

**REINALDO SEBASTIÃO SILVA**

**RESISTÊNCIA MECÂNICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus saligna***  
**UNIDAS POR ADESIVO POLIURETANO PARA DIFERENTES**  
**ACABAMENTOS DE SUPERFÍCIE**

**REINALDO SEBASTIÃO SILVA**

**RESISTÊNCIA MECÂNICA DA MADEIRA DE *Eucalyptus saligna*  
UNIDAS POR ADESIVO POLIURETANO PARA DIFERENTES  
ACABAMENTOS DE SUPERFÍCIE**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia  
do Campus de Guaratinguetá, Universidade  
Estadual Paulista, para a obtenção do título  
de Doutor em Engenharia Mecânica na Área  
de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves

Guaratinguetá  
2013

S586r Silva, Reinaldo Sebastião  
Resistência Mecânica da Madeira de *Eucalyptus Saligna* Unidas por Adesivo Poliuretano para Diferentes Acabamentos de Superfície / Reinaldo Sebastião Silva – Guaratinguetá : [s.n], 2013.  
102 f : il.  
Bibliografia: f. 95-102

Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013.  
Orientador: Prof. Dr. Marcos Tadeu Tiburcio Gonçalves

1. Trabalhos em madeira 2. Eucalipto 3. Usinagem I. Título

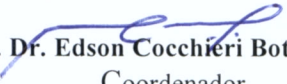
CDU 674.02(043)

**REINALDO SEBASTIÃO SILVA**

ESTA TESE FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
“DOUTOR EM ENGENHARIA MECÂNICA”


PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA  
ÁREA: MATERIAIS

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO

  
Prof. Dr. Edson Cocchiéri Botelho  
Coordenador


**BANCA EXAMINADORA:**

  
Prof. Dr. MARCOS TADEU TIBURCIO GONÇALVES  
Orientador / Unesp-Feg

  
Prof. Dr. MANOEL CLEBER DE SAMPAIO ALVES  
Unesp-Feg

  
Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI  
Unesp-Feb

  
Prof. Dr. MARCO ANTONIO DOS REIS PEREIRA  
Unesp-Feb

  
Prof. Dr. EDUARDO MAURO DO NASCIMENTO  
UTFPR-DAMEC

Novembro de 2013

## **DADOS CURRICULARES**

### **REINALDO SEBASTIÃO SILVA**

**NASCIMENTO** 05.11.1954 – BAURU / SP

**FILIAÇÃO** Nelson Pinto da Silva  
Juracy Sebastião Silva

1971/1974 1971: Colégio Diocesano, São Carlos – SP;  
1972 a 1974: Cursos Brasília, Bauru – SP.

1981/1983 Curso de Graduação em Tecnologia Mecânica – Fundação Educacional de Bauru, Bauru - SP

1991/1994 Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos - SP.

Aos meus grandes incentivadores, pais Nelson e Juracy, esposa Marisa e  
filhas Laura e Lais.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e amigo professor *Marcos Tadeu* pela dedicação na realização deste trabalho.

Ao meu pai *Nelson Pinto da Silva* e a minha mãe *Juracy Sebastião Silva*, pela dedicação na minha educação e formação como cidadão.

Ao técnico de laboratório *Juliano Rodrigo de Brito* do Campus de Itapeva, pela dedicação exemplar e ao amigo *Paulo Roberto Gomes Alves* (o “Físico”) pelo companheirismo e ajuda em meus experimentos.

Aos funcionários da UNESP, das Unidades Universitárias de Itapeva e de Guaratinguetá pelo apoio irrestrito nesta caminhada.

SILVA, R.S. **Resistência mecânica da madeira de *Eucalyptus saligna* unidas por adesivo poliuretano para diferentes acabamentos de superfície**. 2013. 102 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Guaratinguetá 2013.

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo, verificar o desempenho de juntas coladas em função do acabamento das superfícies usinadas em operações de fresamento para diferentes velocidades de avanço e de lixamento para diferentes granulometrias de lixa, empregando-se madeira da espécie *Eucalyptus saligna*. Para tanto, foram confeccionadas amostras para ensaios normatizados pela Norma ABNT - NBR 7190, submetidas a testes de resistência a ruptura na linha de cola por esforços de cisalhamento e por tração normal. Na união das peças de madeira para confecção das amostras utilizou-se dois tipos de adesivos à base de resina poliuretano (PU), denominados neste estudo por “PU monocomponente” e “PU bicomponente”. Na preparação das superfícies para aplicação dos adesivos, o primeiro grupo de amostras foi usinado por operação de fresamento cilíndrico tangencial empregando-se três velocidades nominais de avanço “Vf” de 6,0; 11,0 e 15,0 m/min, o segundo grupo de amostras foi usinado por operação de lixamento empregando-se cinco granulometrias de lixas, granas: 80, 100, 120, 150 e 220. Dos resultados obtidos podem-se destacar os melhores desempenhos de resistência a ruptura; para superfícies fresadas: ao cisalhamento com Vf = 6,0 m/min com adesivo PU monocomponente e Vf = 15,0 m/min com adesivo PU bicomponente, à tração normal com Vf = 11,0 m/min para ambos adesivos PU; para superfícies lixadas: ao cisalhamento com lixa de grana 100 e à tração normal com lixa de grana 80, para ambos os adesivos PU.

**PALAVRAS-CHAVE:** Madeira colada, Eucalipto, Usinagem, Fresamento, Lixamento, Adesão.



SILVA, R.S. **Mechanical resistance of the *Eucalyptus saligna* wood united by polyurethane adhesive for different finishing touch of the surface.** 2013. 102 pages. Tesis (Doctor in Mechanical Engineering) - Faculty of Engineering, Campus of Guaratinguetá, Paulista University Estate - UNESP, Guaratinguetá 2013.

### **ABSTRACT**

The present work had as the main goal, to verify the performance of glued joints for finishing touch of machined surfaces in operations of milling for different speeds of advance and of fine sanding for different granulometry of sandpaper, using wood of the *Eucalyptus saligna* type. For that; samples have been manufactured for the experiments regulated by the ABNT rule – NBR 7190, subjected to tests of resistance to the rupture of the glue line for efforts of degloving and for the normal traction. In the union of the wooden parts to make the samples 2 types of polyurethane based adhesives (PU) were used, named in this study Mono component PU and Bi component PU. In the preparation of the surfaces for the application of the adhesives, the first group of the samples was machined by the operation of cylindrical tangential milling employing three nominal advance speed “Vf” of 6,0; 11,0 and 15,0 m/min, the second group of samples was machined by the operation of sanding employing five types of sandpaper granulometry, grains: 80, 100, 120, 150 and 220. From the obtained results it is possible to point out the best performances from resistance to rupture; for the milled surfaces: to the degloving with Vf = 6,0 m/min with the PU Mono component and Vf = 15,0 m/min with the PU Bi component, to the normal traction Vf = 11,0 m/min for both PU adhesives; for the sanded surfaces: to the degloving with a 100 grain sandpaper and to the normal traction with the 80, for both PU adhesives.

**KEYWORDS:** Glued wood, Eucalyptus, Machining, Milling, Sanding, Adhesion.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Painéis de madeira colada lateralmente com revestimento de lâminas. Fonte: <a href="http://online.businesslink.gov.uk/ITSW_files/Glossary_of_wood_and_woodworking_terms.pdf">http://online.businesslink.gov.uk/ITSW_files/Glossary_of_wood_and_woodworking_terms.pdf</a> .....	25
Figura 2.2	Esquema e dimensões de Blockboard. (Adaptado de Kartal, S. N.; Ayirmis, N., 2004).....	26
Figura 2.3	Geometria do fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88).....	27
Figura 2.4	Geometria do fresamento concordante (Norma ABNT 6162/88).....	27
Figura 2.5	Percurso de corte ( $L_c$ ), percurso de avanço ( $L_f$ ) e percurso efetivo ( $L_e$ ) no fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88).....	28
Figura 2.6	Avanço por dente ( $f_z$ ), avanço de corte ( $f_c$ ) e avanço efetivo ( $f_e$ ) no fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88).....	28
Figura 2.7	Ilustração do processo de fresamento periférico discordante, (KOCH, P., 1964).....	30
Figura 2.8	Acabamento superficial na formação do cavaco Tipo I e II, direção discordante (superior) e concordante (inferior) das fibras, respectivamente. Madeira: Cedro, $U_{BU} = 12\%$ , $\gamma_f = 25^\circ$ e $h = 1,5$ mm (GONÇALVES, 2000).....	31
Figura 2.9	Acabamento superficial na formação do cavaco Tipo III. Madeira: Castanheira, $U_{BU} = 12\%$ , $\gamma_f = 5^\circ$ e $h = 1,5$ mm (GONÇALVES, 2000).....	31
Figura 2.10	Elementos envolvidos na configuração das lixas.....	34
Figura 2.11	Planos na linha de cola, Tangencial e Radial (Adaptado de Burdulu <i>et al</i> , 2007).....	54
Figura 3.1	a) Detalhe das pilhas de madeira serrada após recebimento, b) Vista geral do equipamento: módulo de secagem por ventilação forçada, c) Detalhe das pilhas de madeira serrada sendo introduzidas no secador.....	57
Figura 3.2	Serra circular multilâminas, empregada para geração de peças na forma de sarrafos.....	57
Figura 3.3	Detalhe de medição da umidade em peça de madeira de <i>Eucalyptus saligna</i> após secagem por ventilação forçada. (teor de umidade registrado de 10,8 %).....	58
Figura 3.4	Ilustração do início de marcação das peças para confecção das amostras.....	59
Figura 3.5	Ilustração das máquinas de usinagem: (a) plaina desempenadeira, (b) plaina desengrossadeira.....	60

Figura 3.6	Fresadora (denominada por “Tupia Moldureira”) equipada com alimentador de avanço, utilizada na geração das superfícies de colagem das peças, para posterior lixamento e produção dos CPs.....	61
Figura 3.7	Peças com indicação de anomalias.....	61
Figura 3.8	Lixadeira de cinta de mesa horizontal empregada no lixamento das superfícies.....	62
Figura 3.9	Lixadeira utilizada: a) Conjunto lixadeira e Painel de controle, b) Detalhe: Painel de controle.....	63
Figura 3.10	Lixas utilizadas P80, P100, P120, P150 e P220 (direita para esquerda).....	63
Figura 3.11	Lixas utilizadas e marcação do fabricante nas costas da lixa: a) Lixa P80, b) Marcação P80, c) Lixa P100, d) Marcação P100, e) Lixa P120, f) Marcação P120, g) Lixa P150, h) Marcação P150, i) Lixa P220, j) Marcação P220.....	64
Figura 3.12	Lixamento das amostras: a) Representação esquemática do lixamento plano. b) Lixamento das amostras antes da colagem.....	65
Figura 3.13	Ilustração da fresa preparada para usinagem e das medições de velocidades e rotações no equipamento. (a) Cabeçote com faca usado na usinagem, (b) Medição da rotação do eixo porta-ferramenta, (c) Medição da velocidade nominal de avanço, (d) Medição da velocidade de avanço real da peça.....	66
Figura 3.14	Ilustração da medição da rugosidade nas superfícies usinadas para composição da linha de cola dos corpos de prova. (a) Ação do apalpador, (b) Detalhe de uma leitura de medição. (media registrada de 1,4 $\mu\text{m}$ ).....	66
Figura 3.15	a) Cola espalhada com a Seringa, b) Cola espalhada com pincel nas duas faces da amostra, c) Amostras sendo coladas e preparadas para prensagem.....	68
Figura 3.16	a) Amostras sendo preparadas para a prensagem, b) Detalhe: Torquímetro utilizado.....	68
Figura 3.17	Amostras sendo prensadas com aplicação de torque de 16 N·m.....	69
Figura 3.18	Prensagem: a) prensagem das amostras, b) Torque aplicado de 16 N·m nas amostras coladas, c) Retirada do excesso de adesivo após prensagem.....	69
Figura 3.19	Procedimentos iniciais para preparar os CPs: a) Usinagem para padronização das dimensões dos CPs, b) Primeiro corte para preparação dos CPs, c) Vista do primeiro corte realizado para preparar os CPs.....	70

Figura 3.20	Finalização da preparação dos CPs: a) Segundo corte para preparar os CPs, b) Detalhe dos CPs separados conforme suas respectivas lixas, c) CP para ensaio de cisalhamento finalizado.....	70
Figura 3.21	Procedimentos iniciais para preparar CPs: a) Usinagem para padronização das dimensões dos CPs, b) Amostra para preparação do CP, c) Amostra colocada na furadeira para geração dos semicírculos.	71
Figura 3.22	a) 1ª etapa para gerar o semicírculo nos CPs, b) Detalhe: Geração dos semicírculos.....	71
Figura 3.23	2ª Etapa para gerar CP: a) Detalhe da 2ª etapa para gerar os semicírculos dos CPs., b) CP para ensaio de tração normal finalizado.....	71
Figura 3.24	Detalhes das medições realizadas nos CPs para submissão aos ensaios mecânicos.....	72
Figura 3.25	Dimensões em centímetros, do corpo de prova para ensaio de cisalhamento na lâmina de cola, na direção paralela às fibras. (Fonte: NBR 7190 – 1997).....	73
Figura 3.26	Arranjo de ensaio para cisalhamento na lâmina de cola, na direção paralela às fibras, dimensão em mm. (Fonte: NBR 07190 – 1997).....	73
Figura 3.27	Vista geral da máquina de ensaios universal de caracterização mecânica de materiais.....	74
Figura 3.28	Ilustração de corpos de prova preparados para submissão a ensaio de cisalhamento: (a) vista lateral e (b) vista de topo.....	74
Figura 3.29	Ensaio de cisalhamento: (a) CP sendo ensaiado, (b) situação após ensaio, (c) superfícies de linha de cola submetidas à ruptura por cisalhamento....	75
Figura 3.30	Corpo de prova para tração da lâmina de cola normal às fibras da madeira laminada colada, dimensões em centímetros. (Fonte: NBR 7190 – 1997).....	76
Figura 3.31	Arranjo de ensaio para tração da lâmina de cola na direção normal às fibras da madeira laminada colada. (Fonte: NBR 7190 – 1997).....	76
Figura 3.32	Ilustração de um corpo de prova preparado para submissão ao ensaio de tração normal.....	77
Figura 3.33	Situações registradas no ensaio de tração normal: (a) CP quando tracionado, (b) CP rompido na linha de cola, (c) partes de um CP rompido.....	77
Figura 4.1	Resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” no Ensaio 1.....	82
Figura 4.2	Resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” no Ensaio 2.....	82

Figura 4.3	Resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” no Ensaio 3.....	83
Figura 4.4	Comparação da resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” entre os ensaios 1 e 2.....	83
Figura 4.5	Comparação da resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” entre os ensaios 2 e 3.....	83
Figura 4.6	Resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da granulometria de lixa no Ensaio 1.....	85
Figura 4.7	Resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da granulometria de lixa no Ensaio 2.....	85
Figura 4.8	Resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da granulometria de lixa no Ensaio 3.....	86
Figura 4.9	Comparação da resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da granulometria de lixa entre os ensaios 1 e 2.....	86
Figura 4.10	Comparação da resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da granulometria de lixa entre os ensaios 2 e 3.....	86
Figura 4.11	Resistência a tração normal “ $f_{t90}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” no Ensaio 1.....	88
Figura 4.12	Resistência a tração normal “ $f_{t90}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” no Ensaio 2.....	88
Figura 4.13	Resistência a tração normal “ $f_{t90}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” no Ensaio 3.....	88
Figura 4.14	Comparação da resistência à tração normal “ $f_{t90}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” entre os ensaios 1 e 2.....	89
Figura 4.15	Comparação da resistência à tração normal “ $f_{t90}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” entre os ensaios 2 e 3.....	89
Figura 4.16	Resistência a tração normal “ $f_{t90}$ ” em função da granulometria de lixa no Ensaio 1.....	91
Figura 4.17	Resistência a tração normal “ $f_{t90}$ ” em função da granulometria de lixa no Ensaio 2.....	91
Figura 4.18	Resistência a tração normal “ $f_{t90}$ ” em função da granulometria de lixa no Ensaio 3.....	92
Figura 4.19	Comparação da resistência a tração normal “ $f_{t90}$ ” em função da granulometria de lixa entre os ensaios 1 e 2.....	92
Figura 4.20	Comparação da resistência a tração normal “ $f_{t90}$ ” em função da granulometria de lixa entre os ensaios 2 e 3.....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Valores de densidade aparente, densidade básica, resistência ao cisalhamento e resistência a tração normal, a 12 % de umidade. (adaptado de Nogueira, 2002).....	23
Tabela 2.2	Valores médios para os coeficientes de retratibilidade e densidade básica de madeira <i>Eucalyptus saligna</i> , tomados de quatro posições equidistantes a partir da medula em direção à casca. (adaptado de Oliveira e Silva, 2003).....	23
Tabela 2.3	Comparativo das granulometrias empregadas em lixas para trabalho em madeira, (KOCH, 1964).....	36
Tabela 2.4	Costados empregados para revestimento abrasivo (KOCH, 1964).....	36
Tabela 2.5	Gramatura e aplicações (atualização), (SILVA, 2003).....	37
Tabela 2.6	Matéria prima do adesivo Maker (SILVA,2003).....	38
Tabela 2.7	Matéria prima do adesivo Sizer (SILVA,2003).....	38
Tabela 4.1	Medição de “R <sub>a</sub> ” médio - E = medida na direção contrária de corte, S = medida na direção de corte.....	78
Tabela 4.2	Valores médios da rugosidade “Ra” e respectivos desvios padrão.....	79
Tabela 4.3	Valores médios de “f <sub>v0</sub> ” (Mpa) e respectivos desvios padrão para superfícies fresadas.....	81
Tabela 4.4	Valores médios de “f <sub>v0</sub> ” (Mpa) e respectivos desvios padrão para superfícies lixadas.....	84
Tabela 4.5	Valores médios de “f <sub>t90</sub> ” (Mpa) e respectivos desvios padrão para superfícies fresadas.....	87
Tabela 4.6	Valores médios de “f <sub>t90</sub> ” (Mpa) e respectivos desvios padrão para superfícies lixadas.....	90

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1.	RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVAS DO TRABALHO.....	18
1.2.	OBJETIVO.....	19
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>20</b>
2.1.	A MADEIRA DE EUCALÍPTO.....	20
2.2.	OS PAINÉIS SARRAFEADOS DE MADEIRA.....	24
2.3.	O PROCESSO DE FRESAMENTO DA MADEIRA.....	27
2.4.	LIXAMENTO DA MADEIRA.....	33
2.5.	ADESIVOS E ADESÃO APLICADOS Á MADEIRA.....	45
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>56</b>
3.1.	ORIGEM DA MADEIRA PARA EXPERIMENTAÇÃO.....	56
3.2.	PREPARAÇÃO INICIAL DAS AMOSTRAS PARA SUBMISSÃO A ENSAIOS.....	59
3.3.	FRESAMENTO DAS AMOSTRAS PARA ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	60
3.4.	LIXAMENTO DAS AMOSTRAS PARA ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO.....	62
3.5.	ADESIVOS EMPREGADOS E COLAGEM DAS SUPERFÍCIES DE JUNTAS.....	67
3.6.	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA SUBMISSÃO AOS ENSAIOS.....	70
3.7.	ENSAIOS DE RESISTÊNCIA NA LINHA DE COLAGEM DA MADEIRA.....	72
3.7.1.	<b>Ensaio de resistência ao cisalhamento.....</b>	<b>74</b>
3.7.2.	<b>Ensaio de resistência à tração normal.....</b>	<b>75</b>
3.8.	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	77
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>78</b>
4.1.	ENSAIOS DE CISALHAMENTO EM SUPERFÍCIES FRESADAS.....	81
4.2.	ENSAIOS DE CISALHAMENTO EM SUPERFÍCIES LIXADAS.....	84
4.3.	ENSAIOS DE TRAÇÃO NORMAL EM SUPERFÍCIES FRESADAS.....	87
4.4.	ENSAIOS DE TRAÇÃO NORMAL EM SUPERFÍCIES LIXADAS.....	90
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>93</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	

## 1. INTRODUÇÃO

De todos os estudos desenvolvidos para realização do presente trabalho, incluindo revisão bibliográfica, desenvolvimento da metodologia, experimentação, análise de resultados e conclusões, neste ponto, pode-se relatar os aspectos de maior importância para que na sequência justifique-se tudo o que foi realizado.

