângulos de ataque. Madeira saturada.

- ✓ A força de corte paralela aumenta com o aumento da densidade. Este efeito é mais acentuado para ângulos de ataque menores e grandes espessuras de corte (Figura 6.7).

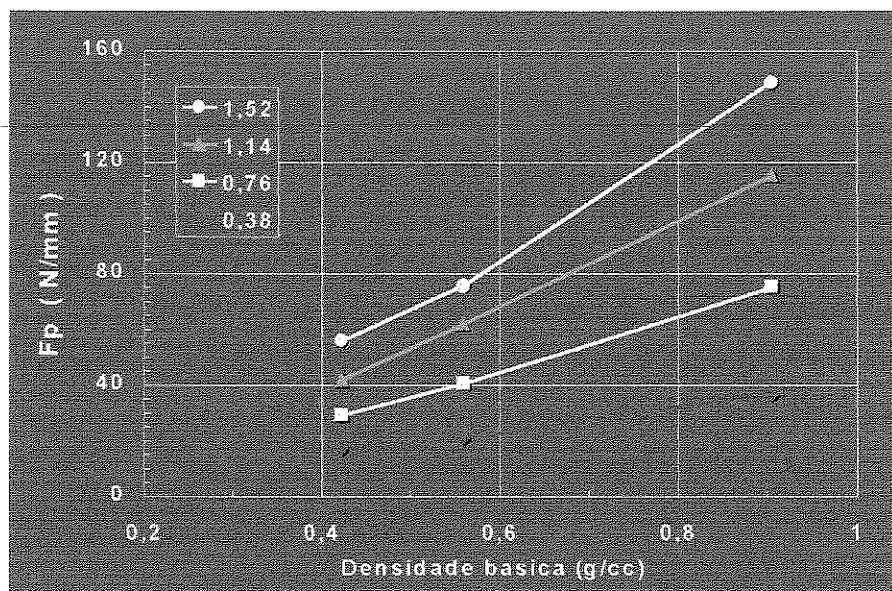


Figura 6.7 - Força paralela média no corte 90-90 em função da densidade básica da madeira e da espessura de corte. Corpo de prova tangencial ; $\alpha = 30^\circ$

- ✓ Em geral a força paralela média foi maior para os corpos de prova com orientação radial que para os de orientação tangencial. Isto confirma a anisotropia transversal nas propriedades mecânicas (Figura 6.8).

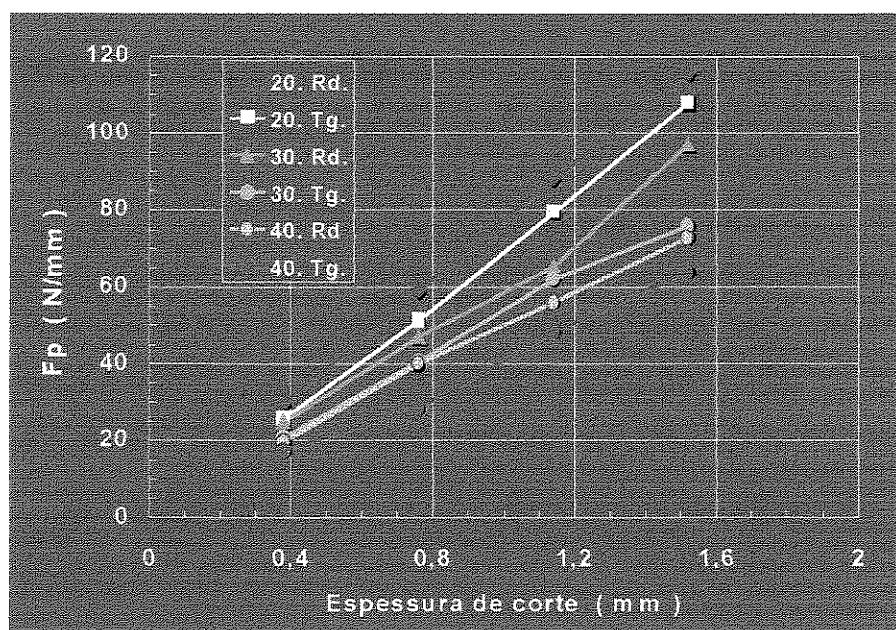


Figura 6.8 - Comparação entre forças paralelas médias no corte 90-90 obtidas para corpos de prova com orientação radial e tangencial de *E. saligna* para quatro espessuras de corte e três ângulos de ataque.

- ✓ A força normal média aumenta com o aumento da espessura de corte. O efeito da espessura de corte na força normal é dependente do ângulo de ataque utilizado (Figura 6.9).

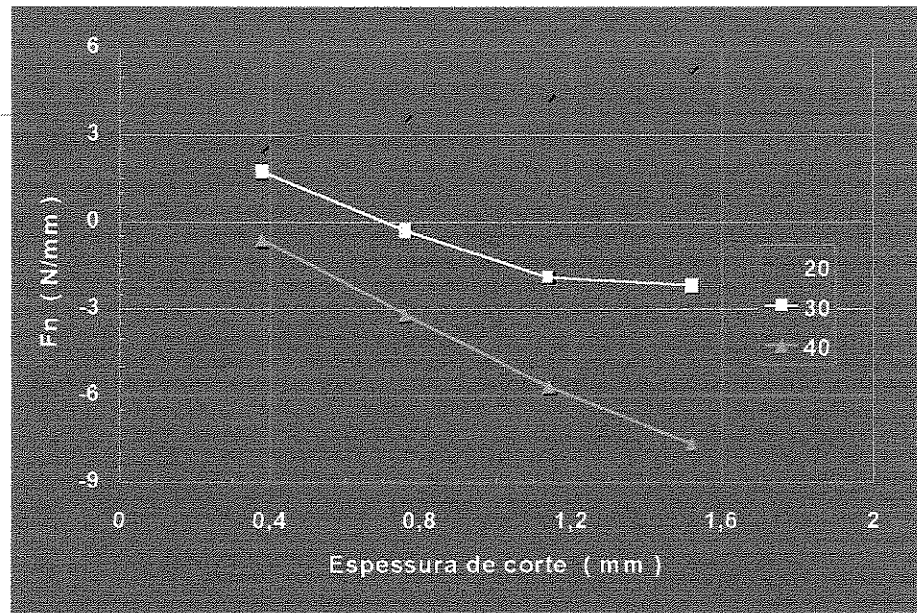


Figura 6.9 - Força normal média no corte 90-90 em função da espessura de Corte e do ângulo de ataque. Corpo de prova radial de E. grandis

- ✓ Para o E. grandis, a força normal média passou de positiva à negativa entre os ângulos de 20° e 30° para os corpos de prova com orientação radial e tangencial (Figura 6.10).

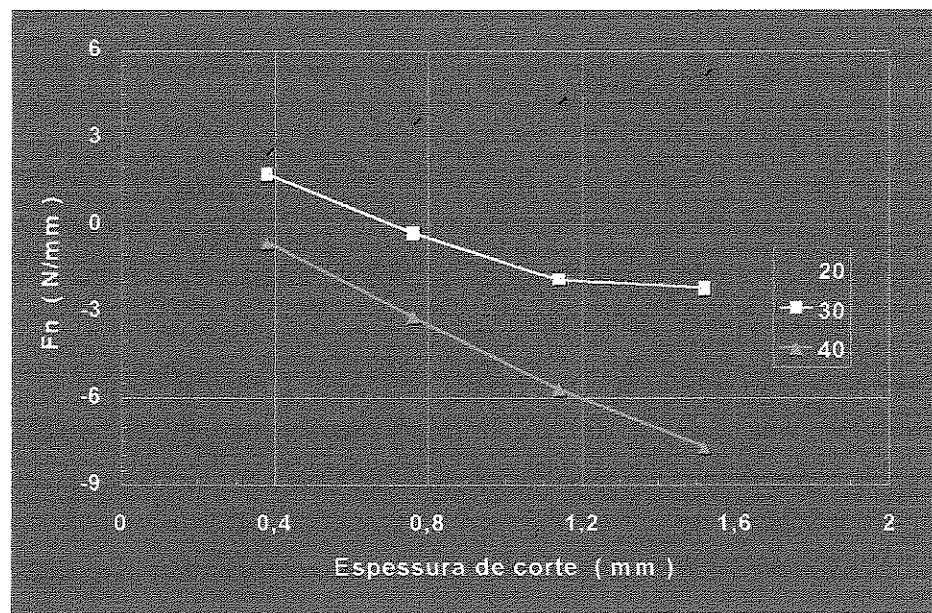


Figura 6.10 - Força normal média no corte 90-90 em função da espessura de Corte e do ângulo de ataque. Corpo de prova radial de E. grandis

- ✓ Para o *E. saligna* e *E. citriodora*, a força normal média foi sempre negativa para todos os ângulos de ataque e espessuras de corte e para ambas orientações dos corpos de prova (Figura 6.11).

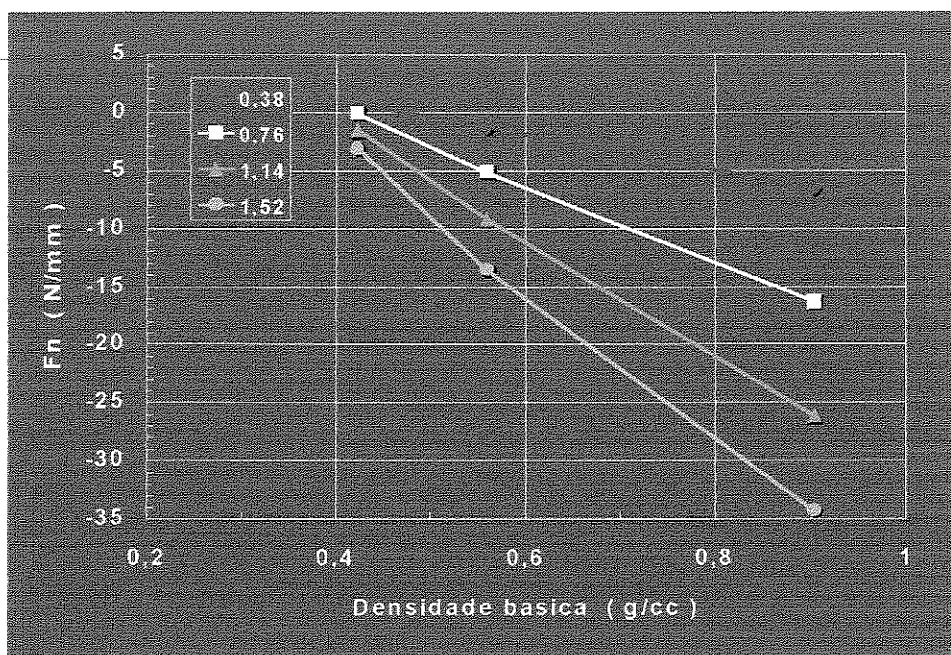


Figura 6.11 - Força normal média no corte 90-90 em função da densidade básica da madeira e da espessura de corte. Corpo de prova tangencial ; $\alpha = 30^\circ$