Um dos principais problemas que ocorrem com o eucalipto ao ser utilizado como madeira serrada é que durante sua fase de crescimento a madeira acumula tensões que são liberadas no processo de usinagem, resultando na má qualidade das peças. Somado a este efeito, o eucalipto tem uma considerável instabilidade dimensional quanto à retração e ao inchamento. De um modo geral, a madeira de eucalipto serrada é dimensionalmente instável o que leva a uma série de problemas na qualidade dos produtos finais, especialmente se a madeira for usada como elemento estrutural ou como componente de mobiliário. A instabilidade dimensional da madeira é uma das principais propriedades que pode impactar na qualidade do produto final.

Considerando-se as múltiplas possibilidades de uso da madeira serrada de eucalipto, na forma de painéis laminados, composto por ripas ou sarrafos colados, pode-se destacar o uso dos rejeitos desta madeira nas serrarias, através do desenvolvimento de produtos construídos com peças de menores dimensões como os sarrafos na produção de painéis sarrafeados, pois as mesmas são consideradas rejeitos pelas serrarias e, sua utilização possibilita a diminuição do desperdício e a racionalização do processo produtivo da indústria de madeira serrada.

Os painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos por elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida e reconstituídos através de ligação adesiva. A etapa de colagem é fundamental para uma moderna indústria de produtos reconstituído da madeira, promovendo um aproveitamento mais racional da matéria-prima e, ultimamente, vem se tornando uma necessidade, tanto pela tecnologia desenvolvida quanto pela escassez de madeira sólida.

Acredita-se que parte dos problemas citados em relação ao uso da madeira serrada de eucalipto poderia ser resolvida, caso a mesma fosse empregada na forma de painéis sarrafeados compostos de ripas ou sarrafos colados lateralmente, assim como



os produtos conhecidos por: “Paralel strand lumber (PSL)”, “Edge glued panel (EGP)”, “Laminboard” e “Block boards (BB)”, pois essas composições formadas com as peças (ripas ou sarrafos) coladas formariam uma malha de propensão a minimizar as possibilidades das diferentes formas de instabilidade dimensional, a fim de que a instabilidade de uma determinada peça proporcione minimizar a tendência de instabilidade da peça adjacente.

Dentre os vários tipos de adesivos para madeira, verificam-se pela literatura específica que até o ano de 1992, existiam no mercado brasileiro cinco tipos de adesivos a base de: uréia-formol, fenol-formol, resorcinol-formol, acetato de polivinila e policloropreno. Nas últimas duas décadas, surgiram proposições de adesivos para madeira com novas formulações, dentre estes, os adesivos à base de resina poliuretano (PU).

Como contribuição às questões aqui indicadas, o presente trabalho teve como objetivo específico, verificar o desempenho de juntas coladas em função do acabamento das superfícies usinadas em operações de fresamento para diferentes velocidades de avanço e de lixamento para diferentes granulometrias de lixa, empregando-se madeira da espécie *Eucalyptus saligna*. Para tanto, foram confeccionadas amostras para ensaios normatizados pela Norma ABNT - NBR 7190, submetidas a testes de resistência a ruptura na linha de cola por esforços de cisalhamento e por tração normal. Na união das peças de madeira para confecção das amostras utilizou-se dois tipos de adesivos à base de resina poliuretano (PU).

Dos resultados obtidos na presente pesquisa, tem-se como expectativa, propor condições de melhor desempenho na linha de cola para aplicação em painéis de madeira sarrafeada, qual seja: peças do tipo ripas ou sarrafos colados lateralmente, internacionalmente denominados por Painéis “EGP” ou “BB”, na busca do desenvolvimento de painéis de eucalipto, para aplicação na indústria de mobiliário e da construção civil. Tais painéis precisam ser mais estudados, especialmente quanto à estabilidade dimensional e incidência de defeitos oriundos da liberação das tensões internas da madeira de eucalipto, cujas ocorrências podem ser minimizadas ou eliminadas se melhorada a adesão entre as superfícies na linha de colagem. Outra questão no uso do eucalipto como madeira serrada, diz respeito ao aproveitamento

desta matéria prima nas serrarias. O desenvolvimento de produtos com menores dimensões como os sarrafos permite um maior e melhor aproveitamento dos rejeitos produzidos pela indústria madeireira, diminuindo o desperdício. O desenvolvimento de painéis sarrafeados de eucalipto, dimensionalmente estáveis, colados com adesivos resistentes à umidade à base de poliuretano (PU), deve possivelmente despertar o interesse de pequenas empresas de processamento de madeira tais como marcenarias e carpintarias, pois se este tipo de produto mostrar-se tecnicamente viável, muitas destas pequenas empresas poderá produzir seus próprios painéis de madeira. Uma forma de contornar o problema de instabilidade dimensional, retração e inchamento do eucalipto em peças serradas é trabalhar com peças de seções de pequenas dimensões (sarrafos ou ripas) e, então, recompor estas unidades padronizadas em painéis sarrafeados colados lateralmente. Desta forma, estes painéis terão cada peça constituinte com tensões internas parcialmente aliviadas, e podem ser produzidos com um bom arranjo de união dos sarrafos ao longo de suas dimensões de comprimento, possibilitando uma boa qualidade do produto final.

### 1.1. RELEVÂNCIA E JUSTIFICATIVAS DO TRABALHO

O desenvolvimento de tecnologia para fabricação de painéis sarrafeados colados e estáveis de eucalipto, tipos “EGP” ou “BB”, deverá auxiliar o setor madeireiro do país na busca da superação da crise de demanda de matéria prima. Para isso, no entanto, muitas questões ainda precisam ser resolvidas através da pesquisa, tais como: Quais as espécies mais adequadas?, Que tipo de rejeito industrial poderá ser utilizado?, Como deverão ser usinadas as peças de madeira?, Com que velocidades e avanço, Qual a influência da orientação dos anéis de crescimento dos sarrafos na composição de painéis mais estáveis?, Qual a influência do adesivo sobre a resistência na linha de colagem? etc. Muitas destas questões estão sendo equacionadas e estudadas por pesquisadores da Universidade Estadual Paulista - UNESP no Campus Experimental de Itapeva. Neste sentido, o presente trabalho visa contribuir para com uma das etapas desse processo de desenvolvimento científico, qual seja: analisar a influência do acabamento da superfície da madeira de eucalipto sobre a resistência de juntas coladas com adesivo poliuretano.

## 1.2. OBJETIVO

O presente trabalho de pesquisa teve por objetivo principal realizar testes de resistência mecânica e analisar o desempenho em juntas coladas de madeira serrada da espécie de *Eucalyptus saligna*, empregando-se adesivo de cura a frio, à base de poliuretano monocomponente e bicomponente para superfícies usinadas por fresamento e por lixamento gerando-se diferentes acabamentos nestas superfícies.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica encontra-se separada em quatro assuntos principais, quais sejam: a Madeira do Gênero *Eucalyptus* e os Painéis de Madeira Sarrafeada; os Processos de Fresamento e de Lixamento de Madeira; Adesivos e Adesão aplicados a Madeira e por último sobre Ensaio de Resistência na Linha de Colagem da Madeira.

### 2.1. A MADEIRA DE EUCALÍPTO

Atualmente existe um grande interesse nos materiais extraídos de recursos vegetais renováveis. Não somente do ponto de vista da atividade econômica, mas também da manutenção do equilíbrio ecológico que esses materiais podem proporcionar. Entre esses materiais incluíse a madeira e seus derivados, com aplicações em diversas áreas, como na construção civil, nas indústrias de móveis, de embalagens, de papel e celulose, nos meios de transportes, nos instrumentos musicais e outros.

A demanda por materiais renováveis tem se intensificado. As necessidades crescentes geradas pelo aumento da população e o padrão de consumo contribuem para o esgotamento dos recursos naturais do planeta, inclusive das florestas tropicais nativas. Estas não podem suprir a crescente demanda humana por madeira, mesmo se exploradas de forma racional. Assim o reflorestamento é parte importante na solução para a diminuição do desmatamento existente sobre todas as florestas nativa. No Brasil, as árvores de Pinus e Eucalipto são as mais utilizadas para esta finalidade. (MANHÃES, 2008)

Segundo Valverde (2007) o cultivo do eucalipto em escala econômica no Brasil deu-se a partir de 1904. Com o reflorestamento, a área de plantio no Brasil em 2006 foi de aproximadamente três milhões de hectares de eucalipto. Kronka em 2002 mostrou que 79,4% dos reflorestamentos ocorrido no Estado de São Paulo correspondiam às áreas de plantio de eucalipto, sendo que a maior parte desse plantio era utilizada pelas indústrias de celulose, já o uso do eucalipto como madeira serrada era bem mais limitado e com menores impactos ambientais negativos.

No Anuário Estatístico da ABRAF de 2011(ABRAF, 2011), a área ocupada por plantio de florestas de *Eucalyptus* no Brasil totalizou 4.754.334 ha, sendo que em 2010 o crescimento deste tipo de plantio foi de 5,3%. Em relação à produção de madeira temos que a maior parte é destinada para o setor de celulose (35%), seguido da lenha, carvão e outros (35,4%), já o setor de madeira serrada fica com 15,8% de toda a produção madeireira, em seguida temos o setor de painéis particulados com 7,8% e de painéis laminados (compensados) com 3,5%, sendo que, a menos do carvão vegetal e dos painéis de madeira industrializados, cujo consumo está basicamente concentrado no mercado interno, os demais produtos destinam-se, prioritariamente, ao mercado externo, demonstrando assim, a importância do cenário internacional para esse setor florestal brasileiro.

Para Garcia e Mora (2000) e Leite *et al.* (2011) as espécies do gênero *Eucalyptus* são de grande versatilidade, com possibilidade de utilização em diversos segmentos, como óleos essenciais, celulose, madeira tratada, carvão vegetal e lenha, madeira serrada, painéis a base de madeira, entre outros. Tomazello *et al.* (2011) relata sobre trabalhos realizados com a madeira de eucalipto, os quais indicam algumas espécies e suas respectivas aplicações na construção civil.

Um dos principais problemas que ocorrem com o eucalipto ao ser utilizado como madeira serrada é que durante a sua fase de crescimento a madeira acumula tensões que são liberadas no processo de usinagem, resultando na má qualidade das peças. Somado a este efeito, o eucalipto tem uma considerável instabilidade dimensional quanto à retração e ao inchamento. Assim, é necessário o uso de técnicas adequadas para poder usar peças serradas desse material. De um modo geral, a madeira de eucalipto serrada é dimensionalmente instável o que leva a uma série de problemas de qualidade nos produtos finais, especialmente se a madeira for usada como elemento estrutural ou como componente de mobiliário, (VIDAURRE *et al.*, 2007) e (TRUGILHO *et al.*,2011). Segundo Gonzalez *et al.* (2011), a estabilidade dimensional da madeira é uma das principais propriedades que pode impactar na qualidade do produto final.

Silva *et al* (2006), afirmam que a dificuldade em usar a madeira de eucalipto na forma sólida se deve em grande parte no saber trabalhar com este material, declarando

ser necessário conhecer a estrutura da madeira e parâmetros de usinagem que possibilitem bons resultados em termos de qualidade. Com relação ao processo de usinagem tem-se que cortes tangenciais sucessivos efetuados com serras de fita simples, não são indicados para a produção de madeira serrada de eucalipto, pois após a retirada de cada tábua, o bloco remanescente se deforma por flexão. Quando se pretende priorizar a qualidade das tábuas, recomenda-se que o desdobro inicial seja realizado com serras de fita (simples ou dupla) até que o bloco atinja pequenas dimensões. Neste sistema de corte, os blocos devem ser girados após cada corte, assim, ao girar a tora as tensões tendem a ser liberadas de forma balanceada, resultando em um menor desperdício de material e produtos de melhor valor de mercado (VIDAURRE *et al*, 2007).

Néri *et al* (1999), explicam que o eucalipto pode ser muito denso, duro e resistente. Algumas espécies apresentam fibras reversas, que dificultam o acabamento, e tensões internas que produzem deformações ao longo do tronco. Estas tensões internas existirão também nos elementos serrados, causando frequentemente rachaduras e deformações; e que especialmente estas características da madeira de eucalipto tornam difícil sua utilização de forma racional.

Nogueira (2002) desenvolveu um trabalho detalhado sobre as características e propriedades físico-mecânicas de 16 espécies de eucalipto, dentre as quais, para efeitos de análise comparativa com os resultados obtidos no presente trabalho, bem como para trabalhos futuros de estabilidade dimensional em painéis sarrafeados, selecionou-se os dados, de densidade aparente, densidade básica, resistência ao cisalhamento e resistência à tração normal as fibras das espécies mostrado na Tabela 2.1.

Em 2003, Oliveira, estudou os parâmetros de retratibilidade e de densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna*. Para o estudo foram utilizadas cinco árvores, cuja amostragem foi feita na região do DAP, onde foram tomadas quatro posições equidistantes na direção medula-casca, correspondendo a 0, 33, 66 e 100%, com 20 repetições por posição. Após a realização dos ensaios, foram obtidos os valores expressos na Tabela 2.2.

Tabela 2.1– Valores de densidade aparente, densidade básica, resistência ao cisalhamento e resistência a tração normal, a 12 % de umidade. (adaptado de Nogueira, 2002).

<b>Espécies</b>	<b>Densidade Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidade Básica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Resistência ao Cisalhamento (daN/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistência à Tração Normal (daN/cm<sup>2</sup>)</b>
<b>Microcorys</b>	0,93	0,75	170	46
<b>Maculata</b>	0,95	0,73	177	47
<b>Propínqua</b>	0,96	0,74	164	44
<b>Paniculata</b>	1,09	0,83	205	45
<b>Citriodora</b>	1,00	0,78	180	39
<b>Grandis</b>	0,63	0,50	116	30
<b>Umbra</b>	0,89	0,70	156	30
<b>Punctata</b>	0,95	0,75	215	60
<b>Tereticornis</b>	0,90	0,69	162	46
<b>Urophylla</b>	0,74	0,57	139	42
<b>Camaldulensis</b>	0,90	0,71	153	46
<b>Triantha</b>	0,76	0,60	153	27
<b>Maideni</b>	0,92	0,74	172	48
<b>Saligna</b>	0,73	0,58	135	41
<b>Cloesiana</b>	0,92	0,64	175	40
<b>Alba</b>	0,71	0,56	159	39

Tabela 2.2 - Valores médios para os coeficientes de retratibilidade e densidade básica de madeira *Eucalyptus saligna*, tomados de quatro posições equidistantes a partir da medula em direção à casca (adaptado de Oliveira e Silva, 2003).

<b>Posição Medula- Casca</b>	<b>N*</b>	<b>Contrações (%)</b>			<b>Relação T/R</b>	<b>Densidade Básica (g/cm<sup>3</sup>)</b>
		<b>Volumétrica</b>	<b>Tangencial</b>	<b>Radial</b>		
1	74	21,28	10,89	4,99	2,22	0,39
2	83	27,18	15,20	7,06	2,18	0,43
3	93	26,57	15,67	8,59	1,84	0,50
4	90	28,69	16,88	9,47	1,79	0,55
<i>Média Geral</i>	340	26,00	14,83	7,67	1,99	0,47

\* Número de repetições.

## 2.2. OS PAINÉIS SARRAFEADOS DE MADEIRA

Gonçalves (2000) apresenta uma classificação dos painéis à base de madeira, a partir do material industrializado empregado na fabricação destes produtos:

### A partir de lâminas:

- Painéis de madeira compensada, Ply Wood (PW);
- Painéis micro laminados, Laminated Veneer Lumber (LVL).

### A partir de partículas:

- Chapa de madeira aglomerada, Particle Board (PB);
- Chapa de flocos orientados, Oriented Strand Board (OSB);
- Chapa de flocos não orientados, Wafer Board (WB);
- Peça de flocos orientados, Oriented Strand Lumber (OSL).

### A partir de fibras:

- Chapa isolante (IB), Insulating Board;
- Chapa dura, (HB), Hardboard;
- Chapa de média densidade, Medium Density Fiberboard (MDF).

### A partir de ripas ou sarrafos:

- Peça de ripas paralelas, Paralel Strand Lumber (PSL);
- Painéis sarrafeados de madeira colada lateralmente, Edge Glued Panel (EGP);
- Chapas de madeira sarrafeada com capa de lâminas ou chapa dura formam os painéis chamados laminados como os laminboards e os Block Boards (BB).

Quando os sarrafos tem espessura de 3 a 7 mm, o painel é chamado de *laminboard*, se a espessura é de 7 a 30 mm, *block board* e quando a espessura tem de 30 a 75 mm formando caibros, o painel é chamado de *batten board*. Representações esquemáticas destes painéis são mostradas na Figura 2.1.



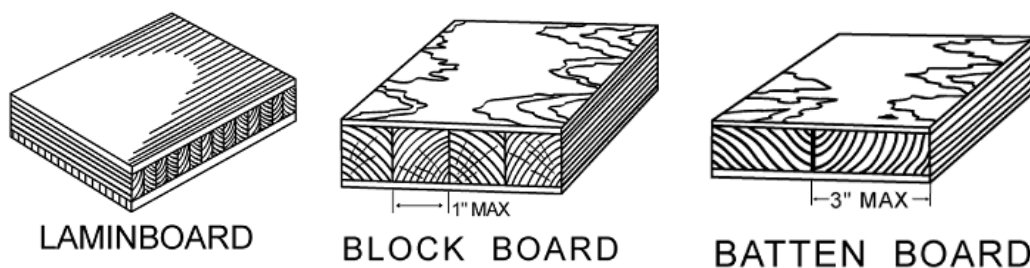


Figura 2.1- Painéis de madeira colada lateralmente com revestimento de lâminas.

Fonte: [http://online.businesslink.gov.uk/ITSW\\_files/Glossary\\_of\\_wood\\_and\\_woodworking\\_terms.pdf](http://online.businesslink.gov.uk/ITSW_files/Glossary_of_wood_and_woodworking_terms.pdf)

Com relação ao uso de madeira serrada de eucalipto, pode-se destacar o uso dos rejeitos desta madeira nas serrarias. Uma forma seria o desenvolvimento de produtos construídos com peças de menores dimensões como os sarrafos na produção de painéis sarrafeados, pois as mesmas são consideradas rejeitos pelas serrarias e, sua utilização possibilita a diminuição do desperdício e a racionalização do processo produtivo da indústria de madeira serrada. (MATOS *et al*, (1994) e GONÇALVES (2000)).

Os painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos de elementos de madeira como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução da madeira sólida e reconstituídos através de ligação adesiva (IWAKIRI, 2005). Lima *et al* (2008), afirmam que a etapa de colagem é fundamental para uma moderna indústria de produtos reconstituído da madeira, promovendo um aproveitamento mais racional da matéria-prima e, ultimamente, vem se tornando uma necessidade, tanto pela tecnologia desenvolvida quanto pela escassez de madeira sólida.

Segundo Zanuttini e Cremonini (2002) ao longo das últimas décadas, graças principalmente à suas específicas características tecnológicas e sua estabilidade dimensional e forma, painéis derivados de madeira viram a expandir o desenvolvimento industrial e comercial; destes, sarrafeados composto de peças de madeira sólida que é mais rígida e unidas por cola, e com folheados de corte rotativo sobreposto com a grã (direção principal da fibra da madeira) perpendicular um ao outro. O painel foi considerado ser um tipo distinto de madeira compensada. Apesar de tábuas serem amplamente utilizadas em móveis e carpintaria em geral, e desempenha um papel importante na produção de alguns países da União Europeia (EU), suas características e propriedades físico-mecânicas são desconhecidas e as combinações de

componentes de madeira com espessura muito diferente (sarrafos e lâminas) faz com que seja difícil determinar precisamente a qualidade de ligação.

Para Kartal e Ayrilmis (2004) na maioria dos casos, materiais à base de madeira têm bom desempenho, desde que sejam utilizados em condições sem umidade, mas eles são cada vez mais utilizados onde tendem a ter contato com a umidade e, em última instância deteriorar-se. Madeira compensada tem sido uma parte integral de edifícios, mas outros materiais compósitos estão aumentando ou substituído por madeira maciça e compensado. Blockboard é uma das melhores alternativas para madeira compensada. A principal vantagem do “BB” é que o miolo da placa é produzido a partir da espessura da madeira, portanto, um grande número de folheados não precisam ser manipulados e fabricados, reduzindo custos de fabricação e tempo. Blockboard é produzido a partir de sarrafos de madeira maciça colado de ponta a ponta e prensado entre lâminas de madeira, sendo todos colados com alta pressão. As aplicações típicas dos sarrafeados “BB” estão em fabricação de móveis, partes do centro e fundos de armários, painéis para portas emolduradas. Entre outros itens, usados em interiores de edifícios, armários de cozinha, portas leves e decorativas, partição, exposição de painéis, mobília de quarto e sala de jantar, caixas de alto-falante e painel de molduras podem ser fabricados a partir de “BB”. A Figura 2.2 ilustra um painel “BB” montado como miolo e lâminas de revestimento externo, denominado comercialmente no Brasil por “Painel de Madeira Sarrafeada”.

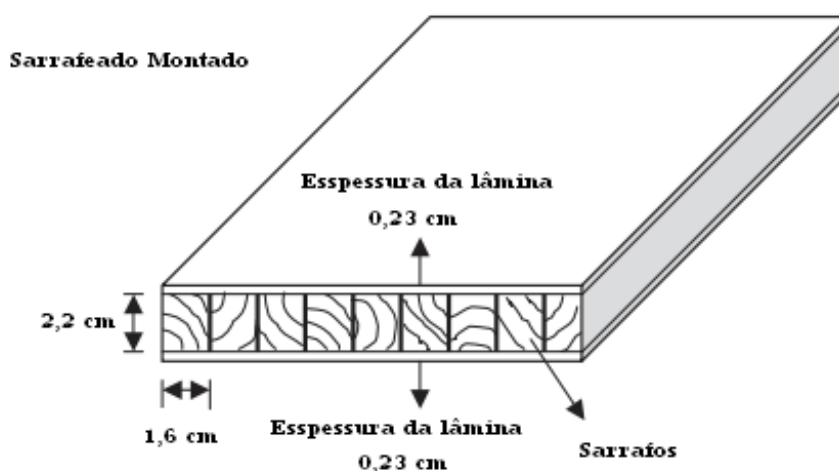


Figura 2.2 – Esquema e dimensões de “Blockboard”. (Adaptado de Kartal; Ayrilmis, 2004)

Carrasco e Bremer (1995) estudaram painéis de eucalipto laminado realizando ensaios mecânicos de cisalhamento na linha de cola para painéis confeccionados com essa madeira. A madeira utilizada apresentava densidade aparente média de  $6650 \text{ N/m}^3$  e a umidade média era de 18,33%. Como resultado obtiveram o coeficiente de cisalhamento médio de  $5904,43 \text{ kN/m}$  e tensão de ruptura médio de  $3,67 \text{ MPa}$ .

### 2.3. O PROCESSO DE FRESAMENTO DA MADEIRA

Em seu livro “Processamento da Madeira”, Gonçalves (2000) apresenta como descrito a seguir, os movimentos e relações geométricas para o fresamento cilíndrico tangencial discordante e concordante, com suas respectivas terminologias, segundo a Norma 6162/88, adotada para processos de usinagem de metais.

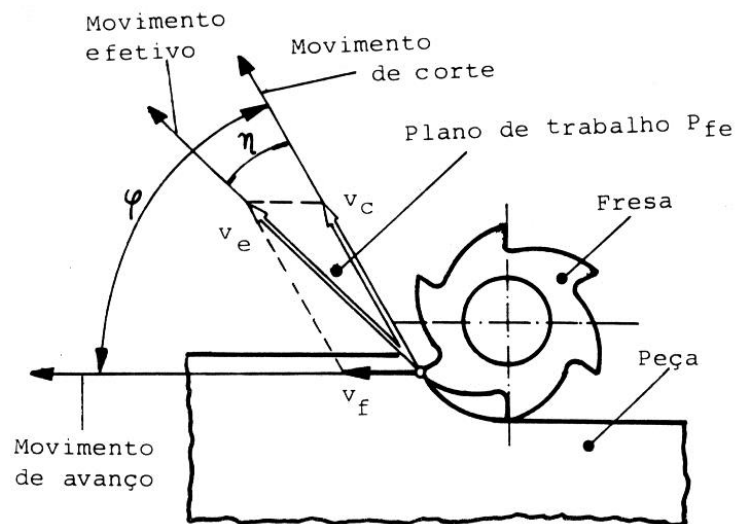


Figura 2.3 – Geometria do fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88).

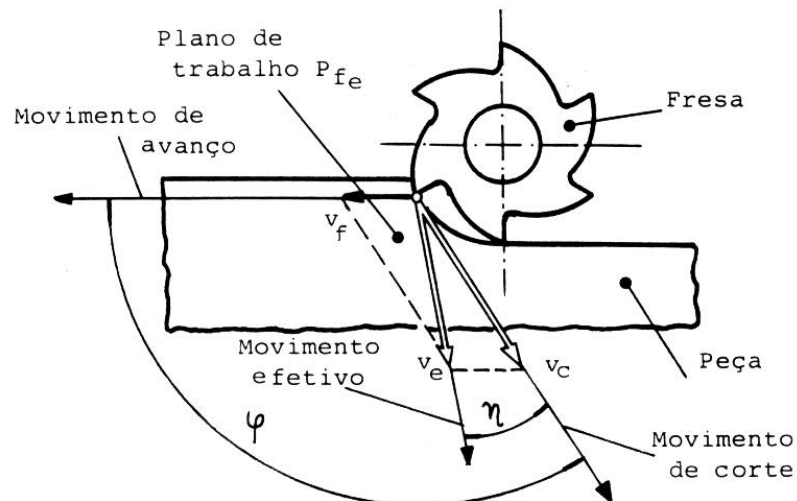


Figura 2.4 - Geometria do fresamento concordante (Norma ABNT 6162/88).

Baseado nos conceitos da geometria do processo de fresamento dado pela Norma ABNT 6162/88, Gonçalves (2000) estende os mesmos para o processo de usinagem de madeiras, apresentando os movimentos relativos entre a aresta de corte e a peça no processo de fresamento periférico, conforme ilustrado nas figuras 2.5 e 2.6. Os movimentos e grandezas de avanço são referidos à peça parada, e normalmente representados com uso de outros parâmetros, são eles: “ $P_{fe}$ ” o plano de trabalho, o qual passa pelo ponto de corte escolhido e contém as direções de corte e de avanço; “ $V_c$ ” a velocidade de corte em m/s; “ $V_e$ ” a velocidade efetiva em m/s; “ $V_f$ ” a velocidade de avanço em m/min; “ $a_e$ ” a profundidade de corte em mm; “ $\eta$ ” o ângulo de direção efetiva de corte e “ $\varphi$ ” o ângulo de direção de avanço.

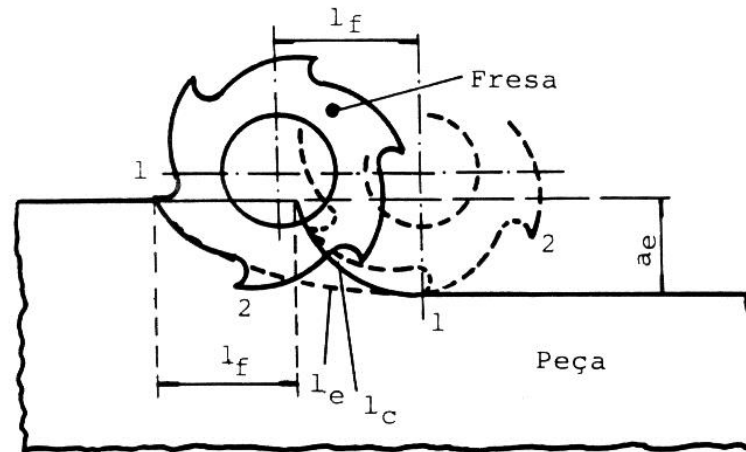


Figura 2.5 - Percurso de corte ( $L_c$ ), percurso de avanço ( $L_f$ ) e percurso efetivo ( $L_e$ ) no fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88).

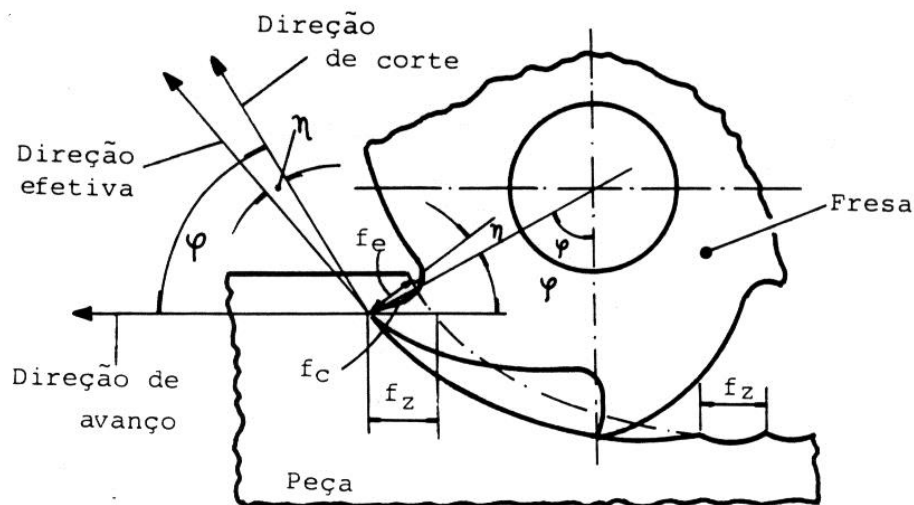


Figura 2.6 - Avanço por dente ( $f_z$ ), avanço de corte ( $f_c$ ) e avanço efetivo ( $f_e$ ) no fresamento discordante (Norma ABNT 6162/88).

Das relações geométricas, temos:  $V_f = f_z \cdot Z \cdot n$ , ou ainda:  $V_f = f \cdot n$ . Sendo: “ $f_z$ ” o avanço por dente da ferramenta em mm/rotação; “ $Z$ ” o número de dentes da ferramenta; “ $n$ ” a rotação da ferramenta por minuto [rotação/minuto] e “ $f$ ” o avanço da peça em mm/minuto.

O processo de fresamento de madeira é denominado na literatura específica por Koch, P. (1964) de “Fresamento Periférico”, esta situação de usinagem, também chamada no Brasil por “Aplainamento da Madeira, envolve a remoção de excesso de madeira da peça em usinagem na forma de cavacos, os quais são formados pelo contato intermitente da peça com a ferramenta de uma ou mais facas que giram no porta-ferramentas.

O conjunto do cabeçote porta-ferramenta com as lâminas de corte, mais os suportes de fixação e quebra cavacos, é de uso universal em máquinas de beneficiamento da madeira nos processos de aplainamento e fresamento nas mais variadas formas (rasgos, rebaixos, chanfros, molduramento em perfis etc.).

Atualmente utilizam-se ferramentas de um único corpo (fresas) mono ou multicortantes, com pastilhas ou lâminas de corte fixas no corpo da fresa ou intercambiáveis. O processo de serramento circular também se enquadra na situação de usinagem de fresamento, porém o corte não se limita somente como periférico paralelo às fibras.

No fresamento convencional ou discordante (up-milling), as ferramentas movem-se contrariamente ao movimento da peça; enquanto que no fresamento concordante (down-milling) a ferramenta e a peça se movimentam na mesma direção. Este tipo de classificação somente vale no fresamento cilíndrico tangencial, de grande utilização no beneficiamento de madeiras (GONÇALVES, 2000).

O pesquisador Koch (1964), reconheceu os mesmos tipos de cavacos no fresamento periférico paralelo às fibras, que aqueles que foram classificados para o corte ortogonal paralelos às fibras, cavacos tipos I, II e III. A geometria das duas situações é de fato diferente. No fresamento, os ângulos de saída e de folga instantâneos mudam continuamente como função da profundidade instantânea de corte, o ângulo de saída efetivo se torna maior e o ângulo de folga efetivo se torna menor conforme a aresta executa o percurso efetivo de corte “ $L_e$ ”.

No fresamento periférico a aresta cortante continuamente muda sua direção de corte relativa ao direcionamento das fibras até que emerge da peça. Esse efeito é ilustrado na Figura 2.7. Além disso, no fresamento discordante, a espessura do cavaco instantâneo é constantemente mudada de um valor mínimo no momento de contato até um valor máximo ao ponto onde a ferramenta emerge da madeira.

A porção do percurso da ferramenta que define a superfície da peça é a primeira parte do percurso. A sequência de formação do cavaco é determinada pelas propriedades físicas e de resistência da madeira e pela geometria do processo de fresamento.

Em geral se desejam adequar os fatores envolvidos de modo que o cavaco Tipo II se forme durante a parte inicial do percurso; o qual conseqüentemente determinará uma boa qualidade da superfície final.

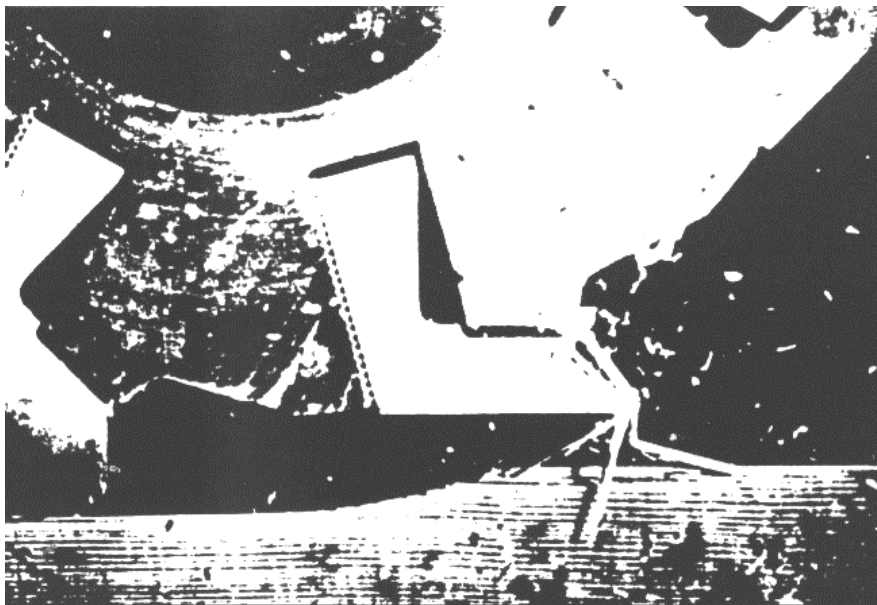


Figura 2.7 - Ilustração do processo de fresamento periférico discordante, (KOCH, P., 1964).

Com a formação do cavaco Tipo I, se as fibras da madeira estiverem na direção ascendente ao plano de corte em relação à direção de corte, resulta em boa qualidade superficial dado ao controle da aresta cortante na região do cisalhamento do cavaco. Tal fato não ocorre na situação em que as fibras estiverem direcionadas na descendente ao plano de corte, provocando o defeito de acabamento denominado “fibras lascadas”, como se pode observar na porção superior da peça de madeira ilustrada na Figura 2.8.

O controle do bom acabamento neste caso para peças longas é bastante dificultado, visto que as fibras para determinadas espécies de madeira se formam com alinhamento aleatório ao longo do tronco da árvore.

Na formação do cavaco Tipo III, o acabamento superficial é prejudicado pelo pequeno ângulo de saída da ferramenta, como também pelo desalinhamento das fibras no plano de trabalho em relação à direção de corte. Neste caso as falhas superficiais se dão pela presença de elementos da madeira não completamente desligados da superfície usinada, denominados de “ferpas”, como se pode observar na peça de madeira ilustrada na Figura 2.9.



Figura 2.8 - Acabamento superficial na formação do cavaco Tipo I e II, direção discordante (superior) e concordante (inferior) das fibras, respectivamente. Madeira: Cedro,  $U_{BU} = 12\%$ ,  $\gamma_f = 25^\circ$  e  $h = 1,5$  mm mm (GONÇALVES, 2000).

A Figura 2.9 ilustra o acabamento superficial na formação do cavaco Tipo III.

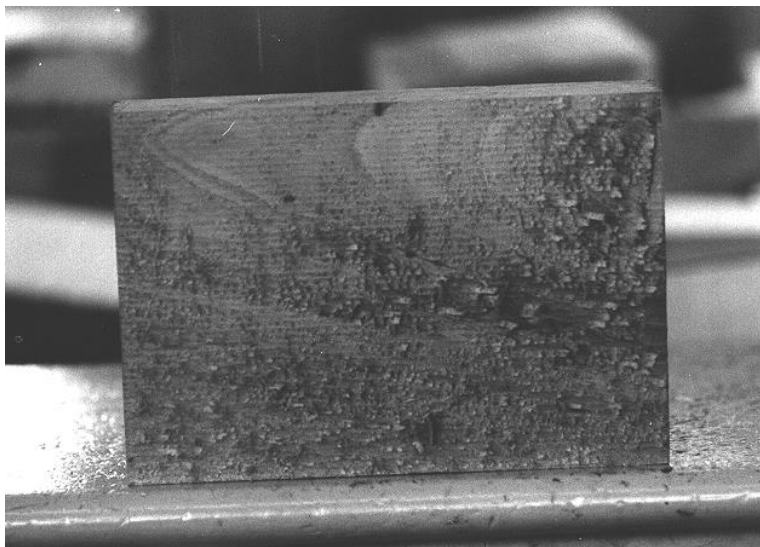


Figura 2.9 - Acabamento superficial na formação do cavaco Tipo III. Madeira: Castanheira,  $U_{BU} = 12\%$ ,  $\gamma_f = 5^\circ$  e  $h = 1,5$  mm (GONÇALVES, 2000).

Falhas deste tipo ( cavaco Tipo III ), podem ser removidas com maior facilidade que as do caso anterior, através de operação posterior de acabamento por processo de lixamento.

Goli *et al* (2009) pesquisaram o fresamento periférico da madeira com corte discordante e concordante, que são técnicas muito conhecidas a partir de um ponto de vista da geometria. No entanto, no processamento de materiais anisotrópicos como a madeira, estes aspectos geométricos implicam diferenças relevantes na usinagem. Na verdade, o fresamento de material anisotrópico leva a diferentes geometrias de corte quando discordante ou concordante, e quando aumenta ou diminui a profundidade de corte, resultando em grã de diferentes orientações dependendo do processo adotado. Neste trabalho, os ensaios realizados quando ao processamento de “Douglas fir”. com diferentes profundidades de corte e orientações de grã foram descritos.

De Conti (2011) em sua pesquisa, estudou sobre resistência mecânica de juntas coladas em madeira de *Eucalyptus* sp. Neste trabalho, com o contexto de se promover a utilização da madeira de eucalipto na produção de bens duráveis, na forma de painéis, tal como na produção de móveis, componentes da construção civil e utensílios em geral, remeteu às seguintes questões: como poderemos garantir a qualidade do produto final, conhecendo as propriedades físicas deste material quanto a sua notável instabilidade dimensional, devido as suas características fisiológicas e anatômicas. Partindo desse princípio, o trabalho teve como objetivo principal, verificar o desempenho de juntas coladas de peças de *Eucalyptus* sp., submetidos à esforços de cisalhamento e à tração normal, em função da qualidade superficial dos planos da madeira colados e das superfícies usinadas em relação à posição dos anéis de crescimento da madeira, empregando-se dois adesivos de diferentes fabricantes, à base de Poli Acetato de Vinila (cola PVA). Na usinagem das superfícies de colagem dos corpos de prova foram empregadas as seguintes velocidades nominais de avanço ‘ $V_f$ ’ para o processo de fresamento, quando da preparação das superfícies de linha de colagem: 6,0; 11,0 e 15,0 m/min, correspondendo, respectivamente aos seguintes avanços por dente “fz” da ferramenta de corte: 0,86 mm; 1,57 mm e 2,14 mm. Dos resultados obtidos em função do parâmetro de rugosidade “Ra”, pode-se concluir o melhor desempenho para uso do adesivo denominado por “C1” e melhor superfície de



adesão para a velocidade de avanço intermediária, qual seja: 11,0 m/min. Quanto aos diferentes planos de corte para composição da linha de cola testada, os resultados demonstraram claramente não haver qualquer correlação entre a composição dos planos e a resistência mecânica, tanto para esforços de ruptura ao cisalhamento, quanto para ruptura para tração normal.