7. PROPOSTA PARA ESTUDOS FUTUROS

- Ensaaios de medidas de forças de corte com as mesmas espécies de Eucalipto na condição seca ao ar.
- Ensaaios de medidas de forças de corte na condição 0-90.
- Ensaaios de medidas de forças de corte com outras espécies de Eucalipto para completar a classe de densidades.
- Elaboração de subsídios para a confecção de norma para usinagem de madeiras.
- Desenvolvimento de equipamento que permita o corte simultâneo de um número maior de corpos de prova, podendo reduzir assim o tempo de realização dos ensaios, uma vez que os mesmos, requerem muitas repetições para obtenção de resultados confiáveis dos valores das forças de corte.
- Elaboração de um programa de análise dos dados que permita calcular de maneira automatizada os valores de forças máximas, médias e mínimas em uma faixa de leitura confiável, que represente uma situação real de corte ou seja, desprezando valores de picos que ocorrem devido a presença de nós, impactos, etc.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Planos de corte (Haygreen & Bowyer, 1989).....	6
Figura 2.2 - Estrutura anatômica da madeira (Haygreen & Bowyer, 1989).....	9
Figura 2.3 - Principais tipos de corte ortogonal(Woodson, 1979).....	11
Figura 2.4 - Ângulos de corte (Woodson & Koch, 1970).....	12
Figura 2.5 - Ângulos de corte e componentes das Forças (de Woodson & Koch, 1970).....	13
Figura 2.6 - Cavaco tipo I (Woodson & Koch, 1970).....	17
Figura 2.7 - Cavaco tipo II (Woodson & Koch, 1970).....	18
Figura 2.8 - Cavaco tipo III (Woodson & Koch, 1970).....	19
Figura 2.9 - Dinamômetro de Anéis Ortogonais - (King & Foschi, 1969).....	27
Figura 2.10 - Localização e diagrama de instalação dos extensômetros (King & Foschi, 1969).....	28
Figura 3.1 – Representação esquemática do corte das toras.....	30
Figura 3.2 - Ilustração da inclinação dos anéis de crescimento na seção transversal e orientação das fibras da madeira longitudinalmente.....	31
Figura 3.3 – Corpos de prova segundo cada direção e tipos de corte.....	33
Figura 3.4 - Esquema de corte de corpos de prova radial.....	34
Figura 3.5 - Esquema de corte de corpos de prova tangencial.....	34
Figura 3.6 – Dinamômetro com dispositivo para calibração.....	37
Figura 3.7 - Esquema de calibração com carga centrada	37
Figura 3.8 - Aferição com carga excêntrica	38
Figura 3.9- Ferramenta de corte tipo faca utilizada no corte 90-0.....	41
Figura 3.10- Ferramenta de corte tipo dente utilizado no corte 90-90.....	41
Figura – 3.11- Serra circular utilizada para correções da superfície irregular dos corpos de prova.....	43

Figura 4.1 – Cavaco obtido no ensaio de corte ortogonal 90-0. Espécie: Eucalipto Grandis, espessura de corte: 1.52 mm(0.060 polegadas) e ângulo de ataque: $\alpha = 30^{\circ}$	56
Figura 4.2 – Cavaco obtido no ensaio de corte ortogonal 90-0. Espécie: Eucalipto Grandis, espessura de corte: 0.38 mm (0.015 polegadas) e ângulo de ataque: $\alpha = 30^{\circ}$	57
Figura 4.3 – Cavaco obtido no ensaio de corte ortogonal 90-0. Espécie: Eucalipto Grandis, espessura de corte: 0.38 mm(0.015 polegadas) e ângulo de ataque: $\alpha = 10^{\circ}$	58
Figura 4.4 – Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis.....	60
Figura 4.5 – Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis.....	60
Figura 4.6 – Relação entre a força de corte normal máxima(N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis.....	60
Figura 4.7 – Relação entre a força de corte paralela mínima(N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis.....	60
Figura 4.8 – Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis.....	60
Figura 4.9 – Relação entre a força de corte paralela máxima(N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis	60
Figura 4.10 – Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna.....	61
Figura 4.11 – Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna.....	61
Figura 4.12 – Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna.....	61
Figura 4.13 – Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna.....	61
Figura 4.14 – Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna.....	61
Figura 4.15 – Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna.....	61
Figura 4.16 – Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	62
Figura 4.17 – Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	62

Figura 4.18– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora	62
Figura 4.19– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	62
Figura 4.20– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora	62
Figura 4.21– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	62
Figura 4.22– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Grandis.....	63
Figura 4.23– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Grandis	63
Figura 4.24– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Grandis.....	63
Figura 4.25– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Grandis.....	63
Figura 4.26– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Grandis.....	63
Figura 4.27– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Grandis.....	63
Figura 4.28– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Saligna.....	64
Figura 4.29– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Saligna.....	64
Figura 4.30– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Saligna.....	64
Figura 4.31– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Saligna.....	64
Figura 4.32– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Saligna.....	64
Figura 4.33– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Saligna.....	64
Figura 4.34– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	65

Figura 4.35– Relação entre a força de corte normal média (N/mm), espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	65
Figura 4.36– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	65
Figura 4.37– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	65
Figura 4.38– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	65
Figura 4.39– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-0 radial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	65
Figura 4.40– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 10^0$	66
Figura 4.41– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 10^0$	66
Figura 4.42– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 10^0$	66
Figura 4.43– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 10^0$	66
Figura 4.44– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 10^0$	66
Figura 4.45– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 10^0$	66
Figura 4.46– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 20^0$	67
Figura 4.47– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 20^0$	67
Figura 4.48– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 10^0$	67
Figura 4.49– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 20^0$	67
Figura 4.50– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 20^0$	67

Figura 4.51– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 20^0$	67
Figura 4.52– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 30^0$	68
Figura 4.53– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 30^0$	68
Figura 4.54– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 30^0$	68
Figura 4.55– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 30^0$	68
Figura 4.56– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 30^0$	68
Figura 4.57– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 tangencial $\alpha = 30^0$	68
Figura 4.58– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 10^0$	69
Figura 4.59– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 10^0$	69
Figura 4.60– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 10^0$	69
Figura 4.61– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 10^0$	69
Figura 4.62– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 10^0$	69
Figura 4.63– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 10^0$	69
Figura 4.64– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 20^0$	70
Figura 4.65– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 20^0$	70
Figura 4.66– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 20^0$	70

Figura 4.67– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e Espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 20^0$	70
Figura 4.68– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 20^0$	70
Figura 4.69– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e Espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 20^0$	70
Figura 4.70– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 30^0$	71
Figura 4.71– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 30^0$	71
Figura 4.72– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 30^0$	71
Figura 4.73– Relação entre a força de corte paralela mínim (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 30^0$	71
Figura 4.74– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 30^0$	71
Figura 4.75– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-0 radial $\alpha = 30^0$	71
Figura 4.76– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Grandis.....	72
Figura 4.77– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Grandis.....	72
Figura 4.78– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Grandis.....	72
Figura 4.79– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Grandis.....	72
Figura 4.80– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Grandis.....	72
Figura 4.81– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Grandis.....	72
Figura 4.82– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Saligna.....	73

Figura 4.83– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Saligna.....73

Figura 4.84– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Saligna.....73

Figura 4.85– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Saligna.....73

Figura 4.86– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Saligna.....73

Figura 4.87– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Saligna.....73

Figura 4.88– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Citriodora.....74

Figura 4.89– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Citriodora.....74

Figura 4.90– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Citriodora.....74

Figura 4.91– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Citriodora.....74

Figura 4.92– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Citriodora.....74

Figura 4.93– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 radial. Espécie Eucalipto Citriodora.....74

Figura 4.94– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis.....75

Figura 4.95– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis.....75

Figura 4.96– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis.....75

Figura 4.97– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis.....75

Figura 4.98– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis.....75

Figura 4.99– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Grandis.....75

Figura 4.100– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna.....	76
Figura 4.101– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna.....	76
Figura 4.102– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna.....	76
Figura 4.103– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna.....	76
Figura 4.104– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna.....	76
Figura 4.105– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Saligna.....	76
Figura 4.106– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	77
Figura 4.107– Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	77
Figura 4.108– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	77
Figura 4.109– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	77
Figura 4.110– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	77
Figura 4.111– Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , espessura de corte (mm) e ângulos de ataque no corte ortogonal 90-90 tangencial. Espécie Eucalipto Citriodora.....	77
Figura 4.112– Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 20^0$	78
Figura 4.113– Relação entre a força de corte normal média(N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 20^0$	78
Figura 4.114– Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 20^0$	78
Figura 4.115– Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 20^0$	78
Figura 4.116– Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 20^0$	78

Figura 4.117 – Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 20^0$	79
Figura 4.118 – Relação entre a força de corte normal mínima(N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 30^0$	79
Figura 4.119 – Relação entre a força de corte normal média(N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 30^0$	79
Figura 4.120 – Relação entre a força de corte normal máxima(N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 30^0$	79
Figura 4.121 – Relação entre a força de corte paralela mínima(N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 30^0$	79
Figura 4.122 – Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 30^0$	79
Figura 4.123 – Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 30^0$	79
Figura 4.124 – Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 40^0$	80
Figura 4.125 – Relação entre a força de corte normal média(N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura corte(mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 40^0$	80
Figura 4.126 – Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 40^0$	80
Figura 4.127 – Relação entre a força de corte paralela mínima(N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 40^0$	80
Figura 4.128 – Relação entre a força de corte paralela média(N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 40^0$	80
Figura 4.129 – Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 radial $\alpha = 40^0$	80
Figura 4.130 – Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 20^0$	81
Figura 4.131 – Relação entre a força de corte normal média(N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 20^0$	81
Figura 4.132 – Relação entre a força de corte normal máxima (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 20^0$	81
Figura 4.133 – Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 20^0$	81

Figura 4.134 – Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 20^0$	81
Figura 4.135 – Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 20^0$	81
Figura 4.136 – Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 30^0$	82
Figura 4.137 – Relação entre a força de corte normal média (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 30^0$	82
Figura 4.138 – Relação entre a força de corte normal máxima(N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 30^0$	82
Figura 4.139 – Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 30^0$	82
Figura 4.140 – Relação entre a força de corte paralela média(N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 30^0$	82
Figura 4.141 – Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm), densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 30^0$	82
Figura 4.142 – Relação entre a força de corte normal mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 40^0$	83
Figura 4.143 – Relação entre a força de corte normal média (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 40^0$	83
Figura 4.144 – Relação entre a força de corte normal máxima(N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 40^0$	83
Figura 4.145 – Relação entre a força de corte paralela mínima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 40^0$	83
Figura 4.146 – Relação entre a força de corte paralela média (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 40^0$	83
Figura 4.147 – Relação entre a força de corte paralela máxima (N/mm) , densidade básica (g/cm ³) e espessura de corte (mm) no corte ortogonal 90-90 tangencial $\alpha = 40^0$	83
Figura 4.148 – Registro das forças paralela, normal e lateral durante arealização do ensaio de corte ortogonal 90-0 radial.Espécie:Eucalipto Citriodora,espessura de corte: 1,52 mm (0,060 polegadas) e ângulo de ataque: $\alpha = 30^0$	84
Figura 4.149 – Registro das forças paralela, normal e lateral durante arealização do ensaio de corte ortogonal 90-0 radial. Espécie: Eucalipto Grandis, espessura de corte: 0,38 mm (0,015 polegadas) e ângulo de ataque : $\alpha = 20^0$	85