#### 2.4. LIXAMENTO DA MADEIRA

A função do processo de lixamento é regularizar a superfície da madeira preparando-a para receber a aplicação de materiais de revestimento. Também, este processo pode ser aplicado com a finalidade de melhorar a aparência do material permitindo sua aplicação “in natura” ou recebendo a aplicação de revestimentos incolores (vernizes) destacando ainda mais seu aspecto visual.

O processo de usinagem de lixamento pode ser dividido em duas classes. A primeira classe refere-se à regularização de uma superfície usinada anteriormente para uma nova superfície relativamente lisa e plana (operação de desbaste). A segunda classe refere-se à preparação de uma superfície para posterior aplicação de materiais de acabamento. O objetivo desta preparação é reduzir a profundidade das marcas de lixamento a fim de gerar uma superfície uniforme. Com relação às diferentes espécies de madeiras, pode-se afirmar que algumas espécies são mais difíceis de serem lixadas que outras. Porém, isto pode ser amenizado através da escolha correta do tipo de abrasivo e do tamanho dos grãos das lixas, bem como se adotando velocidades e pressões de lixamento ideais (KOCH, 1964).

Os principais conceitos para os elementos envolvidos na configuração das lixas empregadas no processo de lixamento das madeiras, apresentados anteriormente são descritos em sua maioria por Koch (1964) e complementado por Tiburcio (2006) para o elemento “Adesivo”.

Um estudo da estrutura dos abrasivos permite uma melhor compreensão das operações de usinagem. Os principais elementos envolvidos na configuração das lixas são descritos como: grão abrasivo; material de apoio (costado) e adesivos, conforme apresentado na Figura 2.10.

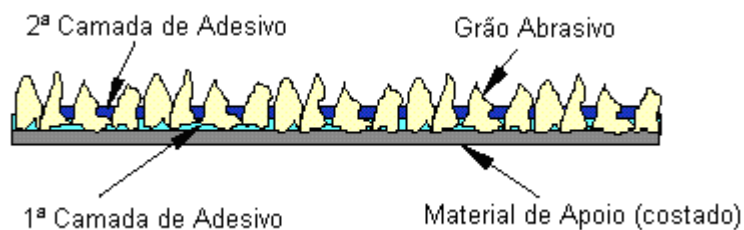


Figura 2.10 – Elementos envolvidos na configuração das lixas (Tiburcio, 2006).

A indústria de abrasivos classifica seis minerais importantes comercialmente. São eles: óxido de alumínio, óxido de ferro, dióxido de silício, composto de alumínio, óxido de ferro e sílica, óxido de alumínio e carboneto de silício. O óxido de alumínio é um mineral composto de óxido de alumínio -  $Al_2O_3$  e magnetita (óxido preto de ferro  $Fe_3O_4$ ) comumente usada na indústria metalúrgica como um agente de polimento de superfícies metálicas, porém, não utilizado na indústria madeireira. O óxido de ferro ocorre na natureza e pode ser sinterizado. Este proporciona um polimento e desbaste médio e também não é usado na indústria madeireira. O dióxido de silício, um quartzo com coloração branco-acinzentado para rosa claro, encontrado em grandes depósitos naturais em diversas áreas da América do Norte, é um abrasivo usado geralmente em folhas de lixa para operação manual. Apesar de romper-se em fragmentos afiados e se tratar de material de baixo custo ele é muito pouco usado em aplicações industriais porque não possui a dureza e a durabilidade de outros materiais disponíveis. O óxido de ferro e sílica é uma mistura de silicato com ferro, alumínio, cálcio e magnésio. Sua cor é avermelhada. Quando esmagados, fornecem grãos em forma de cunha que são mais duros do que o dióxido de silício. Tem uma dureza de aproximadamente 7,5 na escala de dureza Mohs<sup>1</sup>. Ele é mais duro do que o vidro e é um dos mais utilizados dentre os abrasivos naturais.

O óxido de alumínio e o carboneto de silício são processados industrialmente. O óxido de alumínio foi criado primeiramente em meados de 1900. É um derivado do minério de bauxita de cor castanho avermelhado. Esse minério aquecido em forno elétrico à aproximadamente  $1920^{\circ}C$ , juntamente com uma pequena quantidade de coque (resíduo de carvão mineral) e limalha de ferro, produz um lingote que pode conter aproximadamente 50% de óxido de alumínio. Quando triturado, o óxido de

alumínio forma grãos pesados tendo partículas em forma de cunha com uma dureza de 9,5 na escala Mohs e uma densidade de 3,96g/cm<sup>3</sup>. As partículas de óxido de alumínio são as de maior dureza dos abrasivos em discussão e são menos ásperas e duras que as de carboneto de silício. Em combinação com uma liga de resina, o óxido de alumínio tem elevada resistência à ruptura, e, por isso, tem grande aceitação na aplicação de lixamento que requer altas pressões. O Carboneto de silício tem cor preta azulada, foi produzido experimentalmente em meados de 1890. É fabricado comercialmente, através da combinação de uma mistura de areia (dióxido de silício), resíduo de carvão mineral e uma pequena quantidade de sal e serragem num forno de resistência elétrica a uma temperatura da ordem de 2200°C. A serragem torna a massa porosa e ajuda na saída de monóxido de carbono. O sal ajuda a remoção de impurezas de ferro formando cloreto volátil. Os cristais de carboneto de silício formados em torno do eletrodo, têm uma dureza na ordem de 9,6 na escala Mohs e uma massa específica de 3,2g/cm<sup>3</sup>. Quando estes cristais são resfriados e triturados, os grãos resultantes são acentuadamente pontiagudos, e as partículas têm a forma de cunha. Embora o carboneto de silício seja o mais duro e áspero dos minerais utilizados na fabricação de abrasivos, ele é o que mais rapidamente se desgasta devido a sua fragilidade. Tem excelente aplicação em operações de lixamento leve, tais como a remoção de fibras da madeira expostas após um lixamento anterior. É também um eficiente abrasivo para lixar chapas de madeira e painel de partículas, que contem revestimentos de resina.

Os tamanhos das partículas que são usados nos revestimentos abrasivos são estabelecidos por peneiramento dos grãos através de telas de determinada malha. A espessura da malha determina a denominação do composto de alumínio, do óxido de alumínio e do carboneto de silício. A tela mais fina tem 220 aberturas para cada polegada linear ou 48.400 aberturas por polegada quadrada. Grãos mais finos do que isto são segregados por sedimentação ou flutuação pelo ar. Os tamanhos dos grãos variam de 12 (mais grossos) até 600 (mais finos). Na nomenclatura do sistema as partículas de bióxido de silício e o óxido de alumínio variavam de 4 para 400.

---

1 – MOSH: Escala de MOHS, é uma escala relativa de dureza desenvolvida em 1812 pelo mineralogista alemão Frederich Mohs (1773-1839).

A relação entre os dois sistemas de numeração são mostrados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Comparativo das granulometrias empregadas em lixas para trabalho em madeira, (KOCH, 1964)\*.

<b>Descrição atual baseada na malha da tela</b>	<b>Sistema antigo</b>	<b>Descrição atual baseada na malha da tela</b>	<b>Sistema antigo</b>
12	-	120	3/0
16	4	150	4/0
20	3 ½	180	5/0
24	3	220	6/0
30	2 ½	240	7/0
36	2	280	8/0
40	1 ½	320	9/0
50	1	360	-
60	½	400	10/0
80	0	500	-
100	2/0	600	-

\* Carboneto de silício está disponível em lixas de granulometrias de 12 até 600. O óxido de alumínio e Oxido de ferro e sílica estão disponíveis de 16 até 400 (com exceção do tamanho 360). O bióxido de silício está disponível nas granulometrias 24 até 320.

Conhecido comercialmente como “costado” o material de apoio é a base sobre a qual o produto se constitui como mostra a Figura 2.10. Papel, tecido, fibras vulcanizadas e combinações desses elementos são usados como costado da lixa. A Tabela 2.4 apresenta o sistema de classificação utilizado para identificar os tipos de costados.

Tabela 2.4 - Costados empregados para revestimento abrasivo (KOCH, 1964).

<b>Letra indicadora</b>	<b>Peso por resma* (libras)</b>	<b>Forma do produto</b>
A	40	Papel
C	70	Papel
D	90	Papel
	110	Papel combinado com tecido
E	130	Rolos e cintas de papel

\* Uma resma padrão é definida como 480 folhas medindo 24 x 36 polegadas.

Materiais com pesos de até 90 libras são usados para fazer lixas de uso manual ou para máquinas lixadeiras orbitais. O material de 40 libras encontra a sua melhor aplicação no lixamento em superfícies curvas, pois é necessário o uso de uma folha flexível para se conformar com a superfície da peça. As lixas de 70 a 90 libras são mais rígidas e proporcionam uma remoção de material mais agressiva em superfícies planas ou quase planas. O papel de 110 libras, combinado com um tecido, resulta num costado com uma tela resistente utilizável normalmente em lixadeiras cilíndricas.

Lixadeiras cilíndricas e lixadeira de cinta larga utilizam papel de 130 libras como material de suporte padrão. Papeis de 100 libras ou menos são confeccionados de uma única camada de papel “Kraft” fabricados numa máquina do tipo “Fourdrinier” a partir de fibras de madeira. Papeis de peso acima de 100 libras podem ser de 4 ou 5 camadas e são feitas em uma máquina equipada com cilindro a partir de juta ou de fibras de cânhamo. Estes materiais são particularmente adequados para cintas e manta de tambor de lixamento, por serem resistentes aos elevados esforços na direção longitudinal. A Tabela 2.5 é empregada atualmente, relacionando a gramatura do papel do costado às suas características e aplicações.

Tabela 2.5 – Gramatura e aplicações (atualização), (CATAI, 2002).

<b>Gramatura</b>	<b>Características</b>	<b>Aplicações</b>
70 g/m <sup>2</sup> 90 g/m <sup>2</sup>	Flexível e Leve	Operações manuais e em lixadeiras portáteis, a seco ou refrigeradas.
110 g/m <sup>2</sup> 150 g/m <sup>2</sup> 220 g/m <sup>2</sup>	Flexível e Resistente	Operações mecanizadas em geral. Desbaste e acabamento
280 g/m <sup>2</sup>	Pesado	

Os adesivos de ligação é todo o material orgânico ou mineral, natural ou sintético, utilizado para fixar os grãos abrasivos ao costado. Existem dois tipos de adesivos: a resina, presente nas lixas utilizadas em máquinas lixadeiras, e a cola, empregada para as lixas manuais.

As resinas são empregadas nas lixas a serem utilizadas tanto em desbaste pesado, como semi-acabamento e acabamento. A cola animal é utilizada em lixas para operações manuais e em operações mecânicas onde haja baixa geração de calor.

Catai (2002) descreve o uso de adesivos na fabricação das lixas. A primeira etapa envolve a preparação do adesivo que irá fixar o grão ao costado. Em seguida o adesivo é aplicado em duas fases chamadas respectivamente de “Maker” (primeira camada) e “Sizer” (segunda camada). Genericamente podemos dividir a matéria prima utilizada em cada fase, conforme apresentado nas tabelas 2.6 e 2.7.

Tabela 2.6 – Matéria prima do adesivo Maker (CATAI,2002).

TIPO DE LIXA	PRINCIPAIS MATERIAIS USADOS
Lixa ferro	Resinas de origem animal, água, pigmentos e aditivos
Lixa massa / madeira	Resinas de milho, cargas, pigmentos, aditivos e água
Lixa d’água	Resinas alquídicas, cargas, xileno e aditivos

Tabela 2.7 – Matéria prima do adesivo Sizer (CATAI,2002).

TIPO DE LIXA	PRINCIPAIS MATERIAIS USADOS
Lixa ferro	Resina uréia-formol, água, e aditivos
Lixa massa / madeira	Resina uréia-formol, água, cargas e aditivos
Lixa d’água	Resina fenólica, água, cargas e aditivos

Na fabricação de abrasivos revestidos. Após a impressão do costado, com informações incluindo o nome do produto, mineral e granulometria, o material contínuo recebe a primeira camada de adesivo. O revestimento mineral é então aplicado de modo a assegurar o peso específico do abrasivo dentro dos limites determinados. Posteriormente, o costado é continuamente seco em um forno. Em seguida o costado passa através de um segundo processo o qual se aplica a segunda camada de adesivo. Finalmente a secagem é realizada numa base contínua, em um segundo forno.

Na lixa de revestimento abrasivo fechado, as partículas abrasivas cobrem completamente o adesivo do costado. O tratamento de revestimento aberto requer um espaçamento controlado das partículas minerais sobre o costado de forma que o peso total do mineral aplicado seja da ordem de 60 por cento do que o utilizado em lixas de revestimento fechado. Lixas de revestimento aberto são mais flexíveis e tem menor

tendência de obstrução do que as lixas de revestimento fechado. Pelo fato da lixa de revestimento fechado ter mais minerais expostos, ela pode ter uma vida mais longa do que a lixa de revestimento aberto quando lixar espécies de madeira que não tendem a obstruir a superfície abrasiva.

Franz e Hinken<sup>1</sup> (1954) apud Tibúrcio (2009) apresentaram os efeitos da pressão aplicada, velocidade da lixa, o teor de umidade na área de contato, vida da lixa e consumo de energia.

Pahlitzsch (1970) descreveu a interação do lixamento, da máquina e da peça a ser lixada. A forma e o tamanho da área de corte é característica para processos de lixamento diferentes. A área de corte pode ser plana, cilíndrica ou perfilada, nesta pesquisa detectou que a velocidade da cinta causa pouco efeito na qualidade do acabamento superficial, além de ser quase independente da pressão da cinta.

Ratnasingam e Scholz (2004) realizaram estudo para estabelecer o lixamento abrasivo ideal para o “Rubberwood” (*Hevea brasiliensis*), como resultados sugeriram que o processo de lixamento abrasivo pode ser otimizado quando bem aplainado.

Saloni *et al* (2005) realizaram uma revisão bibliográfica com o objetivo de caracterizar o processo de lixamento da madeira pela taxa de material removido e consumo de energia. Outro estudo feito por Saloni *et al* (2005) mostrou que a taxa de remoção de material foi quase sempre alta para lixas com abrasivo de óxido de alumínio, na realidade, quase duas vezes maior que as outras (carbeto de silício composto). Eles também confirmaram que a taxa de remoção de material aumenta à medida que a pressão aumenta. Adicionalmente, eles observaram que a rugosidade não teve um comportamento previsível e/ou uma tendência específica para concluir uma tendência significativa.

Gurau *et al* (2005a) comentam que as superfícies de madeira lixada contêm irregularidades causadas pelo processo de lixamento e pela anatomia da madeira, ou seja, rugosidade anatômica, que é independente de qualquer operação de usinagem.

---

<sup>1</sup>FRANZ, N. C., HINKEN, E. W. Machining wood with coated abrasives. **Jour. For. Prod. Res. Soc.** v.4, n.5, p. 251-254, 1954. apud TIBURCIO, U. F. O. Medição e análise do acabamento superficial da madeira de eucalipto na usinagem de torneamento cilíndrico e lixamento. 2009. 101f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

Para avaliar corretamente o tratamento da rugosidade, as medições de irregularidades da superfície dado a anatomia da madeira, devem ser excluídas. Em outro trabalho, Gurau *et al* (2005b) relatam que qualquer avaliação quantitativa de uma superfície lixada exige que os dados sejam filtrados para remover os erros de forma e de ondulação. A superfície da madeira contém irregularidades devidas tanto ao processo de lixamento quanto a sua anatomia, por isso a rugosidade anatômica deve ser excluída de qualquer medição da superfície, no caso da rugosidade gerada pelo lixamento, esta deve ser devidamente avaliada. Prosseguiu-se o trabalho comparando as propriedades de diferentes granulometrias de lixa e combinações de espécies.

Segundo Saloni<sup>2</sup> (2007) apud Santiago (2011), a usinagem por abrasivo é o processo de remoção de material através da ação do corte de materiais abrasivos onde se obtém uma superfície final acabada ou um determinado corpo com dimensões desejadas. O processo de usinagem por abrasivo é importante devido sua complexidade, e porque é a última etapa antes da aplicação do acabamento final e defeitos ocasionados no lixamento geram custos altos em materiais, trabalho, equipamento e retrabalho para corrigir esses defeitos. O processo de lixamento e suas influências no resultado final são descritos a seguir.

- Pressão aplicada: a pressão aplicada sobre a peça no lixamento plano é caracterizada por determinada força sobre uma área específica, dependendo da configuração da lixadeira essa pressão pode ser aplicada sobre a peça de madeira fixa e a lixa em movimento ou a peça de madeira e a lixa em movimento. A pressão exerce influência significativa sobre a taxa de remoção de material, observado nos trabalhos realizados por Franz e Hinken (1954), Taylor *et al* (1999), Saloni *et al* (2005), Javorek *et al* (2006), PoranKiewicz *et al* (2010), investigaram a influência da pressão sobre a remoção de material no processo de lixamento.

---

<sup>2</sup>SALONI, D. E. **Process Monitoring and Control System Design, Evaluation and Implementation of Abrasive Machining Processes**. 2007. 197 p. Thesis(PhD) – Faculty of North Carolina State University, Raleigh, 2007. apud SANTIAGO, L. F. F. **Caracterização da influência da velocidade de corte, pressão e granulometria de lixa no lixamento plano do *Pinus elliotti***. 2011. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.



Com relação ao acabamento superficial, os trabalhos de Taylor *et al* (1999) e Saloni *et al* (2005) não encontraram melhora na rugosidade com relação a pressão nas espécies de madeira estudadas. Outra variável que pode influenciar com a pressão é a profundidade de corte, onde trabalhos realizados por Ratnasingam *et al* (2002) e Fontin *et al* (2008) verificaram que o aumento da profundidade de corte para lixadeiras de banda larga ocorreu aumento da potência consumida e uma piora no acabamento superficial.

- Velocidade de corte: corresponde a velocidade na qual o abrasivo passa sobre a superfície da peça usinada. Saloni *et al* (2005) verificaram que a velocidade de corte influenciou no consumo de potência, acabamento superficial e taxa de remoção de material. Ratnasingam *et al* (1999) destacaram que maiores velocidades conduzem a maior remoção de material, mas leva a um aumento da temperatura causando danos ao abrasivo e ao material usinado, sendo necessário encontrar uma velocidade ideal para a usinagem.
- Efeito do tipo de abrasivo: os abrasivos mais empregados nas indústrias madeireiras e em pesquisas são: óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) e carbetto de silício (SiC). Em pesquisa realizada por Taylor *et al* (1999), não foi encontrado efeito significativo de ambos os abrasivos citados com relação a taxa de remoção de material para as espécies de madeira estudadas. No que se refere ao acabamento superficial foi observado um efeito significativo para grãos maiores na rugosidade para o carbetto de silício em comparação ao óxido de alumínio; portanto, em grãos maiores o carbetto de silício produziu uma superfície com rugosidade menor, conforme o tamanho do grão vai diminuindo não existe uma diferença significativa entre as rugosidades para ambos os abrasivos estudados. Na maior parte das espécies pesquisadas nesse trabalho o carbetto de silício produziu um melhor acabamento em relação ao óxido de alumínio.

Moura e Hernández (2006) avaliaram os efeitos dos parâmetros do processo de lixamento no acabamento superficial da madeira de “Maple” (*Acer saccharum*) e constataram que o acabamento superficial e a redução de danos gerados na superfície foram melhores para o abrasivo carbetto de silício comparado ao abrasivo óxido de

alumínio. Neste trabalho, foram avaliadas as superfícies de madeira da espécie “Sugar maple” em amostras que tinham sido lixadas usando três tamanhos de grãos (100; 120 e 150) e quatro velocidades de avanço (8; 10; 12 e 14 m/min).

- Efeito da madeira: a madeira exerce grande influência no processo de lixamento pela sua variabilidade. Tem-se influência da densidade da madeira, madeiras densas consomem mais potência, gera maior atrito e conseqüentemente maior temperatura o que é prejudicial ao equipamento, abrasivo e a própria madeira. Madeiras que possuem extrativos como resina principalmente tendem a liberar extrativos devido à temperatura fazendo com que esses extrativos incrustem na lixa reduzindo sua eficiência de corte e elevando a temperatura. Madeiras que possuem muita sílica podem prejudicar o corte dos abrasivos reduzindo sua vida útil. O teor de umidade da madeira irá influenciar no lixamento, madeiras com baixo teor de umidade oferecem maior resistência ao lixamento gerando maior temperatura, mas produz um melhor acabamento. A madeira mais úmida oferece menor resistência à remoção das fibras gerando menor temperatura e pior acabamento. Com relação às espécies de coníferas e folhosas iram influenciar no lixamento devido à composição dessas duas classes serem completamente diferentes, ou seja, possuem arranjos anatômicos diferentes, e isso irá influenciar principalmente no acabamento superficial, taxa de remoção de material, consumo de potência e uma série de outras variáveis que fazem do lixamento da madeira um processo complexo e de difícil modelagem (SANTIAGO, 2011).

Varanda *et al* (2010) investigaram o processo de lixamento. Este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar a influência da velocidade de corte e da granulometria das lixas tanto no acabamento superficial de peças de *Eucalyptus grandis* processadas por meio do lixamento tubular quanto nos esforços de lixamento (força e potência de lixamento). Utilizaram-se quatro velocidades de corte (19,5; 22,7; 26 e 28,1 m/s), uma velocidade de avanço (16 m/min) e três conjuntos de lixas (80-100; 80-120 e 100-120), sendo uma de desbaste e outra de acabamento, respectivamente. Uma central de aquisição de dados foi montada para a captação das variáveis (potência de corte, emissão acústica e vibração) em tempo real. A força de corte foi obtida de maneira indireta, por meio de um inversor de frequência. A

rugosidade das peças foi medida por um rugosímetro antes e depois do lixamento. A maior velocidade de corte utilizada (28,1 m/s) consumiu maior potência. Conclui-se que o conjunto de lixas 100-120 resultou em valores de rugosidade média “Ra” inferiores aos demais conjuntos de lixas utilizados, ou seja, resultou em melhor acabamento superficial. A partir dos resultados obtidos tem-se: as duas maiores velocidades de lixamento (26 e 28,1 m/s) consumiram maior potência de corte para os três conjuntos de lixas analisados; a velocidade de lixamento de 22,7 m/s consumiu menor potência de corte em todos os conjuntos de lixas utilizados; a maior emissão acústica em todos os conjuntos de lixas foi gerada com a velocidade de corte de 28,1 m/s; a maior velocidade de lixamento (28,1 m/s) gerou menor vibração na lixadeira, em todos os conjuntos de lixas utilizados; em todas as velocidades de lixamento analisadas, o conjunto de lixas 100-120 resultou no menor valor de rugosidade média, ou seja, foi o conjunto de lixas que proporcionou o melhor acabamento superficial aos corpos de prova; ambos os fatores, conjunto de lixas e velocidade de corte e também a interação entre os fatores apresentaram influência significativa no perfil de rugosidade obtido; o efeito da velocidade foi significativo apenas para o conjunto de lixas 80-100.

Taylor, Carrano e Lemaster (1999) avaliaram o impacto de combinações de níveis dos seguintes parâmetros: espécie da madeira; tipo de mineral abrasivo; pressão sobre as lixas e orientação do lixamento. Também foi avaliado o impacto das interações com respeito à característica de qualidade desejada da peça acabada para três diferentes granulometrias de lixa. Os resultados indicaram que o efeito individual da pressão foi significativo em todos os níveis de granulometria de lixas. Também, o carbeto de silício gerou uma superfície melhor que o óxido de alumínio com o maior tamanho de grão para todas as espécies ensaiadas.

Carrano, Taylor e Lemaster (2002) desenvolveram um experimento onde foi avaliada a combinação das seguintes variáveis de entrada: espécies de madeira, velocidade de lixamento, taxa de avanço, profundidade de corte, tamanho de grão da lixa, desgaste e vida da lixa e orientação das fibras da madeira. Os resultados mostraram que o tamanho de grão da lixa, o desgaste da lixa e a orientação das fibras da madeira foram significativos para todas as espécies consideradas no estudo.

Em trabalho de Hendarto *et al* (2006) comentam que devido à falta de homogeneidade do material da madeira, o perfil da rugosidade é afetado pela estrutura anatômica da madeira, implicando diretamente na análise da qualidade da superfície da mesma. Atualmente, não existe um método confiável para analisar a qualidade da superfície da madeira independente da espécie de madeira ou de suas propriedades. As proposições atuais de métodos de filtragem para determinar a rugosidade a partir da medição deste perfil não devem, por si só, justificar a produção de resultados confiáveis na análise superficial da madeira.

Tibúrcio (2006) analisou o acabamento superficial obtido na usinagem de madeiras das espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus citriodora*, em operações de torneamento cilíndrico e lixamento. O desempenho de usinagem foi verificado através do acabamento superficial, e de medições da rugosidade e ondulações geradas nas superfícies das amostras usinadas nas duas operações descritas para cada condição de ensaio com parâmetros pré-estabelecidos. Os processos de usinagem empregados são descritos como: torneamento cilíndrico em cabeçote com 4 ferramentas para usinagem na direção perpendicular às fibras “0-90” (máquina para ensaio denominada “torno tubular”); lixamento em lixadeira dupla de cinta. Quanto à influência sobre o desempenho e acabamento superficial, os seguintes parâmetros foram variados: rotação, velocidade de alimentação, geometria das ferramentas de corte, granulometria das lixas, teor de umidade das amostras e densidade em função da espécie de madeira. As ferramentas de corte foram confeccionadas em aço rápido e em metal duro. A partir da análise dos resultados obtidos, podem-se definir as interações entre os parâmetros que proporcionam bom desempenho de corte aliado as melhores condições de acabamento das superfícies usinadas.

Alves (2012) estudou sobre a resistência da linha de cola em superfícies lixadas da madeira de eucalipto. Este trabalho apresenta estudos de usinabilidade de peças de madeira de eucalipto, tendo por objetivo principal efetuar análises da resistência de juntas coladas em relação à qualidade das superfícies usinadas, a fim de se verificar a influência da rugosidade superficial sobre a adesão das superfícies coladas com adesivo à base de acetato de polivinila (PVA). Amostras da espécie de madeira *Eucalyptus saligna* foram preparadas para testes de resistência na lâmina de cola em

ensaios de ruptura por cisalhamento e por tração normal segundo a norma NBR 7190. As superfícies de colagem foram preparadas por operação de fresamento empregando-se velocidade nominal de avanço de 11,0 m/min e posteriormente por operação de lixamento empregando-se cinco diferentes granulometrias de lixas, de granas: 80, 100, 120, 150 e 220. Depois de lixadas, as superfícies foram submetidas à medição da rugosidade superficial com rugosímetro equipado com uma ponta apalpadora de diamante, de forma cone-esférica, com raio de ponta de 2  $\mu\text{m}$ , em conjunto com o programa de análise de superfícies. Dos resultados obtidos podem-se destacar os melhores desempenhos de resistência a ruptura; ao cisalhamento para superfícies lixadas por lixa de grana 220; à tração normal para superfícies lixadas por lixa de grana 120.

## 2.5. ADESIVOS E ADESÃO APLICADOS À MADEIRA

O processo de colagem envolve três elementos importantes: adesivo, aderente e adesão. Segundo Wellors (1997), os adesivos podem ser entendidos como sendo substâncias com propriedades de aderir fortemente a um substrato, mantendo vários substratos de um mesmo material ou materiais diferentes unidos por meio de uma ligação superficial. Esta propriedade, não é intrínseca a substância e desenvolve-se sob algumas condições enquanto interage com a superfície do aderente. Os aderentes são os materiais sólidos ligados pelo adesivo; também podem ser chamados de substratos. A adesão é o fenômeno mais importante do processo de colagem. A formação da ligação adesiva pode se dar por atração e por ligações químicas através das chamadas ligações primárias (iônica, covalentes, coordenadas e metálicas) e através de forças secundárias intermoleculares. A ligação por atração se deve a interação entre duas superfícies causadas por um forte campo de forças atrativas provenientes dos constituintes de cada superfície.

Existem vários tipos de adesivos, destaca-se aqui o adesivo à base de acetato de polivinila. O adesivo vinílico é um produto sintético, produzido a partir da polimerização do acetato de vinila disperso em água. Os adesivos vinílico são comumente chamados de “colas brancas” ou “adesivos PVA” e são largamente

utilizados na colagem de madeiras em inúmeras operações, tais como na montagem de painéis sarrafeados, no revestimento, na união de juntas de topo ou lateral e de outros painéis com lâmina de madeira na montagem de produtos.

O acetato de polivinil (PVA), é um adesivo termoplástico pertencente a família dos ésteres polivinílicos também conhecidos como borracha sintética. O grupo de acetatos sintéticos polivinílicos, que são adesivos pré-polimerizados, é empregado em colagem de madeira, na qual a cura é feita por perda do solvente dispersante. Tem vida útil longa devido à alta estabilidade química e física. Tem grande resistência à ação de micro-organismos, apresentam propriedades de contato e prensagem exigindo pouca pressão na prensa (JESUS, 2000).

Estudando a cerca de adesivos utilizados para a colagem de madeira, Ribeiro (1992) verificou que no mercado brasileiro existem cinco tipos: adesivos tipos uréia-formol, fenol-formol, resorcinol-formol, acetato de polivinila e adesivos a base de policloropreno efetuando suas descrições como a seguir. Quanto ao adesivo uréia-formol, são resinas quimicamente aquosas oriundas da reação química de uréia e formol, é utilizado na fabricação de painéis aglomerados e compensados. São indicados para uso interno (moveleiros), não sendo indicados para uso externo com ação de sol e chuva. Os adesivos à base de fenol-formal são resinas alcalinas, utilizada na fabricação de compensados a prova d'água, formas de concreto e compensados revestidos com tego-filme. Essas resinas não necessitam de catalizador, curando a temperatura ao redor de 135°C, necessitando lâminas de madeira seca para confecção desse compensado. Já os adesivos resorcinol-formol proporcionam colagem de madeira com desempenho semelhante à fenólica, com a vantagem de apresentarem cura à temperatura ambiente. Os adesivos vinílico são muito utilizados na indústria moveleira, principalmente em montagem. Tais adesivos vinílico não possuem catalisador, são emulsões aquosas que penetram na madeira, coalescem e formam filmes em geral incolores e flexíveis, são utilizados em junções e montagens em geral, e não em colagens que requeiram alta estabilidade dimensional, como em painéis compensados. Como esses adesivos reidratam-se com relativa facilidade, não são indicados para uso externo. Adesivos a base de policloropreno, são adesivos à base de

borracha sintética, contendo solventes aromáticos e alifáticos. Necessitam serem aplicadas em ambas as faces a serem coladas e sua colagem ocorre por vulcanização.

Melo e Carrasco (2004), estudaram o comportamento de três adesivos à venda no mercado para a confecção de madeira laminada colada (MLC) de *Eucalyptus grandis*, os três adesivos escolhidos foram EPI ( Emulsion Polymer Isocyanate), PRF (Phenol Resorcinol Formaldehyde) com catalizador líquido e outro PRF com catalizador em pó. Para esse estudo foram realizados ensaios de flexão simples e ensaios de cisalhamento, puderam concluir que os valores obtidos para o módulo de elasticidade e a rigidez a flexão efetiva foram bem elevados, rompendo-se por tração das fibras da madeira e não na ligação de cola, em relação ao cisalhamento também obtiveram resultados muito bons, desse modo, concluíram que os adesivos estudados apresentaram um ótimo potencial estrutural para a madeira laminada colada.

Marin *et al.* (2006) e Oliveira *et al.* (2006), pesquisaram sobre a influência de adesivos na resistência de ementas dentadas para a espécie de *Pinus Hondurensis* e *Eucalyptus grandis*, respectivamente. Para a realização dos dois estudos foram escolhidas cinco colas diferentes: Cascorez (PVA) resistente a umidade, Poliuretano a base de óleo de mamona, Wonderbond EPI WS 766-56, Melamina Uréia Formaldeído (MUF) e o Cascophen RS-216-M. A emendas feitas foram do tipo dentada vertical. Após, feita a classificação visual e mecânica das peças cortadas das toras de *Pinus Hondurensis*, foram confeccionados 125 corpos-de-prova com emendas dentadas e 25 corpos-de-prova sem emenda, para efeito comparativo, enquanto que para o *Eucalyptus grandis*. Foram utilizados 250 corpos-de-prova. Foram realizados ensaios de tração paralela, seguindo a norma ASTM D 4688-99 para a análise dos modos de ruptura. Quanto ao ensaio para o *Pinus Hondurensis* concluíram que em relação a colagem houve maior incidência de ruptura do modo 1, que representa falha na colagem, quando utilizou-se a MUF (Melamina Uréia Formaldeído), sendo que também as lâminas coladas com este adesivo apresentaram baixa resistência à tração, indicando que o mesmo não é adequado para o tipo de madeira utilizado. A maior ocorrência de peças com ruptura nos modos 3 e 4, o que indica boas execução das emendas dentadas, ocorreram com os adesivos Wonderbond, Cascophen e Cascorez. Quanto ao poliuretano à base de óleo de mamona, a diminuição dos valores de

resistência à tração com o aumento do módulo de elasticidade indicou relação inversa da eficiência do adesivo com a densidade da madeira. Em relação a madeira de *Eucalyptus grandis*, que em comparação com o Cascophen, a eficiência dos adesivos testados, variou numa faixa de 88% a 106%. Em relação à ruptura observou que em 52% dos corpos-de-prova essa ruptura se deu na região do adesivo, sendo que 23,20% com rupturas do tipo 1, 17,60% do tipo 2 e 11,20% do tipo 3, para os outros 48% dos corpos-de-prova tiveram rupturas na madeira, sendo 23,20% de rupturas do tipo 4, 15,20% do tipo 5 e 9,60% do tipo 6. Para ambos os estudos, observou-se que de modo geral os resultados indicaram um bom desempenho estrutural para os adesivos usados, sendo que o adesivo Wonderbond se destacou.

Follrich *et al* (2007), avaliaram a orientação da grã na intensidade da ligação adesiva para testes de cisalhamento em corpos de prova confeccionados com 3 camadas da madeira “spruce” da Noruega. Utilizaram 3 tipos de adesivo; um mono componente poliuretano, melanina formaldeído e resorcinol fenol formaldeído. A orientação da grã da camada do meio variou de 0° a 90° em incrementos de 10°. Era esperado um decréscimo no valor da intensidade da resistência ao cisalhamento, porém isso não foi obtido, mostrando, então, que não existe nenhuma dependência entre a orientação da grã e a intensidade de resistência ao cisalhamento. Quanto a adesão mostrou-se que em geral as amostras confeccionadas com Melanina formaldeído, apresentaram maior resistência ao cisalhamento em relação aos corpos de prova confeccionados com os outros dois tipos de cola.

Em 2008, Mori *et al.*, ao estudarem a qualidade de juntas coladas para a madeira de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus camaldulensis* utilizando dois adesivos comerciais de acetato de polivinila e resorcinol-formaldeído. As juntas foram preparadas e testadas, quanto ao cisalhamento de acordo com a Norma ASTM D- 905-49, onde foram confeccionadas cinco juntas de cada espécie de eucalipto e de cada adesivo, com dimensões aproximadas de 2 x 6,5 x 30 cm (espessura, largura e comprimento). Em seguida a partir de cada uma delas foram preparados 6 corpos-de-prova, dessa forma obtiveram 30 corpos-de-prova de cada adesivo e madeira. Os valores médios encontrados de resistência ao cisalhamento na linha de cola, foi de 7,6 MPa para o *Eucalyptus urophylla* utilizando acetato de polivinila como adesivo foi de



7,82 MPa quando utilizado adesivo resorcinol-formaldeído, para o *Eucalyptus camaldulensis* foram encontrados os valores de 8,2 MPa para o adesivo de acetado de polivinila e de 9,76 MPa para o adesivo de Resorcinol-formaldeído. Com estes dados concluíram que o *Eucalyptus camaldulensis* apresentou melhor colagem que o *Eucalyptus urophylla* com adesivo a base de resorcinol.

Petrauski *et al.* (2008), tiveram como objeto de estudo a ligação de juntas multilaminadas com três lâminas na sua composição, sendo que essas juntas multilaminadas foram produzidas com a madeira de Pinus sp. e coladas com adesivo Cascophen RS 216 M. Tais juntas foram executadas segundo três tratamentos diferentes: um tratamento testemunha no qual as juntas receberam adesivo em toda a região de ligação entre as lâminas das duas barras; um segundo tratamento com adesivo em área correspondente a 75% da região de ligação e finalmente um terceiro e último tratamento com adesivo em área correspondente a 50% da região de ligação. Observaram que, a variação média encontrada para a resistência das juntas multilaminadas coladas foi aproximadamente igual à variação imposta para as áreas coladas, sugerindo proporcionalidade do desempenho mecânico em relação à área colada, também, as deformações observadas para as juntas como um todo indicou uma influência positiva das áreas coladas, e em relação à densidade das madeiras houve certa correlação entre a mesma e desempenho das juntas coladas.

De acordo com Marra<sup>3</sup> (1992) apud Burdulu *et al* (2007), superfícies de madeira lisa suportam maiores forças do que as superfícies ásperas. Seguintes razões para produzir esse resultado foram: primeiro, a quantidade de propagação de adesivo pode falhar para preencher a lacuna entre as superfícies ásperas. Rugosidade excessiva facilita a captura de bolhas de ar na camada adesiva. A descontinuidade interfacial na camada adesiva causada por bolhas de ar, por sua vez, resulta na concentração de tensões em suas imediações que podem levar a uma falha prematura da ligação quando uma articulação é submetida a tensões. Segundo, as superfícies de madeira áspera

---

<sup>3</sup> Marra, A. A., Technology of Wood Bonding (Principles in Practice). Van Nostrand Reinhold, New York, NY (1992). apud BURDURLU, E. USTA, I.; Kiliç, Y.; ULUPINAR, M. The effect on shear strength of different surfacing techniques in Oriental beech (*Fagus orientalis Lipsky*) and Scotch pine (*Pinus sylvestris L.*) bonded joints. **Hacettepe University, School of Vocational Technology, Department of Wood Products Industrial Engineering, Beytepe, 06532.** Ankara, Turkey., v. 21, n. 3-4, pp. 319 – 330, 2007.

inibem a penetração do adesivo nas cavidades das células da madeira expostas. Finalmente, rugosidade impede a eliminação de água do adesivo.

Zanuttini e Cremonini (2002) ao longo das últimas décadas, graças principalmente à suas específicas características tecnológicas e sua estabilidade dimensional e forma, painéis derivados de madeira tende a expandir o desenvolvimento industrial e comercial. Destes, sarrafeados composto de placas de madeira sólida que é mais rígida e unidas por cola, folheados com grã (direção principal da fibra da madeira) perpendicular um ao outro. O painel fez de esta forma ser considerado um tipo distinto de madeira compensada. Embora, sarrafeados serem amplamente utilizados em móveis e carpintaria em geral, e desempenha um papel importante na produção de alguns países da UE, suas características e propriedades físico-mecânicas são desconhecidas e as combinações de componentes de madeira com espessura diferentes (placas e lâminas) faz com que seja difícil precisamente determinar a qualidade de ligação. O objetivo deste trabalho foi contribuir para a criação de um teste de método para avaliar objetivamente a propriedade acima como bem alcançar processo de produção mais eficiente e controlado. Para tal, as principais metodologias de testes, e em especial os que são painéis de madeira maciça (prEN 13354), colagem (EN 392) e madeira compensada (EN 314) foram avaliados. O ensaio de cisalhamento parecia ser o mais significativo para avaliar a resistência real da linha de cola, linhas de cola dos elementos de madeira que compõem o sarrafeado. Por conta dos resultados obtidos, o método proposto foi incluído na revisão da EN 314, cujo conteúdo também foi adotado pela ISO.