Figura 4.150 – Registro das forças paralela, normal e lateral durante a realização do ensaio de corte ortogonal 90-0 radial. Espécie: Eucalipto Grandis, espessura de corte: 0,38 mm (0,015 polegadas) e ângulo de ataque : $\alpha = 10^0$	86
Figura 4.151 – Cavaco obtido no ensaio de corte ortogonal 90-90 tangencial Espécie: Eucalipto Citriodora, espessura de corte: 1.52 mm (0.060 polegadas) e ângulo de ataque $\alpha = 20^0$	87
Figura 4.152 – Registro das forças paralela, normal e lateral durante a realização do ensaio de corte ortogonal 90-90 radial. Espécie: Eucalipto Saligna, espessura de corte: 1,14 mm (0,045 polegadas) e ângulo de ataque : $\alpha = 20^0$	88
Figura 6.1 - Força paralela média no corte 90-0 em função da espessura de corte e do ângulo de ataque. Corpo de prova tangencial de E. citriodora.....	103
Figura 6.2- Força paralela média no corte 90-0 em função da espessura de corte e do ângulo de ataque. Corpo de prova tangencial de E. citriodora.....	104
Figura 6.3 - Força normal média no corte 90-90 em função da densidade básica da madeira e da espessura de corte. Corpo de prova tangencial ; $\alpha = 30^0$	104
Figura 6.4 - Força normal média no corte 90-0 em função da espessura de Corte e do ângulo de ataque. Corpo de prova tangencial de E. citriodora.....	105
Figura 6.5 - Força de corte paralela média no corte 90-90 em função da espessura de corte e do ângulo de ataque. Corpo de prova radial de E. grandis.....	106
Figura 6.6 - Comparação da força paralela média no corte 90-90 entre a madeira de ash (Woodson 1979) e E. saligna (corpo de prova radial) para quatro espessuras de corte e dois ângulos de ataque. Madeira saturada.....	106
Figura 6.7 - Força paralela média no corte 90-90 em função da densidade básica da madeira e da espessura de corte. Corpo de prova tangencial ; $\alpha = 30^0$	107
Figura 6.8 - Comparação entre forças paralelas médias no corte 90-90 obtidas paracorpos de prova com orientação radial e tangencial de E. saligna para quatro espessuras de corte e três ângulos de ataque.....	107
Figura 6.9 - Força normal média no corte 90-90 em função da espessura de Corte e do ângulo de ataque. Corpo de prova radial de E. grandis.....	108
Figura 6.10 - Força normal média no corte 90-90 em função da espessura de Corte e do ângulo de ataque. Corpo de prova radial de E. grandis.....	108
Figura 6.11 - Força normal média no corte 90-90 em função da densidade básica da madeira e da espessura de corte. Corpo de prova tangencial ; $\alpha = 30^0$	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Forças de corte ortogonal 90-0 (N/mm) em função da espessura de corte, do teor de umidade e do ângulo de ataque. Valores correspondentes à média de 22 espécies de folhosas (de acordo com Woodson 1979).....	21
Tabela 2.2 - Forças de corte ortogonal 90-90 (N/mm) em função da espessura de corte, do teor de umidade e do ângulo de ataque. Valores correspondentes à média de 22 espécies de folhosas (Woodson 1979).....	23
Tabela 2.3 - Forças de corte ortogonal 0-90 (N/mm) em função da espessura de corte, do teor de umidade e do ângulo de ataque. Valores correspondentes à média de 22 espécies de folhosas (Woodson 1979).....	24
Tabela 2.4 - Valores médios da força paralela (Fp) (N/mm)e da força normal (Fn) (N/mm) no corte ortogonal das espécies <i>Quercus spp</i> e <i>Acer saccharum</i> em função da direção de corte, do ângulo de ataque e do teor de umidade. Espessura de corte de 0.76 mm.Woodson, 1979).....	25
Tabela 4.1 – Valores da força de corte paralela – Fp (N/mm)* e tipos de cavacos obtidos em corte ortogonal 90-0 na direção tangencial em função da espessura de corte (e) e ângulo de ataque (α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada.....	48
Tabela 4.2 – Valores da força de corte paralela – Fp (N/mm)* e tipos de cavacos obtidos em corte ortogonal 90-0 na direção radial em função da espessura de corte (e) e ângulo de ataque (α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada	49
Tabela 4.3 – Valores da força de corte normal – Fn (N/mm)* e tipos de cavacos obtidos em corte ortogonal 90-0 na direção tangencial em função da espessura de corte (e) e do ângulo de ataque (α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada	50
Tabela 4.4 – Valores da força de corte normal – Fn (N/mm)* e tipos de cavacos obtidos em corte ortogonal 90-0 na direção radial em função da espessura de corte (e) e ângulo de ataque(α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada.....	51
Tabela 4 .5 – Valores da força de corte paralela – Fp (N/mm)* obtidos em corte ortogonal 90-90 na direção tangencial em função da espessura de corte (e) e ângulo de ataque (α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada	52
Tabela 4.6 – Valores da força de corte paralela – Fp (N/mm)* obtidos em corte ortogonal 90-90 na direção radial em função da espessura de corte (e) e ângulo de ataque (α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada	53
Tabela 4.7 – Valores da força de corte normal – Fn (N/mm)* obtidos em corte ortogonal 90-90 na direção tangencial em função da espessura de corte (e) e ângulo de ataque (α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada	54

Tabela 4.8 – Valores da força de corte normal – F_n (N/mm)* obtidos em corte ortogonal 90-90 na direção radial em função da espessura de corte (e) e ângulo de ataque (α). Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora na condição saturada	55
Tabela 4.9- Valores médios de umidade e densidade básica resultantes do ensaio dos corpos de prova na direção tangencial. Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e citriodora.....	59
Tabela 4.10- Valores médios de umidade e densidade básica resultantes do ensaio dos corpos de prova na direção radial. Madeira de eucalipto das espécies grandis, saligna e Citriodora.....	59
Tabela A1 - Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt)em cada canal para carregamento na direção “X” (primeira repetição) lidos na carta de aquisição dedados.....	111
Tabela A2 - Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt) em cada canal para carregamento na direção “X” (segunda repetição) lidos na carta de aquisição de dados.....	111
Tabela A3 - Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt) em cada canal para carregamento na direção “X” lidos no voltímetro.....	112
Tabela A4 - Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt) em cada canal para carregamento na direção “Y” lidos na carta de aquisição de dados.....	112
Tabela A5 - Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt)em cada canal para carregamento na direção “Z”(primeira repetição) lidos na carta de aquisição de dados.....	113
Tabela A6 - Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt) em cada canal para carregamento na direção “Z” (Segunda repetição) lidos na carta de aquisição de dados.....	113
Tabela A7 - Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt) em cada canal para carregamento na direção “Z”(terceira repetição) lidos na carta de aquisição de dados.....	114
Tabela A8 - Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt)em cada canal para carregamento na direção “Z” (Quarta repetição) lidos na carta de aquisição de dados.....	114
Tabela A9 - Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt) em cada canal para carregamento na direção “Z” lidos no voltímetro.....	115
Tabela A10 - Erros de leituras dos canais y e z com carregamento na direção X.....	115
Tabela A11 - Erros de leituras dos canais x e z com carregamento na direção Y.....	116
Tabela A12 - Erros de leituras dos canais x e y com carregamento na direção Z (1ª repetição).....	116
Tabela A13 - Erros de leituras dos canais x e y com carregamento na direção Z (2ª repetição).....	116
Tabela A14 - Erros de leituras dos canais x e y com carregamento na direção Z (3ª repetição).....	117
Tabela A15 - Fatores de calibração e coeficientes de regressão nas das direções.....	117
Tabela A16 - Aferição dos fatores de calibração através de aplicação de um carregamento de 45.359kgf nas direções principais.....	118

Tabela A17 - Valores de Tensão lidos no canal x para cada excentricidade da carga em X.....	118
Tabela A18 - Valores de Tensão lidos no canal “y” para cada excentricidade da carga em X	119
Tabela A19 - Valores de Tensão lidos no canal “z” para cada excentricidade da carga em X.....	119
Tabela A20 - Valores de Tensão lidos no canal “x” para cada excentricidade da carga em Z.....	119
Tabela A21- Valores de Tensão lidos no canal “y” para cada excentricidade da carga em Z.....	120
Tabela A22- Valores de Tensão lidos no canal “z” para cada excentricidade da carga em Z.....	120
Tabela A23- Valores de Tensão lidos no canal “x” para cada excentricidade da carga em X.....	120
Tabela A24- Valores de Tensão lidos no canal “y” para cada excentricidade da carga em X.....	121
Tabela A25- Valores de Tensão lidos no canal “z” para cada excentricidade da carga em X.....	121
Tabela A26- Valores de Tensão lidos no canal “x” para cada excentricidade da carga em X.....	121
Tabela A27- Valores de Tensão lidos no canal “y” para cada excentricidade da carga em X.....	122
Tabela A28- Valores de Tensão lidos no canal “z” para cada excentricidade da carga em X.....	122
Tabela A29- Valores de Tensão lidos no canal “x” para cada excentricidade da carga em ‘Y’	122
Tabela A30- Valores de Tensão lidos no canal “y” para cada excentricidade da carga em ‘Y’	123
Tabela A31- Valores de Tensão lidos no canal “z” para cada excentricidade da carga em ‘Y’	123
Tabela A32- Valores de Tensão lidos no canal “x” para cada excentricidade da carga em ‘Y’	123
Tabela A33- Valores de Tensão lidos no canal “y” para cada excentricidade da carga em ‘Z’	124
Tabela A34- Valores de Tensão lidos no canal “z” para cada excentricidade da carga em ‘Z’	124
Tabela A35- Valores de Tensão lidos no canal “x” para cada excentricidade da carga em ‘Z’	124
Tabela A36- Valores de Tensão lidos no canal “y” para cada excentricidade da carga em ‘Z’	125
Tabela A37- Valores de Tensão lidos no canal “z” para cada excentricidade da carga em ‘Z’	125
Tabela A38- Valores de Tensão lidos no canal “x” para cada excentricidade da carga em ‘Z’	125
Tabela A39- Valores de Tensão lidos no canal “y” para cada excentricidade da carga em ‘Z’	126
Tabela A40- Valores de Tensão lidos no canal “z” para cada excentricidade da carga em ‘Z’	126
Tabela A41- Valores de Tensão lidos no canal “x” para cada excentricidade da carga em ‘Z’	126

Tabela A42 -Valores de Tensão lidos no canal 'y' para cada excentricidade da carga em 'Z'	127
Tabela A43 -Valores de Tensão lidos no canal 'z' para cada excentricidade da carga em 'Z'	127
Tabela A44 -Valores de Tensão lidos no canal 'x' para cada excentricidade da carga em 'Z'	127
Tabela A45 -Valores de Tensão lidos no canal 'y' para cada excentricidade da carga em 'Z'	128
Tabela A46 -Valores de Tensão lidos no canal 'z' para cada excentricidade da carga em 'Z'	128
Tabela A47 – Erros de leitura nos canais x,y e z para carga excêntrica em X.....	129
Tabela A48 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em Z.....	129
Tabela A49 – Erros de leitura nos canais x,y e z para carga excêntrica em X.....	130
Tabela A50 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em Z.....	130
Tabela A51 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em x.....	130
Tabela A52 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em z.....	131
Tabela A53 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em x.....	131
Tabela A54 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em z.....	131
Tabela A55 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em x.....	132
Tabela A56 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em z.....	132
Tabela A57– Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em x.....	132
Tabela A58– Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em z.....	133
Tabela A59– Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em x.....	133
Tabela A60– Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em z.....	133

BIBLIOGRAFIA BÁSICA CONSULTADA

ANDRADE, E. N., **O Eucalipto** – Conferência mundial do Eucalipto, São Paulo- SP, 1961
2 ed. 654p.

BODIG, J. ; JAYNE, B.A. **Mechanics of Wood and Wood Composites** - New York,
Van Nostrand Reinhold, 1982.

CALORI, J. V., FIER, I. S. N.; KIKUTI, P. **Estudo das propriedades Físico-Mecânicas da Madeira de Eucalipto Grandis em diferentes idades** In: Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira, 5, Belo Horizonte – MG. 1995, Vol. 2, p. 123-130.

FRANZ, N. C. **An Analysis of the Wood-Cutting Process**. Ph.D. Thesis. Univ. Michigan.,
Ann Arbor. 152 p. 1958.

GERHARDS, C.C. **Effect of Moisture Content and Temperature on the Mechanical properties of wood**. An analysis of immediate effects. Wood and Fiber, 14 (1): 4-36
1982.

GONÇALVES , M.T.T. - **Contribuição para o estudo da usinagem da madeira**. Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos – SP (Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica) 1990, 241p.

GONÇALVES, M. T. T ; **Proposta de metodologia para medição dos esforços de corte na usinagem da madeira**. Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos - SP (Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica), 1993, 249p.

GONÇALVES, M. T. T & TEIXEIRA, M. C; **Relacionamento entre a força de corte e alguns parâmetros que interferem em sua grandeza.** In: Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira, 5, Belo Horizonte – MG. 1995, Vol. 2, p. 185-194.

GONÇALVES, M. T. T & RUFFINO, R. T.; **Mecanismo de formação do cavaco na usinagem da madeira.** In: Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira, 3, São Carlos – SP. 1993, Vol. 2, p. 163 –172.

HAYGREEN, J. G.; BOWYER, J. L., 1989. **Forest Products and Wood Science. An Introduction** - Second Edition, 500p.

KIVIMAA, E.1950. **Cutting Forces in Woodworking.** Publication 18. The State Institute for Thecnical Research, Helsinki.

KING, B. and FOSCHI, R.O. **Crossed-Ring Dynamometer for Direct Force Resolution into Three Orthogonal Components.** Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 9, p. 345-356 Pergamom Press 1969.

KOCH, P. **Wood Machining Process.** New York, Ronald Press Company, 1964. 530p.

KOCH, P. **Utilization of Hardwoods Growing on Southern Pines Sites.** Volume II. Processing. USDA Forest Service, Agriculture Handbook, number 605 . Chapter 18, Machining, 1985, p. 1687-2281.