Oliveira (2006) pesquisou as possibilidades de matéria prima para fabricação de elementos estruturais de madeira laminada colada (MLC) com emprego da madeira de reflorestamento de *Eucalyptus grandis*, uma folhosa com grandes áreas plantadas no Brasil. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a eficiência de adesivos comerciais (melanina uréia formaldeído, cascorez, poliuretano a base de óleo de mamona e wonderbond) aplicados na madeira de *Eucalyptus grandis*, por meio de ensaios de tração em emendas dentadas em peças com dimensões estruturais, em comparação com o adesivo resorcinol formaldeído e com peças sem emendas dentadas. Os resultados indicaram um bom desempenho estrutural para os novos adesivos testados.

Neste artigo, sobre os adesivos, de acordo com os Boletins Técnicos da Alba Adesivos e da Borden Química, faz breve descrição dos adesivos utilizados na pesquisa. Com relação ao adesivo cascorez resistente à umidade, adesivo em emulsão aquosa à base de poliacetato de vinila (PVA), aplicável em artefatos de madeira, que necessitem de altas resistências à temperatura e umidade. Os processos de cura podem ser o de cura por frequência, prensa quente ou prensa fria. O uso de prensagem por frequência não é recomendável para madeiras de alta densidade e o período entre a montagem das peças e a prensagem não deve ultrapassar 5 minutos, evitando assim uma secagem precoce do adesivo.

Burdurlu *et al* (2006) estudaram, a mudança em superfícies radial e tangencial na resistência ao cisalhamento da madeira “Calábrian Pine” (*Pinus brutia Ten.*) com valores de rugosidade diferentes como o resultado de serrar, com uma serra circular “ripsaw” de aplainamento, lixadas, e coladas com poliuretano (PU) e acetato de polivinila (PVA) adesivos nos níveis de pressão de 3; 6 e 9 kgf/cm<sup>2</sup>. Cada um dos 360 corpos de prova preparados para determinar o efeito das variáveis sobre o desempenho de colagem foi submetido ao teste de cisalhamento em uma máquina universal de ensaios de acordo com o padrão ASTM D 905-98. Os valores obtidos foram analisados estatisticamente e os resultados foram interpretados. A força de cisalhamento mais elevada (11,83 N/mm<sup>2</sup>) para o plano de corte foi obtido na superfície tangencial depois de lixadas e aplicado o adesivo PVA com uma pressão da prensagem de 9 kgf/cm<sup>2</sup>. A força de cisalhamento mais baixa (6,01 N/mm<sup>2</sup>) foi obtido nas junções feitas sobre as superfícies aplainadas usando adesivo PU e uma pressão da prensagem de 3 kgf/cm<sup>2</sup>. A maior resistência ao cisalhamento (9,10 N/mm<sup>2</sup>) na superfície radial foi obtida após lixamento e aplicação de adesivo PVA e pressão da prensagem de 6 kgf/cm<sup>2</sup>. A mais baixa resistência ao cisalhamento (3,76 N/mm<sup>2</sup>) foi obtida nas amostras cujas superfícies foram lixadas e coladas com cola PU com uma pressão da prensagem de 3 kgf/cm<sup>2</sup>. Em geral, nas superfícies radiais, assim como nas superfícies tangenciais, dos corpos de prova ligados com PVA apresentou uma maior resistência ao cisalhamento, comparados com os colados com PU. De acordo com estes resultados, é definitivamente necessário lixar a superfície antes do processo de colagem para ter uma maior resistência ao cisalhamento. O processo de colagem deve ser feita nas

superfícies tangenciais com pressões mais elevadas. Em conclusão, as superfícies, que são objeto de ligação, devem ser superfícies tangenciais para aumentar a resistência ao cisalhamento para elementos estruturais de madeira sob a influência desta resistência. Prévio a colagem das superfícies, que são obtidos no serramento circular ou no aplainamento, devem ser definitivamente lixados. Na ligação, tendo também em consideração as características de resistência do material, maior pressão da prensagem deve ser aplicado de uma forma a não criar deterioração estrutural.

Segundo Burdulu *et al* (2007) a maioria das peças para mobiliário são construídas em várias partes e estas partes são mantidas pelas juntas. Articulações são feitas com fixadores mecânicos e para mobiliário, com adesivos. Placas derivadas de madeira, tais como painéis de partículas, “fiberboards”, sarrafeados, além de madeira maciça, também são usadas na produção de produtos de madeira. Colas são usadas como ligantes na produção dessas placas. O tipo de adesivo utilizado influencia todas as propriedades físicas e mecânicas do produto obtido, tanto na montagem de produtos finais (por exemplo, móveis) e na produção de materiais (painéis) que serão utilizados na produção de produtos finais. Além disso, ele também afeta o desempenho da utilização do produto. Nos produtos à base de madeira em que os adesivos são usados como um aglutinante, o desempenho geral do produto varia de acordo com os fatores abaixo:

- (i) fatores da composição relacionados com o adesivo (viscosidade, força, durabilidade, solventes, diluentes, enchimentos, extensores, teor de sólidos, etc).
- (ii) as características estruturais da madeira (densidade das espécies, alburno, cerne, permeabilidade, pH, extrativos, anisotropia, etc.).
- (iii) características das superfícies (mecanismo de corte, a lisura da superfície, plano de corte, ângulo da grã, teor de umidade, distribuição de umidade, poeira, temperatura, etc.).
- (iv) condições de aplicação relativas à cola (armazenamento, método de aplicação, tempo, aplicação da pressão, aplicação da temperatura, etc).
- (v) as características geométricas (espessura, largura e comprimento dos elementos, grã paralela ou cruzada, número de folhas, alinhados ou organização aleatória, etc.)
- (vi) As condições ambientais no local de utilização do produto (externas ou internas;

controlados ou não controlados os efeitos ambientais, tais como calor, umidade, radiação, produtos químicos).

Corte com serra circular do tipo “ripsaw”, aplainamento ou lixamento são os processos que podem ser aplicados como um processo final na produção de todos os tipos de membros de madeira estrutural. Estas técnicas de superfície aplicada na prática produzem níveis diferentes de rugosidade. Rugosidade é um dos fatores mais importantes no processo de colagem. Ela influencia a penetração adesiva, a formação da ligação, e seu desempenho. O objetivo deste estudo foi o de lidar com este aspecto. O efeito da rugosidade, como resultado de técnicas de superfície diferentes (planos de corte R, T), sobre a resistência ao cisalhamento foi tratado como a variável principal. Tipo de madeira, plano de corte, tipo de cola e pressão aplicada foram tomados como variáveis adicionais. Adesivos PVA e PU foram usados para determinar o efeito sobre o desempenho de ligação do tipo de adesivo para os diferentes planos de corte e rugosidade. Adesivo PVA é utilizado na montagem de produtos de madeira utilizado em ambientes fechados e adesivo PU é utilizado na montagem de produtos de madeira usado na maior parte ao ar livre e ambientes úmidos, esses adesivos foram utilizados neste estudo. Os adesivos foram aplicados sobre as superfícies como eles foram adquiridos e as recomendações da empresa de fabrico foram seguidas na sua aplicação. A densidade do adesivo PVA foi de  $1,05 \text{ g/cm}^3$ , sua viscosidade foi 12-18 Pa·s (a  $20^\circ\text{C}$ ) e seu tempo de montagem foi de  $8 \pm 1 \text{ min}$ . A densidade do adesivo PU foi  $1,2 \text{ g/cm}^3$  e seu tempo de montagem foi 15-40 min.

Os estoques, cuja rugosidade tinha sido medida, foram pareados em partes idênticas de forma adequada para a colagem das superfícies tangencial-tangencial e radial-radial levando em consideração as técnicas de diferentes superfícies. Os adesivos PVA e PU foram aplicados separadamente nas superfícies num montante de  $200 \text{ g/m}^2$ , em conformidade com a recomendação da empresa. As amostras para a preparação dos corpos de prova, foram prensados por 60 min a diferentes pressões, de 3; 6 e 9 MPa. Durante a prensagem, a  $50^\circ\text{C}$  de temperatura foi usada para as amostras com adesivo PVA e  $80^\circ\text{C}$  de temperatura foi usada para as amostras com adesivo PU de acordo com a recomendação do fabricante. As amostras para a preparação dos corpos de prova foram pressionadas, cortados com dimensões de  $50 \times 51 \text{ mm}$ , pelo

menos 48h mais tarde, a fim de permitir endurecimento final (condicionamento) da colagem do adesivo em seus respectivos planos de corte Tangencial e Radial como indica a Figura 2.11.

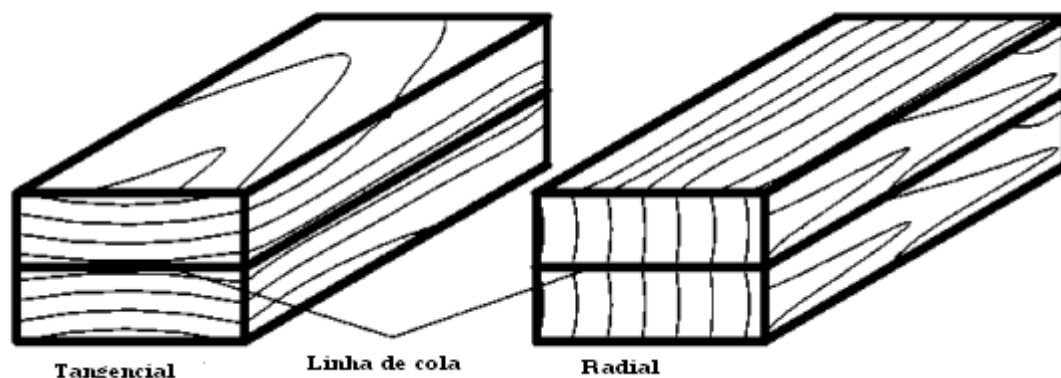


Figura 2.11 – Planos na linha de cola, Tangencial e Radial (Adaptado de Burdulu *et al*, 2007).

Os valores de resistência ao cisalhamento obtido para diferentes variáveis foram apresentados em tabela. Superfícies coladas com o adesivo PVA produziram maior força de cisalhamento em comparação para aqueles colados com o adesivo PU. Quando as superfícies de ruptura dos corpos de prova após os ensaios foram examinados, determinou-se que a separação nos corpos de prova colados com adesivo PVA ocorreu por romper as fibras da madeira, não da camada adesiva. Nas amostras coladas com adesivo de PU, a separação foi a partir da camada adesiva. O fato de que o adesivo PVA produz mais ligação flexível e que penetra mais profundamente no momento da ligação poderia ter produzido este resultado. Pressões mais elevadas causam que o adesivo penetre mais profundamente e, assim, formar um vínculo mais forte na linha de cola.

Follrich (2010) estudou o efeito de diferentes processos de usinagem em rugosidade e resistência do adesivo à tração na extremidade da grã colada, de amostras de madeira “spruce”. Superfícies que haviam sido cortadas com duas serras circulares contendo 48 e 96 dentes foram comparadas com aquelas que haviam sido posteriormente processadas e cortadas com um micróto, máquina de aplainamento ou lixamento. Dois diferentes adesivos e, duas diferentes quantidades foram espalhadas para unir os corpos de prova em suas superfícies em fim de grã. Foi observado aumento na resistência à tração das amostras coladas com o aumento da

rugosidade, a qual foi atribuída a uma larga área de adesão, no caso das amostras de superfícies ásperas serradas com uma serra circular. Por outro lado, com pronunciada adesão da linha de cola e força de ligação, portanto, foi observado mais nas células mais abertas em final da superfície de fim de grã.

Um efeito positivo quanto à força de tração foi ainda observado com o aumento da quantidade de propagação dos adesivos. Foi encontrado para usinagem que afeta particularmente o lenho inicial dos traqueídeos, enquanto a rugosidade dos traqueídeos do lenho tardio foi comparável para os tratados de forma diferente da superfície de fim de grã.

Hernández (2011) pesquisou o corte oblíquo, aplainamento periférico, faceamento, e lixamento usados para superfície de madeira “black spruce” antes da colagem com dois componentes do adesivo PVA (acetato de vinila). Rugosidade, características anatômicas das superfícies, e interfaces da linha de cola, bem como a resistência ao cisalhamento da linha de cola antes e após o envelhecimento foram avaliadas. Corte oblíquo de superfícies não apresentaram danos subsuperfície, pequena fibrilação, baixa rugosidade, fina linha de cola, e pouca penetração adesiva. Aplainamento periférico e faceamento de superfícies ambos mostraram deformação celular leve e um nível mais elevado de fibrilação.

O grande número de lumens celulares disponíveis e fibrilação pareciam favorecer a penetração do adesivo, bem como aumentar a rugosidade. Superfícies lixadas foram mais suaves, e as suas estruturas anatômicas foram os menos visíveis dos quatro processos de usinagem. Estes corpos de prova também mostraram mais importantes danos de subsuperfície, o que limitava a penetração do adesivo.

Para a resistência ao cisalhamento da junta estrutural antes de intemperismo, não ocorreram diferenças significantes entre os tratamentos. As diferenças microscópicas e topográficas entre os de tratamentos de superfície não foram suficientes para gerar diferenças significativas na resistência ao cisalhamento da linha de cola. Aplainamento periférico e faceamento devem ser melhores alternativas com respeito à produtividade.

### 3. METODOLOGIA

Nesse capítulo apresentam-se a origem da madeira utilizada, a preparação das amostras para gerar os corpos de prova, amostras com indicação de anomalias, o lixamento das amostras para ensaios de caracterização mecânica, as medidas de rugosidade para cada grana de lixas utilizadas, o adesivo empregado na confecção das juntas dos corpos de prova, pressão de prensagem com o torquímetro utilizado e os métodos desenvolvidos para a realização dos experimentos.

Os corpos de prova confeccionados para a presente pesquisa foram preparados, de forma aleatória em relação aos planos de formação dos anéis de crescimento da madeira, quanto às composições da linha de cola nos diferentes planos. Estes corpos de prova foram submetidos a ensaios normatizados pela NBR 7190 (1997), para ensaios de resistência a ruptura na lâmina de cola por esforços de cisalhamento e por tração normal, empregando-se na linha de colagem, adesivo à base de PU disponível no mercado.

Destaca-se que as peças de madeira previamente selecionadas em função de sua classificação para remoção das anomalias, tais como: presença de nós; regiões de alborno; defeitos de formação; presença de regiões de medula ou de má formação com bolsões de resina; dentre outras irregularidades; os planos (aleatórios) de colagem foram submetidos ao processo de usinagem de fresamento, para geração das superfícies para o lixamento e posterior colagem, em operação realizada numa máquina denominada por “Tupia Moldureira”, qual seja; uma fresadora de único eixo posicionado na vertical e mesa horizontal com guia de apoio para alimentação automática, conforme ilustrado na Figura 3.6.

#### 3.1. ORIGEM DA MADEIRA PARA EXPERIMENTAÇÃO

As peças de madeira, objeto da experimentação, foram adquiridas em uma serraria no município de Bauru – SP, no formato de pranchas de 50,0 mm de espessura, largas de 10,0; 15,0; 20,0 e 25,0 cm e comprimentos de 1,20; 1,50 e 1,80 m, a qual forneceu aproximadamente 5,0 m<sup>3</sup> de cada espécie, identificadas pelo fornecedor, como sendo da espécie *Eucalyptus saligna*. Estando o material no estado



de umidade úmido, com teores de umidade à base úmida acima de 30%, obtido pela medição por amostragem do lote de madeira, com medidor resistivo.

Tais pranchas estão ilustradas na Figura 3.1, foram submetidas à pré-secagem pelo método de ventilação forçada ao ar em condições de temperatura ambiente, até que se atingissem teores de umidade próximos a 20% (Figura 3.1 b), medida e controlada pelo instrumento de medição do teor de umidade ilustrado na Figura 3.3, e a introdução da madeira serrada no secador (Figura 3.1 c).

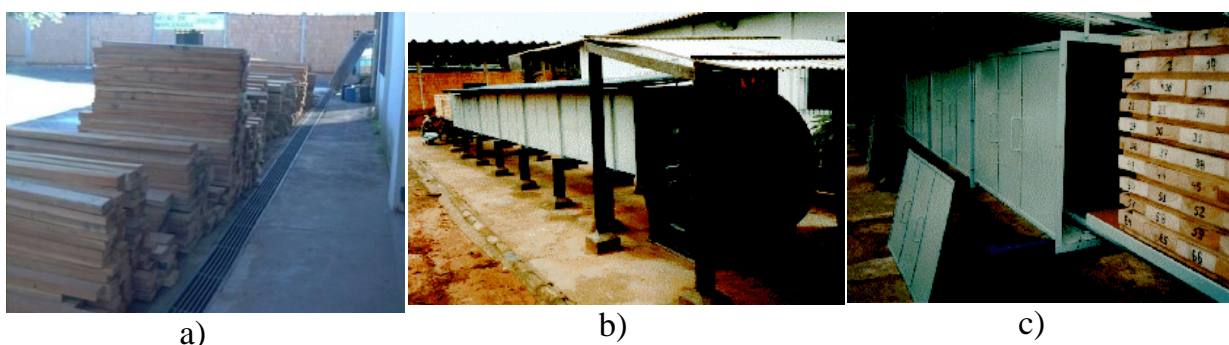


Figura 3.1 - a) Detalhe das pilhas de madeira serrada após recebimento, b) Vista geral do equipamento: módulo de secagem por ventilação forçada, c) Detalhe das pilhas de madeira serrada sendo introduzidas no secador.

Após pré-secagem das pranchas, estas foram aplainadas em ambas as faces e posteriormente ao corte longitudinal em processo de serramento circular empregando-se a máquina serra circular multilâminas de cabeçote único e eixo inferior, ilustrada na Figura 3.2.



Figura 3.2 - Serra circular multilâminas, empregada para geração de peças na forma de sarrafos.

Após seccionamento das pranchas em sarrafos, estes foram submetidos ao processo de aplainamento em plainas desempenadeira e desengrossadeira, definindo-se uma seção transversal das peças de 42,0 x 42,0 mm, com superfícies isentas de irregularidades quanto ao empenamento. Com o novo formato retangular, as novas peças foram seccionadas no comprimento em serra circular destopadeira para padronização das dimensões em 1,20; 1,50 e 1,80 m, facilitando assim a seleção dessas para confecção de corpos de prova para experimentação, conforme descrito em detalhes em “Preparação das amostras para ensaios”.

As peças de madeira depois de aplainadas foram entabicadas (camadas espaçadas por tabiques) ao processo de secagem por ventilação forçada, até atingir variações em seu teor de umidade próximo da faixa de umidade de equilíbrio referido ao peso úmido, qual seja  $12\% \pm 4\%$ , medida e controlada pelo instrumento de medição do teor de umidade, especificação do medidor de umidade: marca DIGISYSTEM, modelo DL 822; faixa de medição de 8% a 60% à base seca; capacidade de resolução de 0,1 %; visor de cristal líquido com 3,5 dígitos; martelete de medição com 4 eletrodos fixados em base de acrílico, ilustrado na Figura 3.3.



Figura 3.3 - Detalhe de medição da umidade em peça de madeira de *Eucalyptus saligna* após secagem por ventilação forçada. (teor de umidade registrado de 10,8 %)

Para confecção das amostras do presente estudo, a serem submetidas a ensaios de tração normal e cisalhamento para determinação da resistência mecânica de juntas coladas, foram selecionadas peças do lote de madeira indicada pelo fornecedor como sendo da espécie *Eucalyptus saligna*.