KOLLMANN, F.F.P. & COTÉ, R, W.A. **Principles of Wood Science and Technology** Berlim, Springer, 1968, 592p.

McKENZIE, W.M;1960. **Fundamental Aspects of the Wood Cutting Process.** Forest Prod. J. 10 (9): 447-456.

NBR -7190/96 – **Projetos de Estruturas de Madeira**. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, ABNT, 1996

PEARSON, S. , **Mechanics of Cutting Plant Material**. American of Agriculture Engineers, St. Joseph, EUA, 1987.

PERRY, C.C. and LISSNER, H.R.: “**The Strain Gage Primer**” MacGraw- Hill Book Company, New York, 1958.

HOADLEY, R.B. Understanding wood. **A Craftsman’s Guide to Wood Technology**. The Taunton Press, 1980, 256 p.

STEWART, H.A; 1977. **Optimum Rake Angle Related to Selected Properties of Wood**. Forest. Prod. J. 27(1): 51-53.

WOODSON, G. E., KOCH, P. , 1970. **Tool Forces and Chip Formation In Orthogonal Cutting of Loblolly Pine**. Research Paper SO - 52. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

WOODSON, G.E.1979. **Tool Forces and Chip Types in Orthogonal Cutting of Southern Hardwoods**. Research Paper SO-146, U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

ANEXO

RESULTADOS DE CALIBRAÇÃO DO DINAMÔMETRO

1 – CALIBRAÇÃO COM CARGA CENTRADA

1.1 Carregamento na direção “X”

Tabela A1 . Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt) em cada canal para carregamento na direção “X” (primeira repetição) lidos na carta de aquisição de dados

Carga (kgf)	Leituras de Tensão(volt) nos canais		
	X	Y	Z
4,536	0,000037	0	0
9,072	0,000071	0	0
13,608	0,000106	0	0
18,144	0,000143	0	0
22,680	0,000180	0	0
27,215	0,000216	5	4
31,751	0,000250	5	5
36,287	0,000286	7	5
40,823	0,000322	10	6
45,359	0,000360	10	12

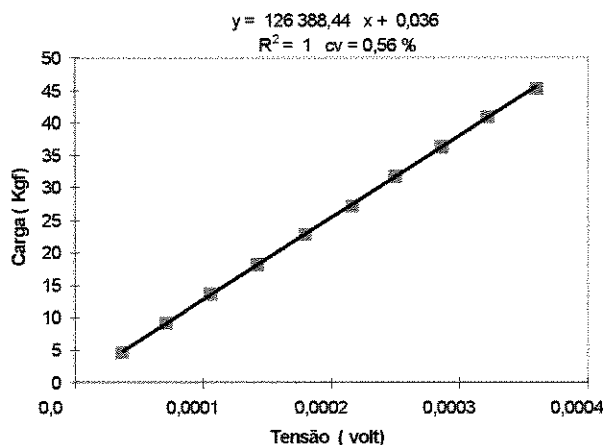


Figura 1 – Gráfico de calibração correspondente ao valores do canal 'x' da Tabela A1

Tabela A2 . Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt) em cada canal para carregamento na direção “X” (segunda repetição) lidos na carta de aquisição de dados

Carga (kgf)	Leituras de Tensão(volt) nos canais		
	X	Y	Z
4,536	0,000036	2	0
9,072	0,000072	3	0
13,608	0,000106	3	0
18,144	0,000142	7	2
22,680	0,000177	8	4
27,215	0,000212	9	5
31,751	0,000248	11	6
36,287	0,000284	13	7
40,823	0,000319	14	8
45,359	0,000354	16	7

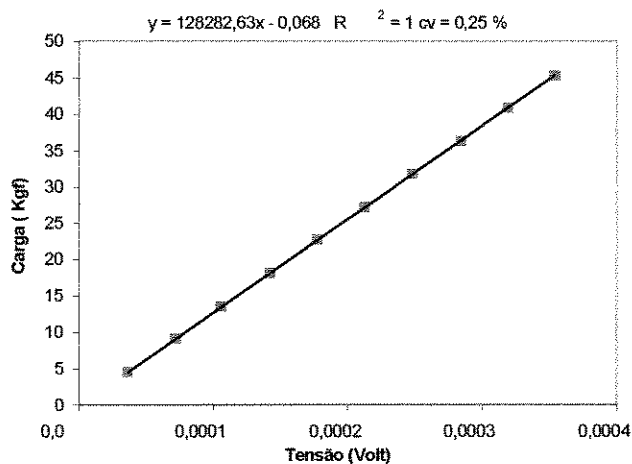


Figura 2- Gráfico de calibração correspondente ao valores do canal 'x' da Tabela A2

Tabela A3 . Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt) em cada canal para carregamento na direção “X” lidos no voltímetro

Carga(Kgf)	Tensão(volt)
4,536	0,000038
9,072	0,000071
13,608	0,000106
18,144	0,000140
22,680	0,000178
26,800	0,000214
31,751	0,000249
36,287	0,000285
40,823	0,000320
45,359	0,000355

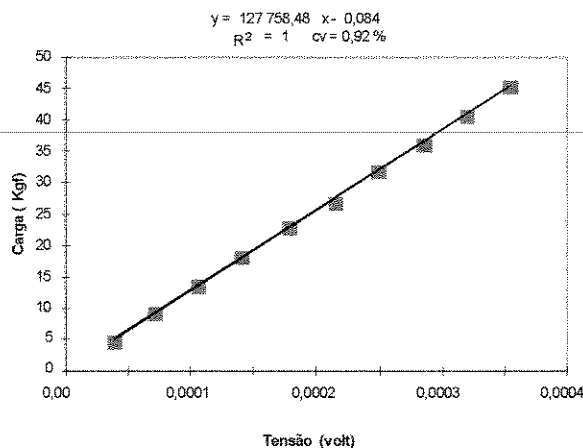


Figura 3- Gráfico de calibração correspondente aos valores lidos no voltímetro da Tabela A3.

1.2 Carregamento na direção “Y”

Tabela A4 . Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt) em cada canal para carregamento na direção “Y” lidos na carta de aquisição de dados

Carga (Kgf)	Leituras de tensão(volt) nos canais		
	X	Y	Z
4,536	0	0,000040	0
9,072	0	0,000080	0
13,608	0	0,000120	0
18,144	0	0,000160	0
22,680	0	0,000200	0
27,215	0	0,000240	0
31,751	0	0,000281	0
36,287	0	0,000321	0
40,823	0	0,000360	0
45,359	0	0,000401	0

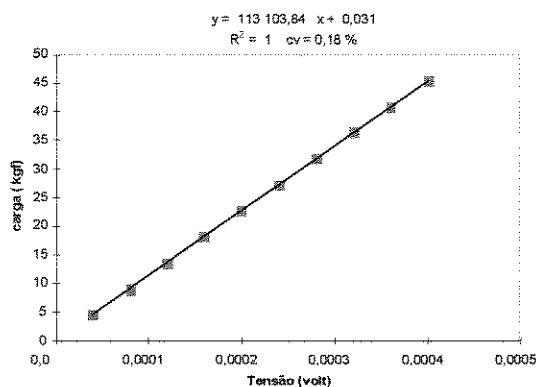


Figura 4- Gráfico de calibração correspondente ao valores do canal ‘y’ da Tabela A4

1.3 Carregamento na direção "Z"

Tabela A5 . Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt) em cada canal para carregamento na direção "Z" (primeira repetição) lidos na carta de aquisição de dados.

Carga (Kgf)	Leituras de tensão (volt) nos canais		
	X	Y	Z
4,536	1	-1	0,000038
9,072	2	-3	0,000076
13,608	3	-6	0,000114
18,144	1	-7	0,000153
22,680	1	-9	0,000190
27,215	4	-7	0,000229
31,751	3	-10	0,000267
36,287	4	-9	0,000305
40,823	5	-10	0,000344
45,359	6	-11	0,000382

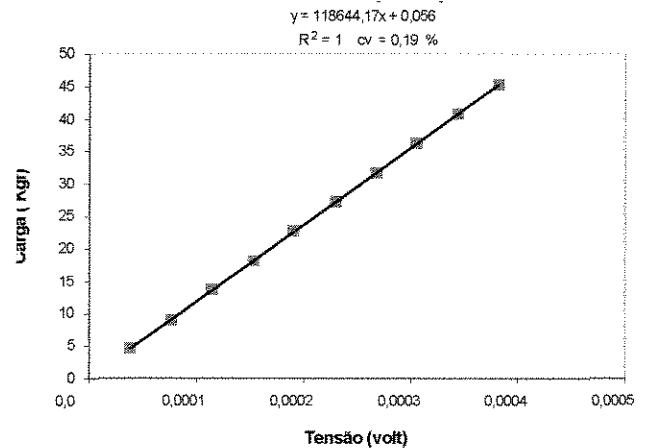


Figura 5 - Gráfico de calibração correspondente ao valores do canal 'z' da Tabela A5.

Tabela A6 . Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt) em cada canal para carregamento na direção "Z" (Segunda repetição) lidos na carta de aquisição de dados.

Carga (Kgf)	Leituras de tensão (volt) nos canais		
	X	Y	Z
4,536	0	0	0,000036
9,072	0	0	0,000077
13,608	0	-4	0,000110
18,144	-2	-7	0,000146
22,680	0	-7	0,000180
27,215	0	-8	0,000216
31,751	2	-10	0,000256
36,287	4	-10	0,000294
40,823	4	-12	0,000332
45,359	6	-13	0,000368

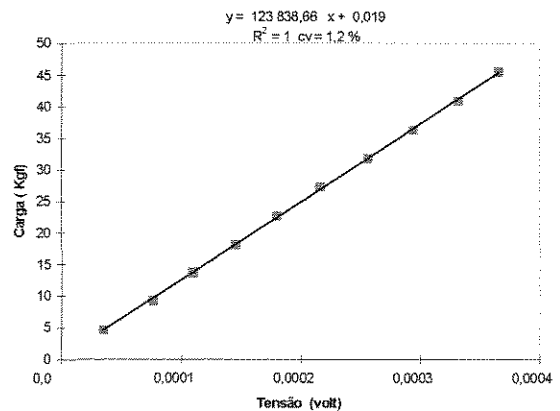


Figura 6- Gráfico de calibração correspondente ao valores do canal 'z' da Tabela A6.

Tabela A7 . Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt) em cada canal para carregamento na direção “Z” (terceira repetição) lidos na carta de aquisição de dados

Carga (Kgf)	Leituras de tensão (volt) nos canais		
	X	Y	Z
4,536	0	0	0,000036
9,072	0	-3	0,000072
13,608	0	-4	0,000109
18,144	0	-6	0,000146
22,680	0	-2	0,000184
27,215	0	-5	0,000222
31,751	2	-10	0,000258
36,287	4	-10	0,000334
40,823	4	-12	0,000370
45,359	6	-13	0,000406

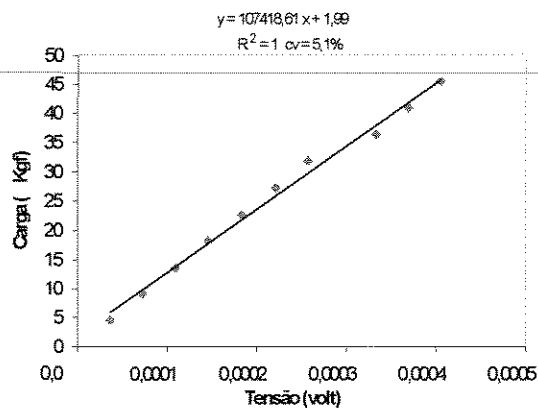


Figura 7 - Gráfico de calibração correspondente ao valores do canal 'z' da Tabela A7.

Tabela A8 . Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt) em cada canal para carregamento na direção “Z” (Quarta repetição) lidos na carta de aquisição de dados.

Carga (Kgf)	Leituras de tensão (volt) nos canais		
	X	Y	Z
4,536	0	0	0,000039
9,072	1	0	0,000074
13,608	1	-3	0,000111
18,144	2	-4	0,000150
22,680	3	-8	0,000185
27,215	4	-9	0,000223
31,751	4	-11	0,000264
36,287	3	-13	0,000298
40,823	4	-14	0,000334
45,359	6	-15	0,000371

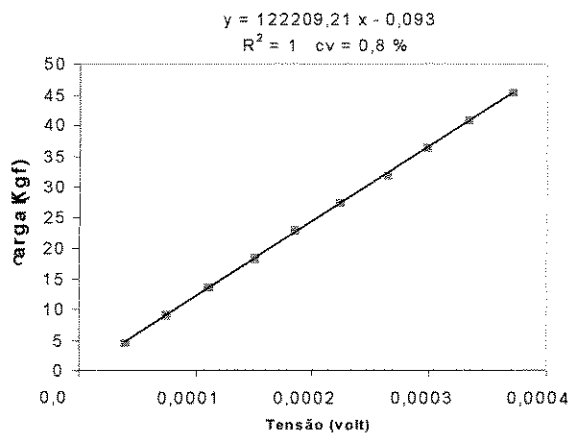


Figura 8 - Gráfico de calibração correspondente ao valores do canal 'z' da Tabela A8.

Tabela A9 . Valores de carga (Kgf) x Tensão (volt) em cada canal para carregamento na direção “Z” lidos no voltímetro

Tensão(volt)	Carga(Kgf)
0,000034	4,536
0,000074	9,072
0,000110	13,608
0,000146	18,144
0,000182	22,680
0,000219	27,215
0,000257	31,751
0,000292	36,287
0,000328	40,823
0,000365	45,359

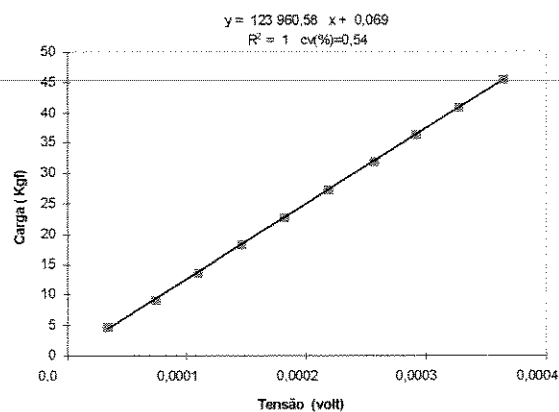


Figura 9- Gráfico de calibração correspondente aos valores da Tabela A9.

1.5 - Cálculo de erros de leitura nos canais de direções principais

O erro foi calculado baseado na hipótese de que somente o canal correspondente à direção principal de aplicação da carga deveria apresentar leituras diferente de zero

Tabela A10 – Erros de leituras dos canais y e z com carregamento na direção X

Carga na direção "X" (kgf)	Leituras no canal "x" (μvolt)	Leituras no canal "y" (μvolt)	erro (%)	leituras no canal "z" (μ volt)	erro (%)
4,536	37	0	0	0	0
9,072	71	0	0	0	0
13,608	106	0	0	0	0
18,144	143	0	0	0	0
22,680	180	0	0	0	0
27,215	216	5	2,3	4	1,9
31,751	250	5	2,0	5	2,0
36,287	286	7	2,4	5	1,7
40,823	322	10	3,1	6	1,9
45,359	360	10	2,8	12	3,3

Tabela A11 – Erros de leituras dos canais x e z com carregamento na direção Y

Carga na direção "Y" (kgf)	leituras no canal "x" (μ volt)	erro (%)	leituras no canal "y"(μ volt)	leituras no canal "z" (μ volt)	erro (%)
4,536	0	0	40	0	0
9,072	0	0	80	0	0
13,608	0	0	120	0	0
18,144	0	0	160	0	0
22,680	0	0	200	0	0
27,215	0	0	240	0	0
31,751	0	0	281	0	0
36,287	0	0	321	0	0
40,823	0	0	360	0	0
45,359	0	0	401	0	0

Tabela A12 – Erros de leituras dos canais x e y com carregamento na direção Z(1ª repetição)

Carga na direção "Z ₁ " (kgf)	leituras no canal "x" (μ volt)	erro (%)	leituras no canal "y"(μ volt)	erro (%)	leituras no canal "z"(μ volt)
4,536	0	0	0	0	36
9,072	0	0,0	0	0	77
13,608	0	0,0	-4	-3,6	110
18,144	-2	-1,4	-7	-4,8	146
22,680	0	0,0	-7	-3,9	180
27,215	0	0,0	-8	-3,7	216
31,751	2	0,8	-10	-3,9	256
36,287	4	1,4	-10	-3,4	294
40,823	4	1,2	-12	-3,6	332
45,359	6	1,6	-13	-3,5	368

Tabela A13 – Erros de leituras dos canais x e y com carregamento na direção Z(2ª repetição)

Carga na direção "Z ₂ " (kgf)	leitura no canal "x" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "y"(μ volt)	erro (%)	leitura no canal "z" (volt)
4,536	0	0	0	0	36
9,072	0	0	0	0	72
13,608	0	0	-3	-2,8	109
18,144	0	0	-4	-2,7	146
22,680	0	0	-6	-3,3	184
27,215	0	0	-2	-0,9	222
31,751	2	0,8	-5	-1,9	258
36,287	4	1,2	-10	-3,0	334
40,823	4	1,1	-10	-2,7	370
45,359	6	1,5	-13	-3,2	406

Tabela A14 – Erros de leituras dos canais x e y com carregamento na direção Z(3ª repetição)

Carga na direção "Z ₃ " (kgf)	leitura no canal "x"(μ volt)	erro (%)	leitura no canal "y"(μvolt)	erro (%)	leitura no canal "z"(μvolt)
4,536	0	0	0	0	39
9,072	1	1,4	0	0	74
13,608	1	0,9	-3	-2,7	111
18,144	2	1,3	-4	-2,7	150
22,680	3	1,6	-8	-4,3	185
27,215	4	1,8	-9	-4,0	223
31,751	4	1,5	-11	-4,2	264
36,287	3	1,0	-13	-4,4	298
40,823	4	1,2	-14	-4,2	334
45,359	5	1,3	-15	-4,0	371

Tabela A15 – Fatores de calibração e coeficientes de regressão nas das direções

Direção	Coeficientes de regressão		Fatores de Calibração
X1	$R^2 = 1$	cv = 0,56 %	126388,44
X ₁	$R^2 = 1$	cv = 0,25 %	128282,63
Y	$R^2 = 1$	cv = 0,18 %	113103,84
Z	$R^2 = 1$	cv = 0,19 %	118644,17
Z ₁	$R^2 = 1$	cv = 1.2 %	123838,66
Z ₂	$R^2 = 1$	cv = 0,51 %	107418,61
Z ₃	$R^2 = 1$	cv = 0,80 %	122209,21

Tabela A18- Valores de Tensão lidos no canal “y” para cada excentricidade da carga em x

Leituras no canal "y"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000010
-3,9	0,000011
-2,6	0,000010
-1,3	0,000010
1,3	0,000009
2,6	0,000008
3,9	0,000007
5,2	0,000009

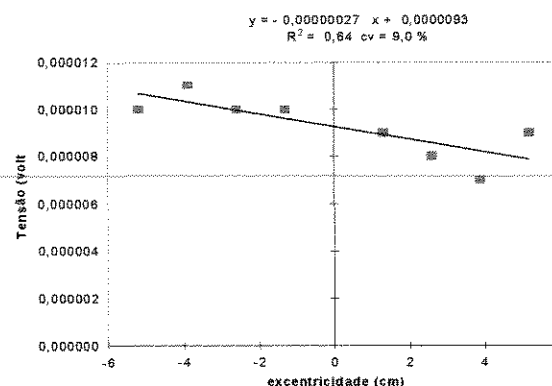


Figura 11- Gráfico de aferição correspondente ao valores do canal ‘y’ da Tabela A18.

Tabela A19- Valores de Tensão lidos no canal “z” para cada excentricidade da carga em x.

Leituras no canal "z"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000011
-3,9	0,000012
-2,6	0,000010
-1,3	0,000011
1,3	0,000011
2,6	0,000011
3,9	0,000012
5,2	0,000011

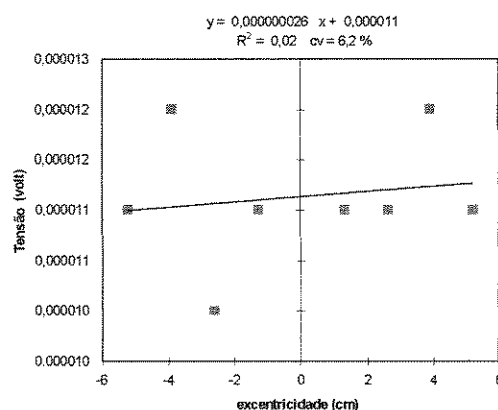


Figura 12- Gráfico de aferição correspondente ao valores do canal ‘z’ da Tabela A19.

2.2 - Carregamento na direção ‘X’ e excentricidade em ‘z’ (primeira repetição)

Tabela A20- Valores de Tensão lidos no canal “x” para cada excentricidade da carga em Z.

Leituras no canal "x"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000360
-3,9	0,000360
-2,6	0,000360
-1,3	0,000358
1,3	0,000358
2,6	0,000356
3,9	0,000356
5,2	0,000356

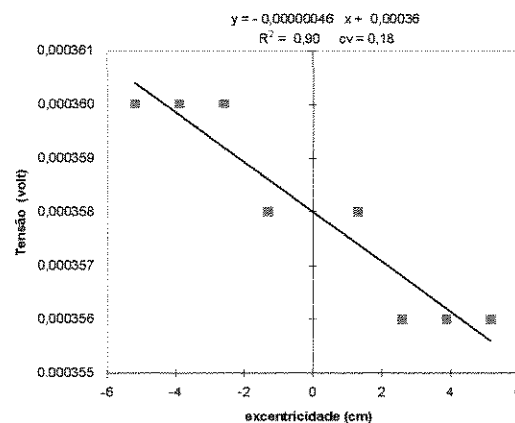


Figura 13- Gráfico de aferição correspondente ao valores do canal ‘x’ da Tabela A20.

Tabela A24- Valores de Tensão lidos no canal 'y' para cada excentricidade da carga em X.

Leituras no canal "y"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000018
-3,9	0,000019
-2,6	0,000019
-1,3	0,000017
0	0,000018
1,3	0,000015
2,6	0,000018
3,9	0,000018
5,2	0,000018

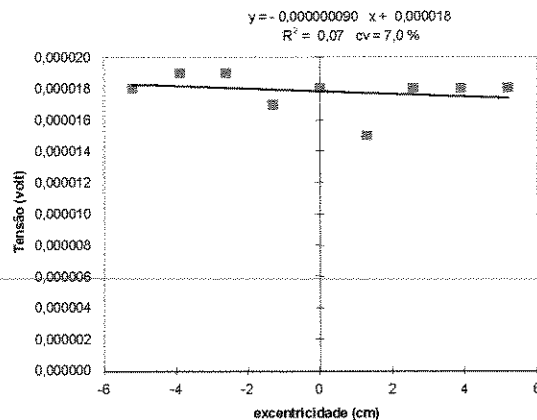


Figura 17 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'y' da Tabela A24.

Tabela A25- Valores de Tensão lidos no canal 'z' para cada excentricidade da carga em X.

Leituras no canal "z"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000006
-3,9	0,000007
-2,6	0,000008
-1,3	0,000007
0	0,000008
1,3	0,000007
2,6	0,000007
3,9	0,000006
5,2	0,000006

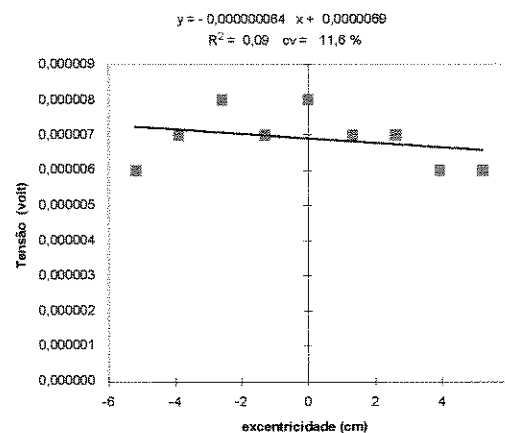


Figura 18- Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'z' da Tabela A25.