Após confecção dos corpos de prova, estes foram medidos com paquímetro digital de resolução de centésimo de milímetro, em três pontos de todas as dimensões

em espessura, largura e comprimento, para posterior cálculo de área e determinação da densidade aparente de cada corpo de prova.

Em função da dificuldade de se efetuar uma caracterização anatômica das peças com grau de confiança adequado, a amostragem da madeira utilizada para confecção dos corpos de prova foi submetida à caracterização das propriedades físicas segundo a NBR 7190/1990, através da medição de densidade aparente e teor de umidade de todos os corpos de prova, das quais se registrou os seguintes valores mínimos e máximos: densidade de 0,87 g/cm<sup>3</sup> a 1,02 g/cm<sup>3</sup> e teor de umidade de 9,3% a 14,3%.

Cabe ressaltar neste item que a madeira adquirida para a pesquisa, teve origem de toras que apresentavam diâmetro próximo ou acima de 0,6 metros, identificados no pátio da serraria. As quais apresentavam na seção transversal do topo uma alta concentração de anéis de crescimento por polegada medido na direção radial das toras.

### 3.2. PREPARAÇÃO INICIAL DAS AMOSTRAS PARA SUBMISSÃO A ENSAIOS

Foram selecionadas 20 peças de madeira serrada, com dimensões de 4,2 x 4,2 x 120,0 cm para posterior marcação das peças e preparação dos corpos de prova, conforme ilustrado na Figura 3.4.



Figura 3.4 – Ilustração do início de marcação das peças para confecção das amostras.

Devido à seleção aleatória das peças de diversas partes do tronco, simulando assim, o que acontece nas empresas de processamento da madeira, obteve-se que os

anéis de crescimento ficaram orientados de diversas maneiras na seção transversal das peças.

As peças selecionadas foram aplainadas nas máquinas de aplainamento de superfícies, quais sejam; plaina desempenadeira (Figura 3.5a) e plaina desgrossadeira (Figura 3.5b), para que as imperfeições de planicidade das peças fossem removidas, devido a empenamentos oriundos da pré-secagem dos sarrafos e/ou da secagem natural posterior, a fim de proporcionar a regularização das peças com secção transversal de 3,5 x 3,5 x 1,20 cm, para posterior usinagem e colagem.



Figura 3.5 - Ilustração das máquinas de usinagem: (a) plaina desempenadeira, (b) plaina desgrossadeira.

### 3.3. FRESAMENTO DAS AMOSTRAS PARA ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Após aplainamento para regularização das superfícies e padronização das dimensões das peças, estas foram submetidas ao processo de fresamento de uma das faces previamente selecionada e marcada, realizado em uma fresadora de eixo vertical, denominada por “tupia moldureira”, conforme ilustrado na Figura 3.6. Na “Tupia”, as peças foram submetidas à usinagem cilíndrica tangencial com fresa, regulada para 1,0 mm de profundidade de corte e velocidade nominal de avanço para aplainamento da superfície nas velocidades de avanço de 6,0; 11,0 e 15,0 m/min., proporcionadas pela regulagem do sistema de transmissão do alimentador de avanço, correspondendo, ao avanço por dente “fz” da ferramenta de corte e da rotação do eixo porta-ferramenta de 7113 rot/min, ilustrado em Figura 3.6.



Figura 3.6 – Fresadora (denominada por “Tupia Moldureira”) equipada com alimentador de avanço, utilizada na geração das superfícies de colagem das peças, para posterior lixamento e produção dos CPs.

Após as peças serem submetidas à usinagem cilíndrica tangencial com fresa, tomando-se as peças duas a duas, foi então realizada a remoção de anomalias (indicadas nas peças como Falha), tais como: presença de nós; regiões de alburno; defeitos de formação; presença de regiões de medula ou de má formação com bolsões de resina; dentre outras irregularidades, conforme indicado nas amostras na Figura 3.7.



Figura 3.7 – Peças com indicação de anomalias.

### 3.4. LIXAMENTO DAS AMOSTRAS PARA ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO

Tomando-se novamente as peças duas a duas, para a realização do lixamento (Figura 3.8) das superfícies a serem coladas. As peças foram cortadas em tamanhos de no máximo 50 cm para o processo de lixamento, conforme mesa horizontal da lixadeira que possui esta dimensão, para que o lixamento fosse totalmente realizado na posição horizontal, evitando problemas de passar pelas bordas onde se encontra os cilindros da máquina, evitando assim lixamento excessivo das bordas das amostras, o que provocaria erros no processo de colagem.

Após medições do parâmetro rugosidade; “Ra” das superfícies usinadas, as mesmas foram submetidas ao processo de lixamento em lixadeira de cinta de mesa horizontal, conforme mostrado na Figura 3.8.



Figura 3.8 – Lixadeira de cinta de mesa horizontal empregada no lixamento das superfícies.

A lixadeira de fabricação Baldan, modelo LFH2 e o painel de controle utilizados no lixamento, podem ser visualizados na Figura 3.9.



Figura 3.9 – Lixadeira utilizada: a) Conjunto lixadeira e Painel de controle, b) Detalhe: Painel de controle.

Cinco diferentes granulometrias de lixa foram adotadas para o presente estudo, todas as lixas de oxido de alumínio e costado de pano, quais sejam: tamanho de grão P80, P100, P120, P150 e P220, vistas na Figura 3.10.



Figura 3.10 - Lixas utilizadas P80, P100, P120, P150 e P220 (direita para esquerda).

A Figura 3.11 ilustra as vistas em detalhes das lixas utilizadas e suas respectivas marcações nas costas das lixas segundo fabricante das mesmas de P80 a P220.

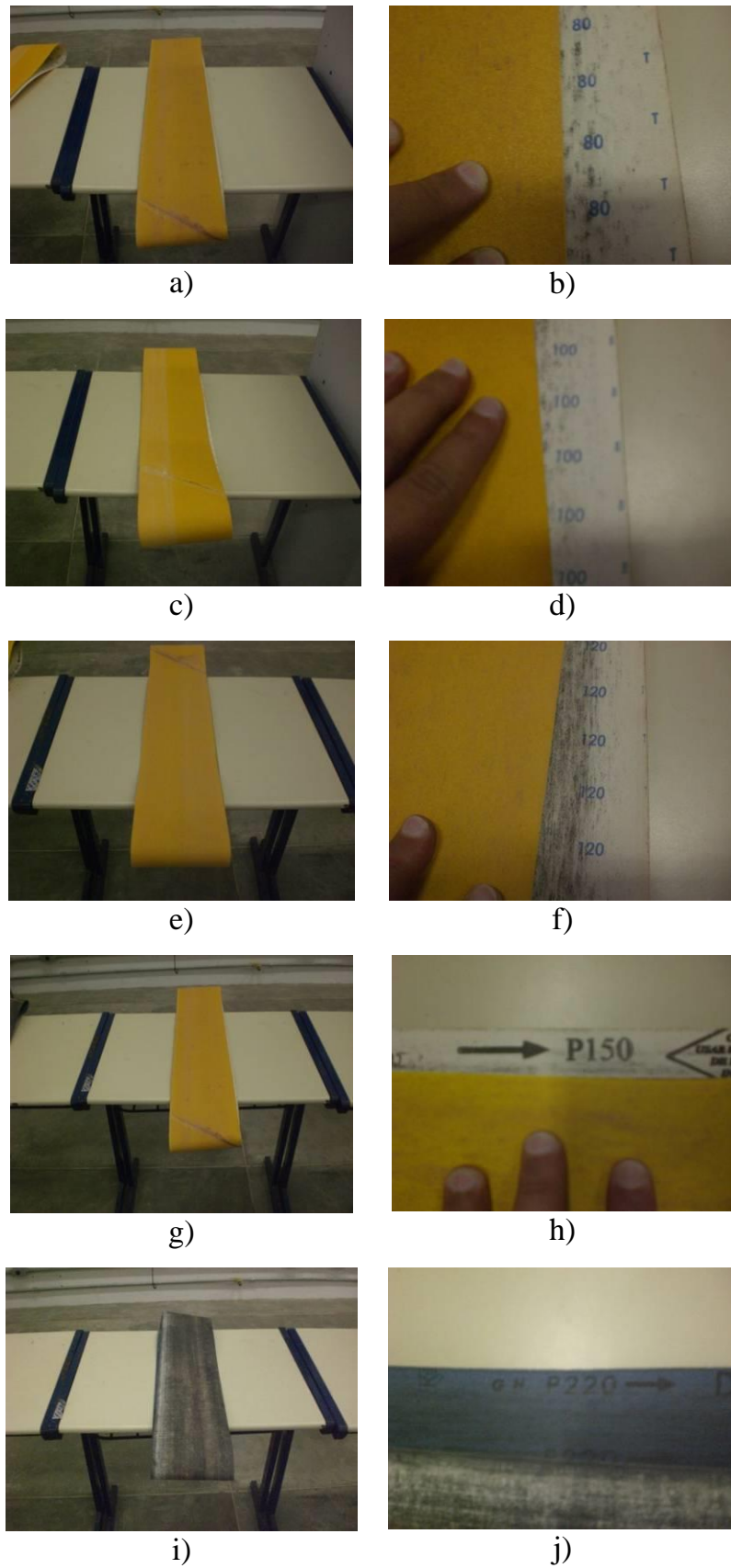
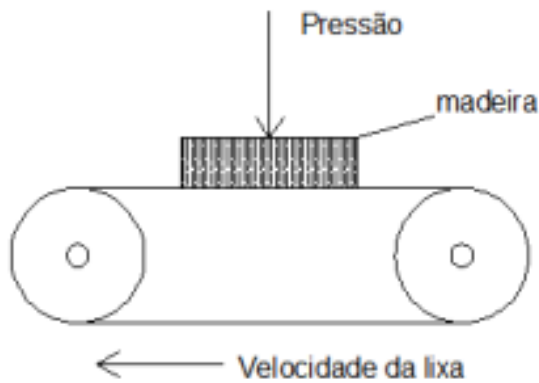


Figura 3.11 – Lixas utilizadas e marcação do fabricante nas costas da lixa: a) Lixa P80, b) Marcação P80, c) Lixa P100, d) Marcação P100, e) Lixa P120, f) Marcação P120, g) Lixa P150, h) Marcação P150, i) Lixa P220, j) Marcação P220.



Na sequência foi efetuado o lixamento com diferentes lixas, vistas na Figura 3.12, das superfícies para posterior colagem destas superfícies, conforme ilustrado na Figura 3.15.



(a)



(b)

Figura 3.12 – Lixamento das amostras: a) Representação esquemática do lixamento plano. b) Lixamento das amostras antes da colagem.

Todas as superfícies das amostras preparadas para lixamento foram usinadas pelo processo de fresamento periférico em uma tupia moldureira, na velocidade nominal de avanço de 11,0 m/min. A adoção da velocidade de 11 m/min, deu-se em função de que esta foi a que apresentou os melhores resultados quando dos testes realizados na pesquisa desenvolvida por De Conti (2011), os quais proporcionaram o melhor desempenho na adesão entre as superfícies de madeira coladas.

A Figura 3.13 apresenta o cabeçote utilizado e as medições feitas no equipamento de usinagem para confirmação dos parâmetros de corte para cálculo do avanço por dente “fz” gerado na superfície, qual seja: a distância entre picos ou vales gerados na superfície, no percurso efetivo de corte da ferramenta.

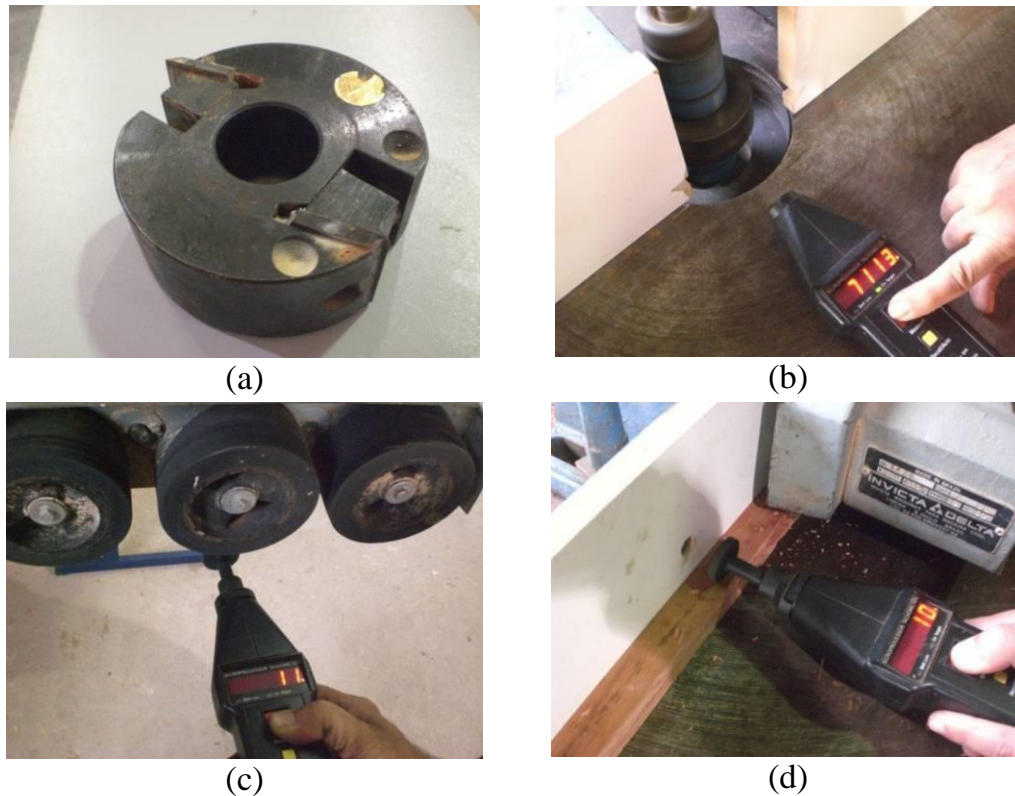


Figura 3.13 – Ilustração da fresa preparada para usinagem e das medições de velocidades e rotações no equipamento. (a) Cabeçote com faca usado na usinagem, (b) Medição da rotação do eixo porta-ferramenta, (c) Medição da velocidade nominal de avanço, (d) Medição da velocidade de avanço real da peça.

A medição da rugosidade nas peças de *Eucalyptus saligna* usinadas foi realizada na direção de corte, nos sentidos concordante (saída “S”) e discordante (entrada “E”). (Existem dois métodos de fresar, o discordante “UM” e o concordante “DM”). O equipamento utilizado para medição do parâmetro de rugosidade média “Ra” foi um rugosímetro eletromecânico marca Taylor Hobson, modelo SURTRONIC 25 (Figura 3.14), com ponta esférica de diamante com diâmetro 0,2 mm.

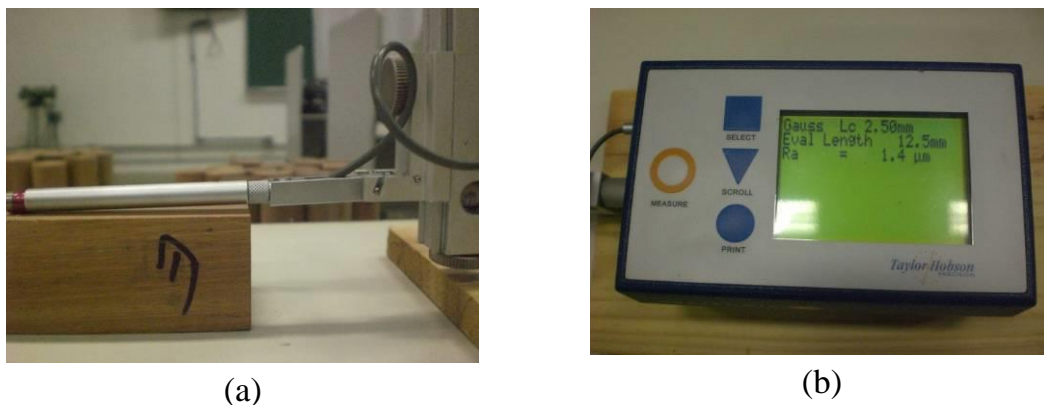


Figura 3.14 – Ilustração da medição da rugosidade nas superfícies usinadas para composição da linha de cola dos corpos de prova. (a) Ação do apalpador, (b) Detalhe de uma leitura de medição. (média registrada de 1,4  $\mu\text{m}$ )

### 3.5. ADESIVOS EMPREGADOS E COLAGEM DAS SUPERFÍCIES DE JUNTAS

Para os testes de resistência mecânica, as amostras foram coladas empregando-se adesivos à base de resina poliuretano (PU) na linha de colagem, denominados neste estudo por “PU monocomponente” e “PU bicomponente”.

Tanto para as superfícies fresadas em diferentes velocidades de avanço, quanto para as superfícies lixadas com lixas de diferentes granulometrias, as amostras foram preparadas em três grupos de ensaios com relação ao tipo de adesivo aplicado nas superfícies de colagem, da seguinte forma: Ensaio 1 (E1) = PU monocomponente com validade vencida; Ensaio 2 (E2) = PU monocomponente dentro do prazo de validade; Ensaio 3 (E3) = PU bicomponente.

O adesivo “PU - monocomponente” (Ensaio 1 e Ensaio 2) adquirido para os testes foi o produto de nome comercial “Cascola PU” e tem como empresa fabricante a indústria química “Henkel S/A”. Trata-se de um adesivo a base de Pré-polímero de Poliuretano, indicado para colagem de madeira e outros materiais, para aplicações estruturais e à prova de água, tendo as seguintes especificações técnicas: densidade (20°C) = 1,11 - 1,13 g/cm<sup>3</sup>; viscosidade Brook, RVT (20°C) cP 7000 – 9000; classificação de colagem D-4, conforme EN 204 e 205; validade para uso após embalado = 12 meses.

O uso deste adesivo como aqui denominado “Ensaio 1” encontrava-se com embalagem vencida há 2 meses do prazo de validade estabelecida pelo fabricante e, o uso do adesivo aqui denominado “Ensaio 2” encontrava-se há 6 meses da data de fabricação, portanto com 50% do tempo do prazo de validade estabelecida pelo fabricante.

O adesivo “PU - bicomponente” (Ensaio 3) adquirido para os testes de nome comercial “Resina PU derivada do óleo de mamona”, é do tipo bicomponente com teor de sólido de 100%, tempo de gel de aproximadamente 25 minutos. Resina denominada por I201 (composição recomendada de 1 parte de poliól e 1 parte de isocianato aromático, pré-polímero – mistura 1x1), fornecida pela KEHL Indústria Química de São Carlos – SP. É uma resina de cura a frio, que pode ser acelerada com temperatura até 90°C, (DIAS, 2005).

A aplicação do adesivo foi feita por pincel Figura 3.15b para distribuição em toda área da superfície. Após aplicação do adesivo, as peças foram juntadas nas faces somente fresadas (amostras do fresamento) e outras lixadas (amostras do lixamento) e então coladas. Após a aplicação da cola, devem-se juntar as partes imediatamente, não ultrapassando um período de 5 minutos entre sua aplicação e a união das partes, para evitar a secagem precoce que pode comprometer a eficiência da colagem, mantendo as partes sob pressão até sua completa secagem, evitando defeitos de colagem Figura 3.15c.

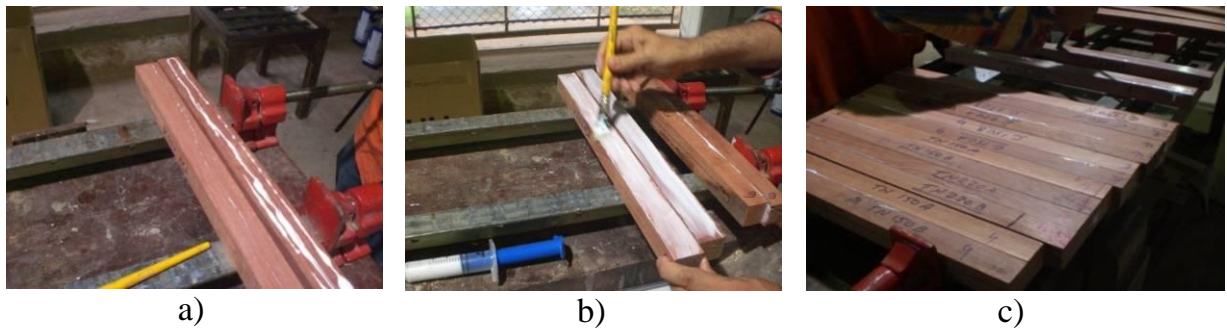


Figura 3.15 – a) Cola espalhada com a Seringa, b) Cola espalhada com pincel nas duas faces da amostra, c) Amostras sendo coladas e preparadas para prensagem.