2.4 - Carregamento na direção 'X' e excentricidade em 'z' (Segunda repetição)

Tabela A26- Valores de Tensão lidos no canal 'x' para cada excentricidade da carga em X

Leituras no canal "x"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000357
-3,9	0,000358
-2,6	0,000359
-1,3	0,000359
0	0,000361
1,3	0,000362
2,6	0,000363
3,9	0,000363
5,2	0,000364

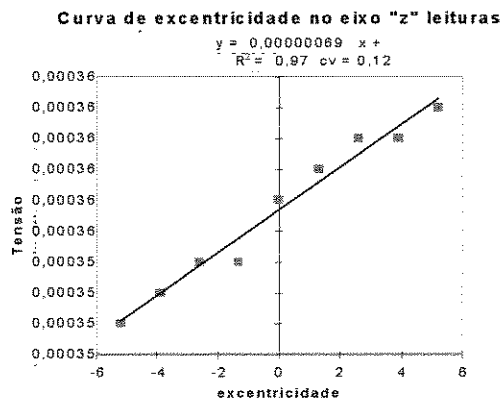


Figura 19 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'x' da Tabela A26.

Tabela A27- Valores de Tensão lidos no canal 'y' para cada excentricidade da carga em X.

Leituras no canal "y"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000011
-3,9	0,000013
-2,6	0,000013
-1,3	0,000014
0	0,000018
1,3	0,000018
2,6	0,000015
3,9	0,000022
5,2	0,000023

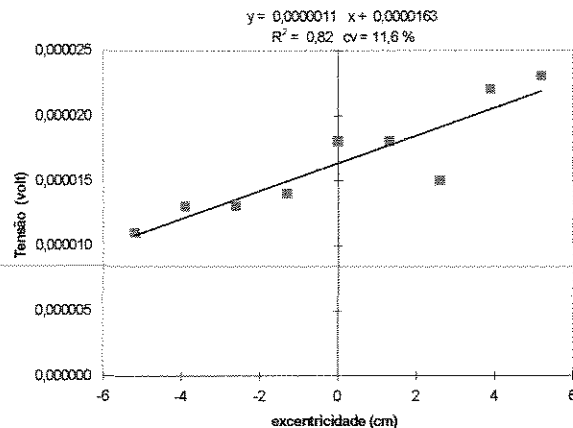


Figura 20 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'y' da Tabela A27.

Tabela A28- Valores de Tensão lidos no canal 'z' para cada excentricidade da carga em X

Leituras no canal "z"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000004
-3,9	0,000006
-2,6	0,000009
-1,3	0,000007
0	0,000008
1,3	0,000007
2,6	0,000004
3,9	0,000008
5,2	0,000009

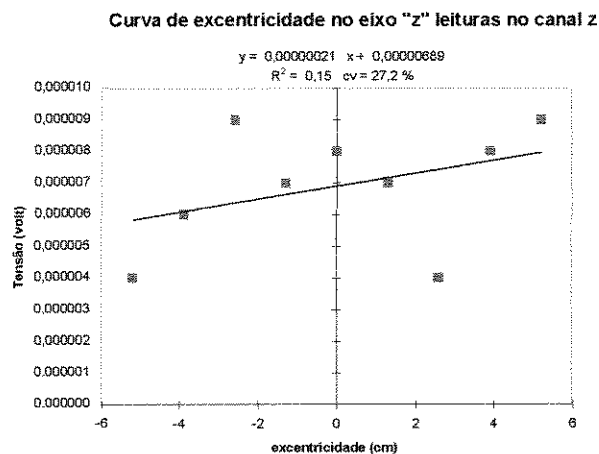


Figura 21 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'z' da Tabela A28.

2.5 - Carregamento na direção "Y" excentricidade em 'x'

Tabela A29-Valores de Tensão lidos no canal 'x' para cada excentricidade da carga em 'Y.'

Leituras no canal "x"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000010
-3,9	0,000009
-2,6	0,000006
-1,3	0,000004
1,3	0,000003
2,6	0,000006
3,9	0,000002
5,2	0,000001

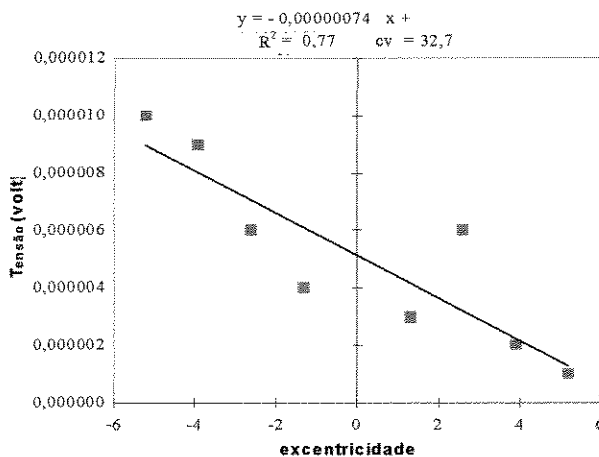


Figura 22 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'x' da Tabela A29

Tabela A30- Valores de Tensão lidos no canal 'y' para cada excentricidade da carga em 'Y'.

Leituras no canal "y"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000402
-3,9	0,000402
-2,6	0,000400
-1,3	0,000397
0,0	0,000401
1,3	0,000402
2,6	0,000404
3,9	0,000405
5,2	0,000402

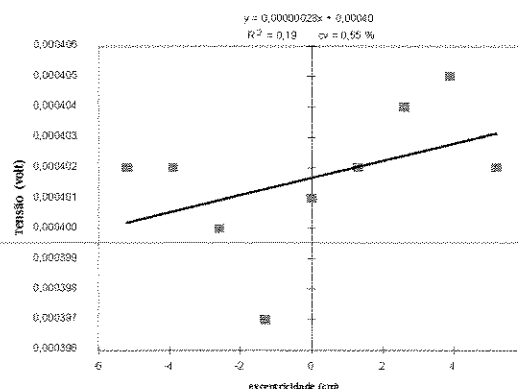


Figura 23 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'y' da Tabela A30.

Tabela A31- Valores de Tensão lidos no canal 'z' para cada excentricidade da carga em 'Y'.

Leituras no canal "z"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	-0,000005
-3,9	-0,000003
-2,6	-0,000003
-1,3	-0,000002
1,3	0,000003
2,6	0,000010
3,9	0,000009
5,2	0,000011

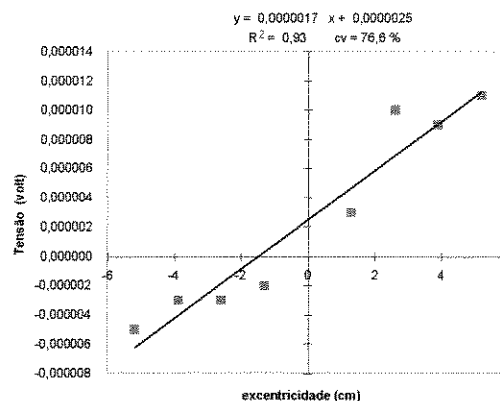


Figura 24 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'z' da Tabela A31.

2.6 - Carregamento na direção "Y" excentricidade em 'z'

Tabela A32- Valores de Tensão lidos no canal 'x' para cada excentricidade da carga em 'Y'.

Leituras no canal "x"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000010
-3,9	0,000009
-2,6	0,000008
-1,3	0,000006
0,0	0,000006
1,3	0,000003
2,6	0,000003
3,9	0,000001
5,2	0,000000

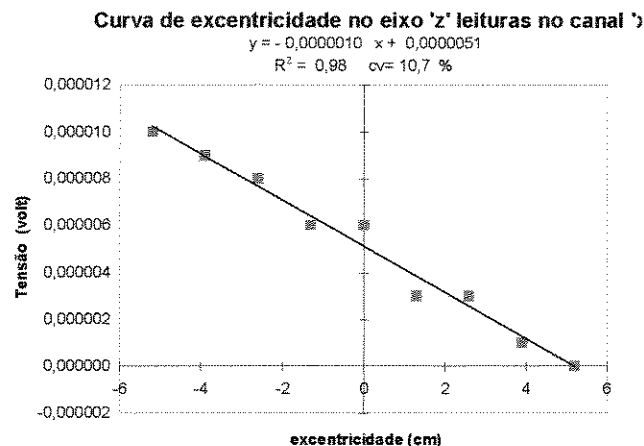


Figura 25 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'x' da Tabela A32.

Tabela A33- Valores de Tensão lidos no canal 'y' para cada excentricidade da carga em 'Z'.

Leituras no canal "y"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000404
-3,9	0,000403
-2,6	0,000403
-1,3	0,000401
0,0	0,000401
1,3	0,000400
2,6	0,000400
3,9	0,000399
5,2	0,000395

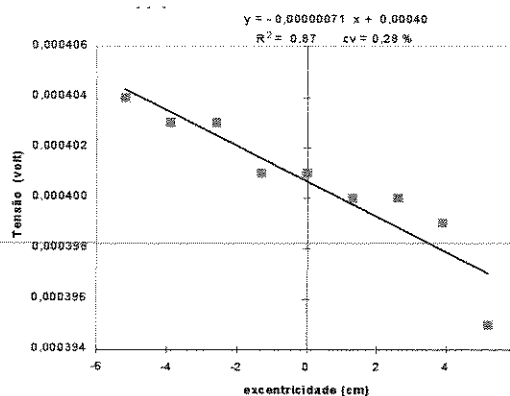


Figura 26 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'y' da Tabela A33.

Tabela A34- Valores de Tensão lidos no canal 'z' para cada excentricidade da carga em 'Z'.

Leituras no canal "z"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	-0,000002
-3,9	0,000000
-2,6	0,000002
-1,3	0,000003
0,0	0,000004
1,3	0,000003
2,6	0,000006
3,9	0,000007
5,2	0,000009

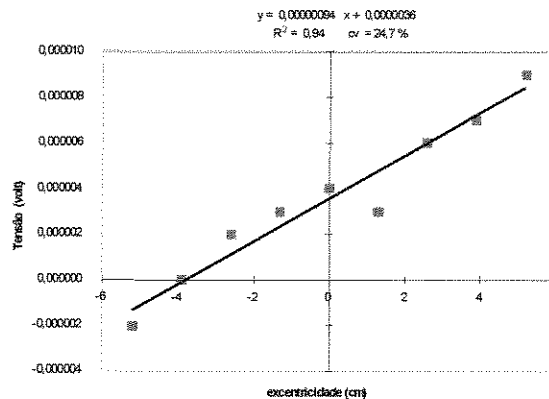


Figura 27 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'z' da Tabela A34.

2.7 - Carregamento na direção "Z" excentricidade em 'x'

Tabela A35- Valores de Tensão lidos no canal 'x' para cada excentricidade da carga em 'Z'.

Leituras no canal "x"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000004
-3,9	0,000005
-2,6	0,000005
-1,3	0,000007
0	0,000007
1,3	0,000005
2,6	0,000006
3,9	0,000008
5,2	0,000009

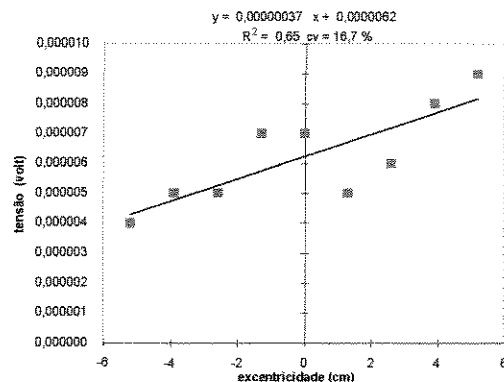


Figura 28 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'x' da Tabela A35.

Tabela A36- Valores de Tensão lidos no canal 'y' para cada excentricidade da carga em 'Z'.

Leituras no canal "y"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	-0,000018
-3,9	-0,000017
-2,6	-0,000017
-1,3	-0,000018
0	-0,000014
1,3	-0,000015
2,6	-0,000007
3,9	-0,000005
5,2	-0,000002

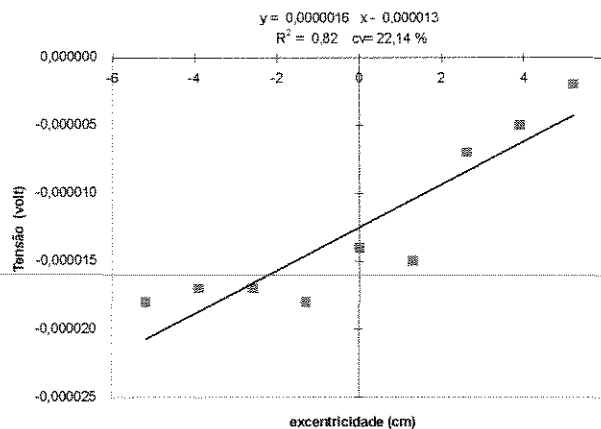


Figura 29 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'y' da Tabela A36

Tabela A37- Valores de Tensão lidos no canal 'z' para cada excentricidade da carga em 'Z'.

Leituras no canal "z"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000381
-3,9	0,000383
-2,6	0,000382
-1,3	0,000383
0	0,000380
1,3	0,000384
2,6	0,000385
3,9	0,000385
5,2	0,000386

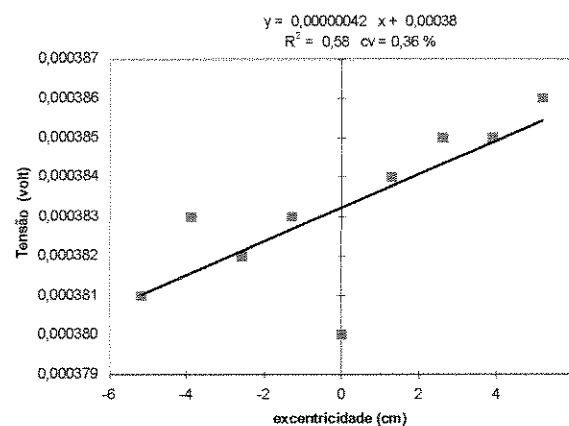


Figura 30 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'z' da Tabela A37.

2.8 - Carregamento na direção "Z"
excentricidade em 'z' (primeira repetição)

Tabela A38- Valores de Tensão lidos no canal 'x' para cada excentricidade da carga em 'Z'.

Leitura no canal "x"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000007
-3,9	0,000007
-2,6	0,000007
-1,3	0,000008
0	0,000007
1,3	0,000007
2,6	0,000007
3,9	0,000007
5,2	0,000007

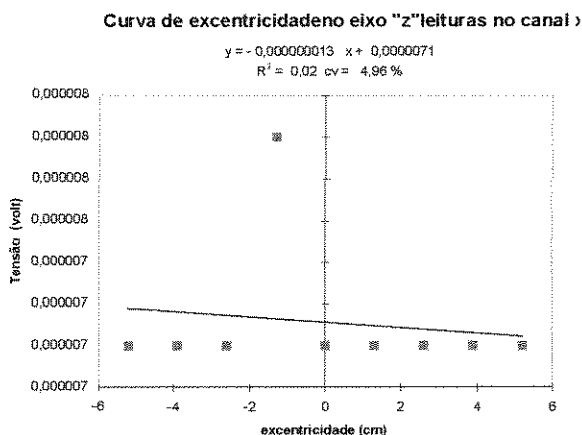


Figura 31- Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'x' da Tabela A38.

Tabela A39- Valores de Tensão lidos no canal 'y' para cada excentricidade da carga em 'Z'.

Leitura no canal "y"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	-0,000009
-3,9	-0,000010
-2,6	-0,000017
-1,3	-0,000012
0	-0,000014
1,3	-0,000015
2,6	-0,000018
3,9	-0,000011
5,2	-0,000010

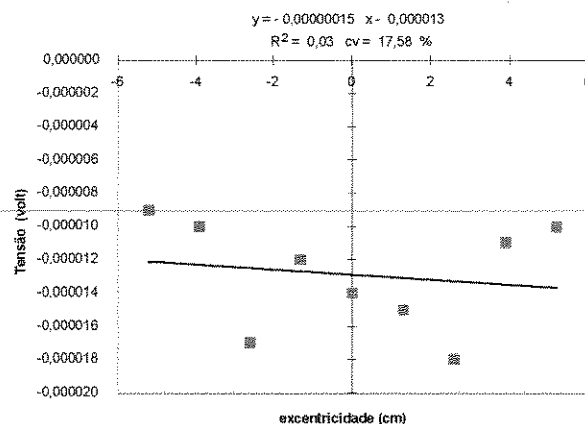


Figura 32 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'y' da Tabela A39.

Tabela A40- Valores de Tensão lidos no canal 'z' para cada excentricidade da carga em 'Z'.

Leitura no canal "z"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000382
-3,9	0,000381
-2,6	0,000385
-1,3	0,000381
0	0,000380
1,3	0,000407
2,6	0,000407
3,9	0,000405
5,2	0,000404

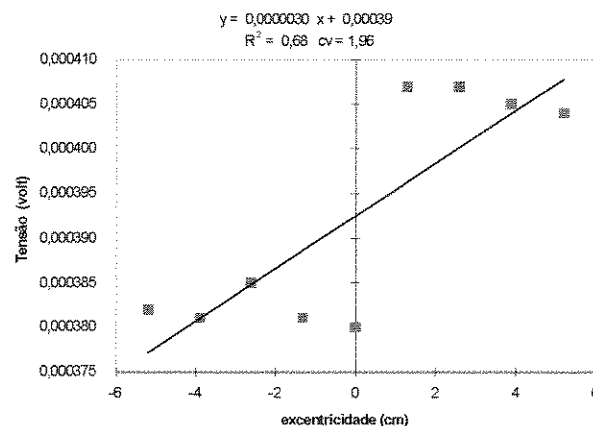


Figura 33 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'z' da Tabela A40.

2.9 - Carregamento na direção "Z"
excentricidade em 'x' (segunda repetição) "

Tabela A41- Valores de Tensão lidos no canal 'x' para cada excentricidade da carga em 'Z'.

Leituras no canal "x"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000002
-3,9	0,000006
-2,6	0,000006
-1,3	0,000004
1,3	0,000007
2,6	0,000005
3,9	0,000005
5,2	0,000006

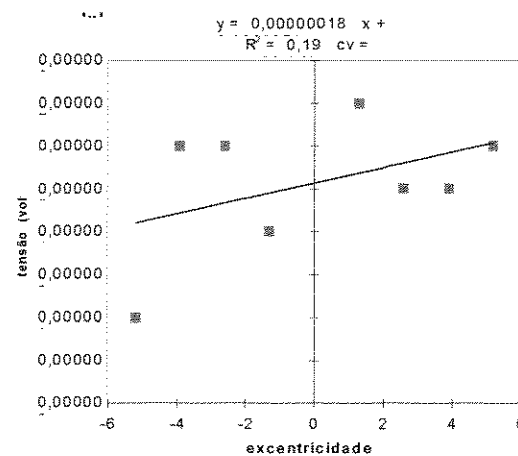


Figura 34 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'x' da Tabela A41.

Tabela A42 -Valores de Tensão lidos no canal 'y' para cada excentricidade da carga em 'Z'.

Leituras no canal "y"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	-0,000013
-3,9	-0,000014
-2,6	-0,000017
-1,3	-0,000013
1,3	-0,000017
2,6	-0,000016
3,9	-0,000011
5,2	-0,000010

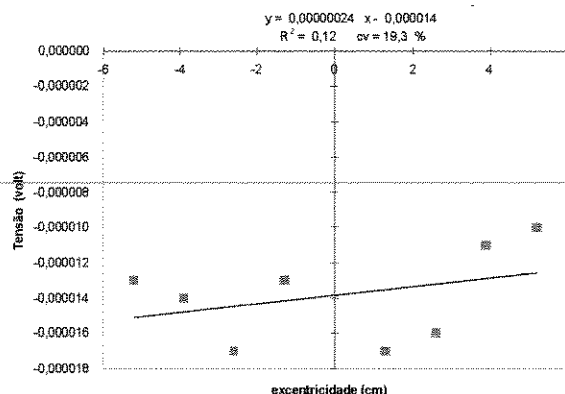


Figura 35 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'y' da Tabela A42.

Tabela A43 -Valores de Tensão lidos no canal 'z' para cada excentricidade da carga em 'Z'.

Leituras no canal "z"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000407
-3,9	0,000407
-2,6	0,000407
-1,3	0,000405
1,3	0,000407
2,6	0,000404
3,9	0,000408
5,2	0,000408

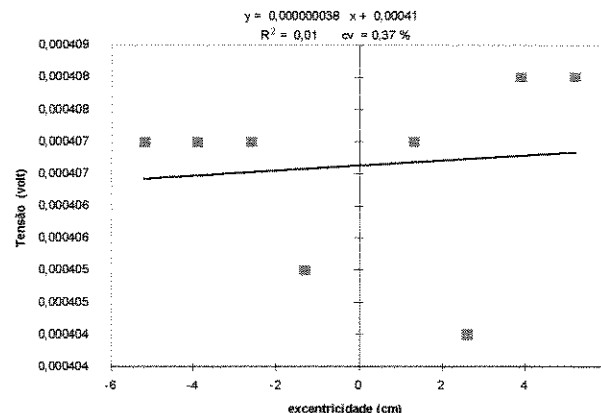


Figura 36- Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'z' da Tabela A43.

2.10 - Carregamento na direção "Z" excentricidade em 'z' (segunda repetição)

Tabela A44 -Valores de Tensão lidos no canal 'x' para cada excentricidade da carga em 'Z'

Leituras no canal "x"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000010
-3,9	0,000007
-2,6	0,000005
-1,3	0,000007
1,3	0,000004
2,6	0,000008
3,9	0,000004
5,2	0,000000

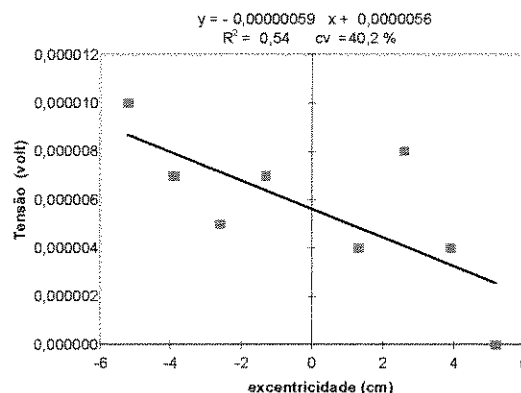


Figura 37 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'x' da Tabela A44.

Tabela A45 -Valores de Tensão lidos no canal 'y' para cada excentricidade da carga em 'Z'

Leituras no canal "y"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	-0,000005
-3,9	-0,000005
-2,6	-0,000010
-1,3	-0,000010
1,3	-0,000013
2,6	-0,000013
3,9	-0,000015
5,2	-0,000022

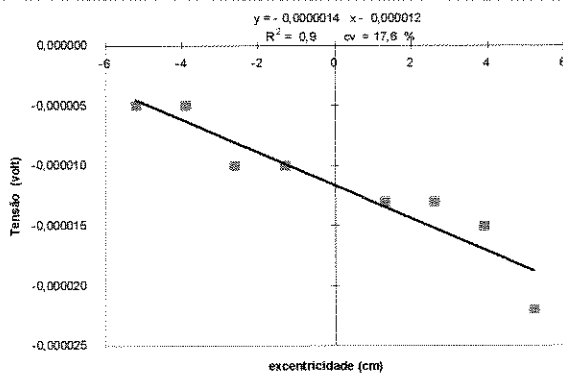


Figura 38 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'y' da Tabela A45

Tabela A46 -Valores de Tensão lidos no canal 'z' para cada excentricidade da carga em 'Z'.

Leituras no canal "z"	
Excentric. (cm)	Tensão(volt)
-5,2	0,000410
-3,9	0,000409
-2,6	0,000408
-1,3	0,000409
1,3	0,000407
2,6	0,000407
3,9	0,000405
5,2	0,000404

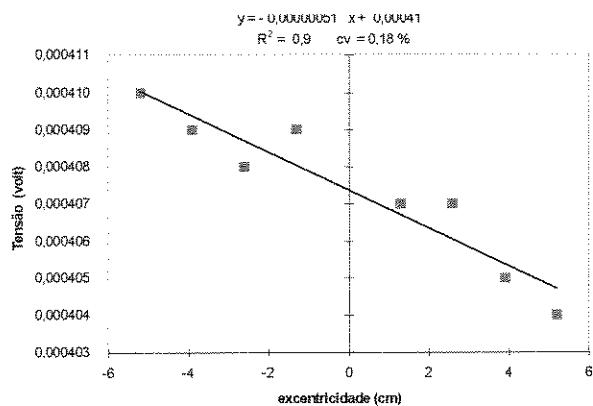


Figura 39 - Gráfico de aferição correspondente aos valores do canal 'z' da Tabela A46.

2.11 - Cálculo de erros de leitura nos canais para a calibração com carga excêntrica

O erro foi calculado na hipótese que o canal correspondente à direção de carregamento deveria apresentar leitura igual a zero

Carregamento na direção X (1ª repetição) obtido com carga centrada **$F_x = 45,359 \text{ kgf (100 lbf)}$ leitura = 360(μvolt)**

Tabela 47 – Erros de leitura nos canais x,y e z para carga excêntrica em X

Excentricidade no eixo "x"						
Excentricidade (cm)	leitura no canal "x"(μvolt)	erro (%)	leitura no canal "y"(μvolt)	erro (%)	leitura no canal "z" (μvolt)	erro (%)
-5,2	359	0,3	10	2,8	11	3,1
-3,9	360	0	11	3,1	12	3,3
-2,6	359	0,3	10	2,8	10	2,8
-1,3	358	0,6	10	2,8	11	3,1
0	–	–	–	–	–	–
1,3	360	0	9	2,5	11	3,1
2,6	358	0,6	8	2,2	11	3,1
3,9	360	0	7	1,9	12	3,3
5,2	359	0,3	9	2,5	11	3,1

Tabela 48 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em Z

Excentricidade no eixo "z"						
Excentricidade (cm)	leitura no canal "x"(μvolt)	erro (%)	leitura no canal "y"(μvolt)	erro (%)	leitura no canal "z" (μvolt)	erro (%)
-5,2	360	0	16	4,4	12	3,3
-3,9	360	0	16	4,4	14	3,9
-2,6	360	0	10	2,8	10	2,8
-1,3	358	0,6	5	1,4	6	1,7
0	–	–	–	–	–	–
1,3	358	0,6	8	2,2	10	2,8
2,6	356	1,1	6	1,7	13	3,6
3,9	356	1,1	6	1,7	10	2,8
5,2	356	1,1	4	1,1	8	2,2

Carregamento na direção X (2ª repetição) obtido com carga centrada
 $F_x = 45,359 \text{ kgf (100 lbf)}$ leitura = 354(μvolt)

Tabela 49 – Erros de leitura nos canais x,y e z para carga excêntrica em X

Excentricidade (cm)	leitura no canal "x"(μvolt)	Excentricidade no eixo"x"			leitura no canal "z" (μvolt)	erro (%)
		erro (%)	leitura no canal "y"(μvolt)	erro (%)		
-5,2	360	-1,7	18	5,1	6	1,7
-3,9	360	-1,7	19	5,4	7	2,0
-2,6	360	-1,7	19	5,4	8	2,3
-1,3	360	-1,7	17	4,8	7	2,0
0	361	-2,0	18	5,1	8	2,3
1,3	360	-1,7	15	4,2	7	2,0
2,6	360	-1,7	18	5,1	7	2,0
3,9	360	-1,7	18	5,1	6	1,7
5,2	360	-1,7	18	5,1	6	1,7

Tabela 50 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em Z

Excentricidade (cm)	leitura no canal "x"(μvolt)	erro (%)	Excentricidade no eixo"z"			erro (%)
			leitura no canal "y"(μvolt)	erro (%)	leitura no canal "z" (μvolt)	
-5,2	357	-0,8	11	3,1	4	1,1
-3,9	358	-1,1	13	3,7	6	1,7
-2,6	359	-1,4	13	3,7	9	2,5
-1,3	359	-1,4	14	4,0	7	2,0
0	361	-2,0	18	5,1	8	2,3
1,3	362	-2,3	18	5,1	7	2,0
2,6	363	-2,5	15	4,2	4	1,1
3,9	363	-2,5	22	6,2	8	2,3
5,2	364	-2,8	23	6,5	9	2,5

Carregamento na direção Y obtido com carga centrada

$F_y = 45,359 \text{ kgf (100 lbf)}$ leitura = 401(μvolt)

Tabela 51 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em x

excentricidade (cm)	leitura no canal "x" ($\mu \text{ volt}$)	erro (%)	Excentricidade no eixo "x"			leitura no canal "z" ($\mu \text{ volt}$)	erro (%)
			leitura no canal "y" ($\mu \text{ volt}$)	erro (%)			
-5,2	10	2,5	402	-0,3		-5	-1,2
-3,9	9	2,2	402	-0,3		-3	-0,7
-2,6	6	1,5	400	0,3		-3	-0,7
-1,3	4	1,0	397	1,0		-2	-0,5
0	-	-	401	-		-	-
1,3	3	0,7	402	0,3		3	0,7
2,6	6	1,5	404	-0,8		10	2,5
3,9	2	0,5	405	-1,0		9	2,2
5,2	1	0,2	402	-0,5		11	2,7

Tabela 52 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em z
Excentricidade no eixo "z"

excentricidade (cm)	leitura no canal "x" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "y" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "z" (μ volt)	erro (%)
-5,2	10	2,5	404		-2	-0,5
-3,9	9	2,2	403		0	0
-2,6	8	2,0	403		2	0,5
-1,3	6	1,5	401		3	0,7
0	6	1,5	401		4	1,0
1,3	3	0,7	400		3	0,7
2,6	3	0,7	400		6	1,5
3,9	1	0,2	399		7	1,7
5,2	0	0	398		9	2,2

Carregamento na direção Z (1ª repetição) obtido com carga centrada
Fz =45,359 kgf (100 lbf) leitura =382(μ volt)

Tabela 53 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em x
Excentricidade no eixo "x"

excentricidade (cm)	leitura no canal "x" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "y" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "z" (μ volt)	erro (%)
-5,2	4	1,0	-18	-4,7	381	0,3
-3,9	5	1,3	-17	-4,5	383	-0,3
-2,6	5	1,3	-17	-4,5	382	0,0
-1,3	7	1,8	-18	-4,7	383	-0,3
0	7	1,8	-14	-3,7	380	0,5
1,3	5	1,3	-15	-3,9	384	-0,5
2,6	6	1,6	-7	-1,8	385	-0,8
3,9	8	2,1	-5	-1,3	385	-0,8
5,2	9	2,4	-2	-0,5	386	-1,0

Tabela 54 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em z
Excentricidade no eixo "z"

excentricidade (cm)	leitura no canal "x" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "y" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "z" (μ volt)	erro (%)
-5,2	7	1,8	-9	-2,4	382	-0,5
-3,9	7	1,8	-10	-2,6	381	-0,3
-2,6	7	1,8	-17	-4,5	385	-1,3
-1,3	8	2,1	-12	-3,1	381	-0,3
0	7	1,8	-14	-3,7	380	0,0
1,3	7	1,8	-15	-3,9	382	-0,5
2,6	7	1,8	-18	-4,7	379	0,3
3,9	7	1,8	-11	-2,9	384	-1,1
5,2	7	1,8	-10	-2,6	383	-0,8

Carregamento na direção Z (2ª repetição) obtido com carga centrada
Fz = 45,359 kgf (100 lbf) leitura = 368 (μvolt)

Tabela 55 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em x
 Excentricidade no eixo "x"

excentricidade (cm)	leitura no canal "x" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "y" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "z" (μ volt)	erro (%)
-5,2	2	0,5	-13	-3,5	407	-10,6
-3,9	6	1,6	-14	-3,8	407	-10,6
-2,6	6	1,6	-17	-4,6	407	-10,6
-1,3	4	1,1	13	3,5	405	-10,1
0	-	-	-	-	-	-
1,3	7	1,9	-17	-4,6	407	-10,6
2,6	5	1,4	-16	-4,3	404	-9,8
3,9	5	1,4	-11	-3,0	408	-10,9
5,2	6	1,6	-10	-2,7	408	-10,9

Tabela 56 – Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em z
 Excentricidade no eixo "z"

excentricidade (cm)	leitura no canal "x" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "y" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "z" (μ volt)	erro (%)
-5,2	10	2,7	-5	-1,4	410	-11,4
-3,9	7	1,9	-5	-1,4	409	-11,1
-2,6	5	1,4	-10	-2,7	408	-10,9
-1,3	7	1,9	-10	-2,7	409	-11,1
0	-	-	-	-	-	-
1,3	4	1,1	-13	-3,5	407	-10,6
2,6	8	2,2	-13	-3,5	407	-10,6
3,9	4	1,1	-15	-4,1	405	-10,1
5,2	0	0,0	-22	-6,0	404	-9,8

Carregamento na direção Z (3ª repetição) obtido com carga centrada
Fz = 45,359 kgf (100 lbf) leitura = 406 (μvolt)

Tabela 57– Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em x
 Excentricidade no eixo "x"

excentricidade (cm)	leitura no canal "x" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "y" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "z" (μ volt)	erro (%)
-5,2	10	2,5	-13	-3,2	407	-0,3
-3,9	7	1,7	-14	-3,4	407	-0,3
-2,6	5	1,2	-17	-4,2	407	-0,3
-1,3	7	1,7	13	3,2	405	0,3
0	-	-	-	-	-	-
1,3	4	1,0	-17	-4,2	407	-0,3
2,6	8	2,0	-16	-3,9	404	0,5
3,9	4	1,0	-11	-2,7	408	-0,5
5,2	0	0,0	-10	-2,5	408	-0,5

Tabela 58– Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em z
Excentricidade no eixo "z"

excentricidade (cm)	leitura no canal "x" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "y" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "z" (μ volt)	erro (%)
-5,2	10	2,5	-5	-1,2	410	-1,0
-3,9	7	1,7	-5	-1,2	409	-0,7
-2,6	5	1,2	-10	-2,5	408	-0,5
-1,3	7	1,7	-10	-2,5	409	-0,7
0	-	-	-	-	-	-
1,3	4	1,0	-13	-3,2	407	-0,2
2,6	8	2,0	-13	-3,2	407	-0,2
3,9	4	1,0	-15	-3,7	405	0,2
5,2	0	0	-22	-5,4	404	0,5

Carregamento na direção Z (4ª repetição) obtido com carga centrada
Fz =45,359 kgf (100 lbf) leitura =371 (μ volt)

Tabela 59– Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em x
Excentricidade no eixo "x"

excentricidade (cm)	leitura no canal "x" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "y" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "z" (μ volt)	erro (%)
-5,2	3	0,8	-17	-4,6	369	0,5
-3,9	3	0,8	-15	-4,0	370	0,3
-2,6	4	1,1	-14	-3,8	371	0,0
-1,3	5	1,3	-15	-4,0	373	-0,5
0	5	1,3	-15	-4,0	371	0,0
1,3	6	1,6	-12	-3,2	372	-0,3
2,6	6	1,6	-8	-2,2	372	-0,3
3,9	7	1,9	-5	-1,3	372	-0,3
5,2	9	2,4	-3	-0,8	372	-0,3

Tabela 60– Erros de leituras nos canais x,y e z para carga excêntrica em z
Excentricidade no eixo "z"

excentricidade (cm)	leitura no canal "x" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "y" (μ volt)	erro (%)	leitura no canal "z" (μ volt)	erro (%)
-5,2	5	1,3	-9	-2,4	370	0,3
-3,9	4	1,1	-7	-1,9	370	0,3
-2,6	4	1,1	-14	-3,8	374	-0,8
-1,3	4	1,1	-15	-4,0	371	0,0
0	5	1,3	-15	-4,0	371	0,0
1,3	5	1,3	-15	-4,0	370	0,3
2,6	7	1,9	-16	-4,3	367	1,1
3,9	5	1,3	-9	-2,4	370	0,3
5,2	5	1,3	-9	-2,4	370	0,3