Depois de prensadas por 24 horas (recomendação dos fabricantes dos adesivos) em prensagem por grampos do tipo rosca e apoios, popularmente denominado por “sargento” ilustrado na Figura 3.16a, com emprego de dois grampos por conjunto de peças, com a aplicação de torque de 16,0 N·m, em cada grampo com uso de torquímetro Figura 3.16b, como recomendado para uso de adesivo para pressão de prensagem a frio.



Figura 3.16 – a) Amostras sendo preparadas para a prensagem, b) Detalhe: Torquímetro utilizado.

Em seguida, como ilustrado na Figura 3.17, a aplicação do torque de 16 N·m com o torquímetro.



Figura 3.17 – Amostras sendo prensadas com aplicação de torque de 16 N·m.

Do início da prensagem das amostras Figura 3.18a, depois de prensadas com emprego de dois grampos por conjunto de peças e com a aplicação de torque de 16,0 N·m e estabilização das amostras ilustrado na Figura 3.18b, foi então realizada a retirada do excesso de adesivo, Figura 3.18c, evitando desta forma que na usinagem, para geração dos corpos de prova, este excesso de adesivo não influenciasse de forma negativa.

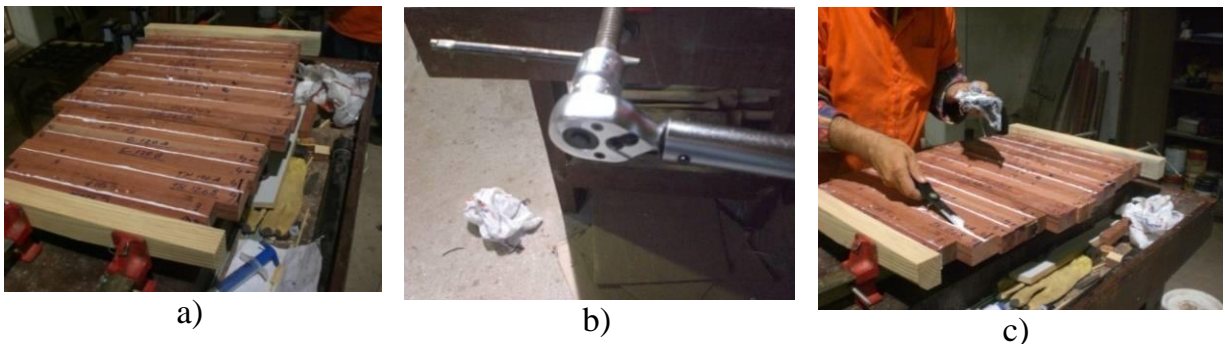


Figura 3.18 – Prensagem: a) prensagem das amostras, b) Torque aplicado de 16 N·m nas amostras coladas, c) Retirada do excesso de adesivo após prensagem.

Retiradas às peças coladas, os corpos de prova foram marcados e seccionados em serra circular para diferentes submissões: ensaio de cisalhamento paralelo às fibras na linha de cola e ensaio de tração normal na linha de cola.

### 3.6. PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA SUBMISSÃO AOS ENSAIOS

Os procedimentos iniciais para preparação dos corpos de prova para submissão ao ensaio de cisalhamento na linha de cola, utilizando-se de serra circular, são ilustrados na Figura 3.19.

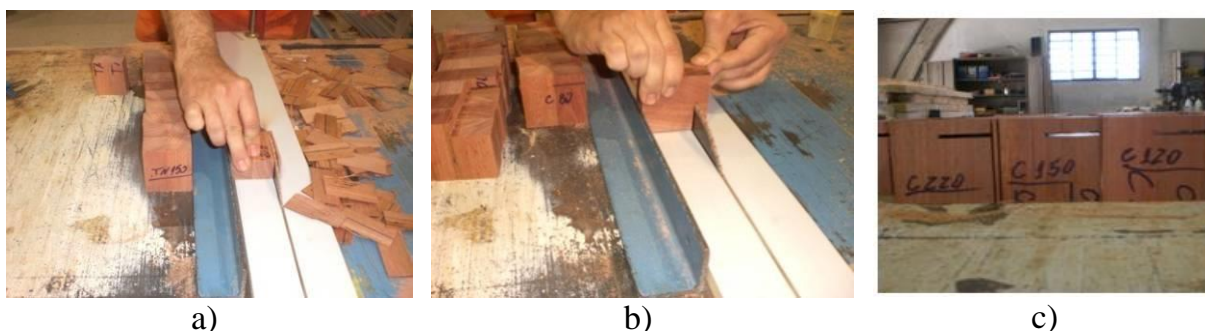


Figura 3.19 – Procedimentos iniciais para preparar os CPs: a) Usinagem para padronização das dimensões dos CPs, b) Primeiro corte para preparação dos CPs, c) Vista do primeiro corte realizado para preparar os CPs.

Para a finalização da preparação dos corpos de prova, teve a realização do segundo corte para gerar os corpos de prova (Figura 3.20a), então os CPs eram separados um a um conforme foram lixados com as diferentes granas de lixas, como ilustrado na Figura 3.20b, e na Figura 3.20c o corpo de prova finalizado.

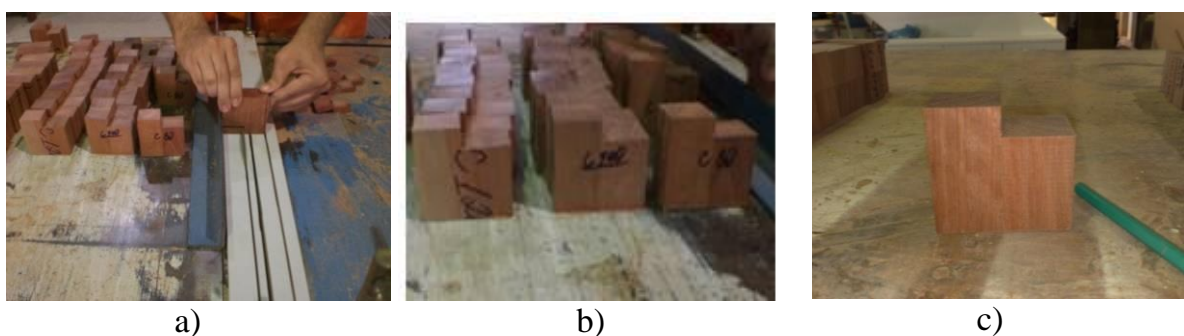


Figura 3.20 - Finalização da preparação dos CPs: a) Segundo corte para preparar os CPs, b) Detalhe dos CPs separados conforme suas respectivas lixas, c) CP para ensaio de cisalhamento finalizado.

Pelo fato de se ter trabalhado com relação à resistência a ruptura tanto no cisalhamento quanto na tração, não houve problemas com relação às dimensões dos corpos de prova gerados para os ensaios neste trabalho, porque é verificada a resistência à ruptura pela área da superfície colada dos corpos de prova.

Procedimentos iniciais para preparação dos corpos de prova para os ensaios de tração normal na linha de cola, ilustrado nas figuras 3.21 e 3.22.

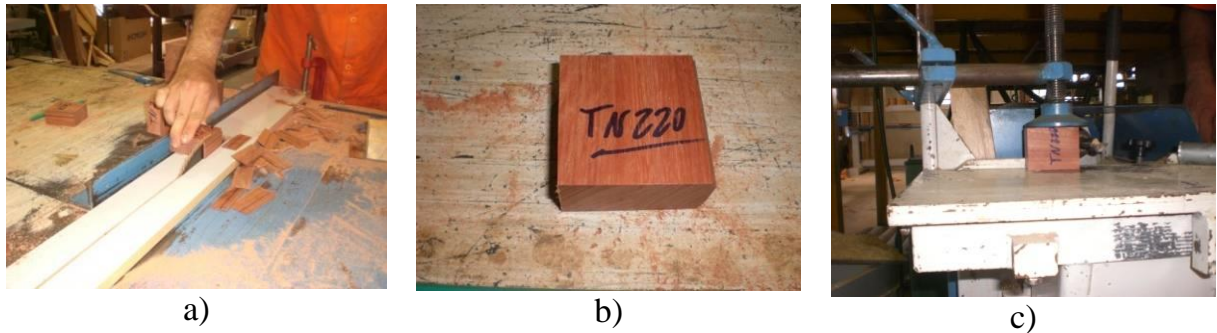


Figura 3.21 – Procedimentos iniciais para preparar CPs: a) Usinagem para padronização das dimensões dos CPs, b) Amostra para preparação do CP, c) Amostra colocada na furadeira para geração dos semicírculos.

Na finalização dos corpos de prova, é necessário ter os semicírculos, para submissão dos ensaios de tração normal (Figura 3.22).



Figura 3.22 - a) 1ª etapa para gerar o semicírculo nos CPs, b) Detalhe: Geração dos semicírculos.

Na sequencia, a furação final para geração dos dois semicírculos no CP. Como mostrada na Figura 3.23a, e CP para ensaio de tração normal finalizado Figura 3.23b.

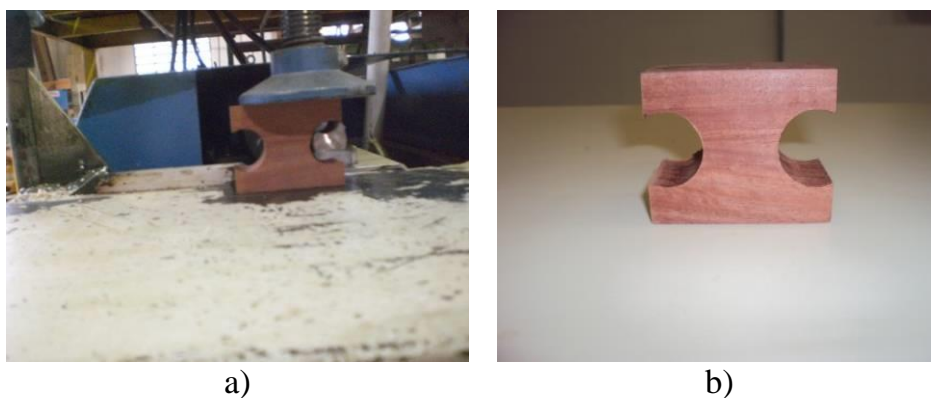


Figura 3.23 – 2ª Etapa para gerar CP: a) Detalhe da 2ª etapa para gerar os semicírculos dos CPs., b) CP para ensaio de tração normal finalizado.

Após confecção dos corpos de prova, estes foram medidos com paquímetro digital de resolução de centésimo de milímetro, em três pontos de todas as dimensões em espessura, largura e comprimento, para posterior cálculo de área e determinação da densidade aparente de cada CP ilustrada em Figura 3.24.



Figura 3.24 – Detalhes das medições realizadas nos CPs para submissão aos ensaios mecânicos.

Realizadas as medidas dos CPs dos ensaios de cisalhamento e tração normal, foram obtidos então os valores de suas massas, com os valores medidos de seus volumes e suas massas obtiveram-se suas densidades, e em seguida foi medidos o teor de umidade por CP.

### 3.7. ENSAIOS DE RESISTÊNCIA NA LINHA DE COLAGEM DA MADEIRA

Em referência à NBR 7190 – O cisalhamento na lâmina de cola que tem por objetivo a determinação da resistência ao cisalhamento na lâmina de cola da madeira de um lote considerado homogêneo. As definições da resistência ao cisalhamento na lâmina de cola paralelo às fibras da madeira ( $f_{v,0}$ ) é dada pela máxima tensão de cisalhamento que pode atuar na lâmina de cola de um corpo de prova prismático (Figura 3.25), sendo dada pela Equação (1):

$$f_{v,0} = \frac{F_{V0,máx.}}{A} \quad (1)$$

Em que:

$F_{v0,max}$  é a máxima força cisalhante aplicada ao corpo de prova, em Newton (N); A é a área inicial da seção crítica do corpo de prova, num plano paralelo as fibras, em m<sup>2</sup>.



Pelo fato de se ter trabalhado com relação à resistência a ruptura tanto no cisalhamento quanto na tração, não houve problemas com relação às dimensões dos corpos de prova gerados para os ensaios neste trabalho, porque é verificada a resistência a ruptura pela área dos corpos de prova.

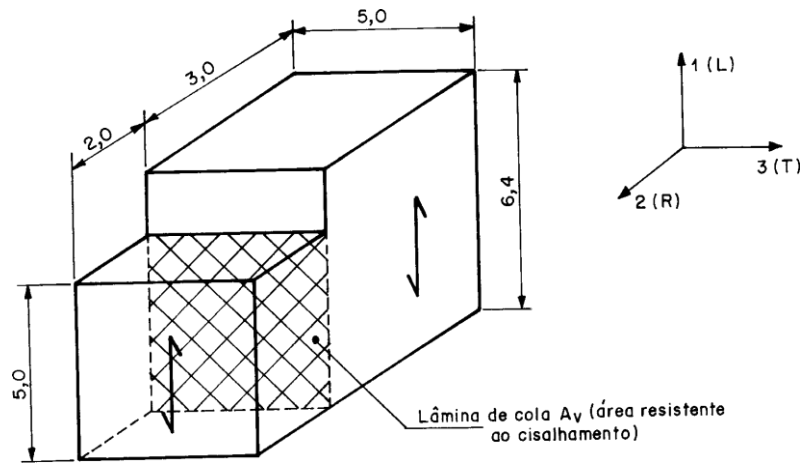


Figura 3.25 – Dimensões em centímetros, do corpo de prova para ensaio de cisalhamento na lâmina de cola, na direção paralela às fibras. (Fonte: NBR 7190 – 1997)

O arranjo de ensaio para a determinação da resistência ao cisalhamento na lâmina de cola está indicado na Figura 3.26.

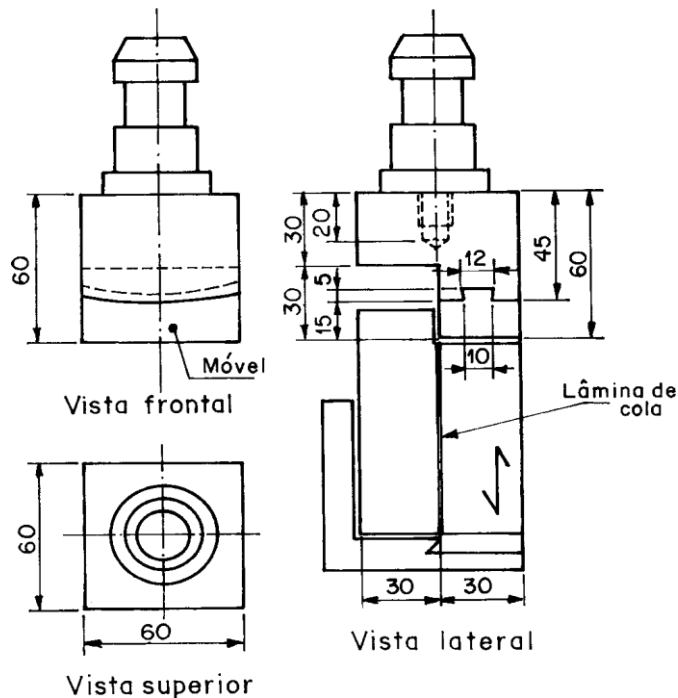


Figura 3.26 - Arranjo de ensaio para cisalhamento na lâmina de cola, na direção paralela às fibras, dimensão em mm. (Fonte: NBR 07190 – 1997)

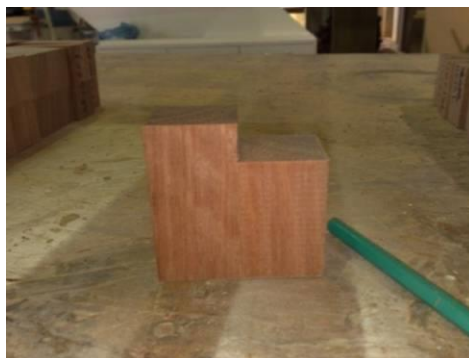
Para os ensaios de caracterização quanto à resistência mecânica das juntas coladas em madeira de eucalipto, bem como em planos diferenciados do mesmo material, empregou-se uma máquina de ensaio universal computadorizada, marca “EMIC”, modelo DL 30000, com capacidade para realizar ensaios mecânicos para uma carga de até 30 toneladas, disponível no laboratório de Propriedades dos Materiais do Campus da UNESP de Itapeva, conforme ilustrado na Figura 3.27.



Figura 3.27 – Vista geral da máquina de ensaios universal de caracterização mecânica de materiais.

### 3.7.1. Ensaios de resistência ao cisalhamento

A Figura 3.28 apresenta os corpos de prova de madeira confeccionados para submissão a ensaio de resistência ao cisalhamento.



(a)



(b)

Figura 3.28 – Ilustração de corpos de prova preparados para submissão a ensaio de cisalhamento: (a) vista lateral e (b) vista de topo.

A Figura 3.29 mostra um corpo de prova quando submetido ao ensaio de caracterização mecânica de resistência ao cisalhamento na linha de colagem. A Figura 3.29a mostra o sistema de prensagem com o CP preparado para o carregamento, a Figura 3.29b ilustra o sistema com o CP já rompido e a Figura 3.29c mostra as superfícies cisalhadas do CP.

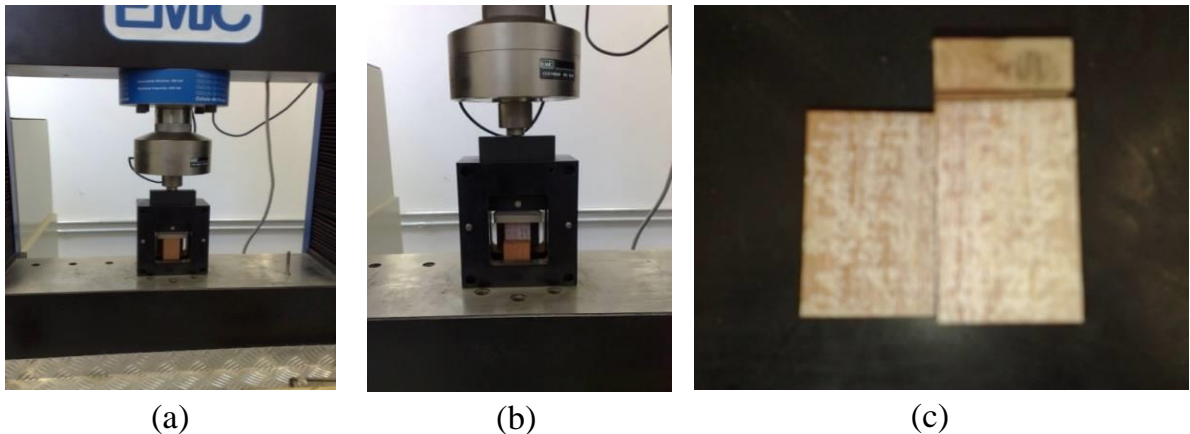


Figura 3.29 – Ensaio de cisalhamento: (a) CP sendo ensaiado, (b) situação após ensaio, (c) superfícies de linha de cola submetidas à ruptura por cisalhamento.

### 3.7.2. Ensaio de resistência à tração normal

Em referência à NBR 7190 – A resistência da lâmina de cola à tração normal da madeira laminada colada ( $f_{t,90}$ ) é dada pela máxima tensão de tração que pode atuar em um corpo de prova (Figura 3.30) alongado com trecho central de seção transversal uniforme de área  $A$  e comprimento não menor que  $2,5\sqrt{A}$ , com extremidades mais resistentes que o trecho central e com concordâncias que garantam a ruptura no trecho central, sendo dada pela Equação (2):

$$f_{t,90} = \frac{F_{t90,máx.}}{A} \quad (2)$$

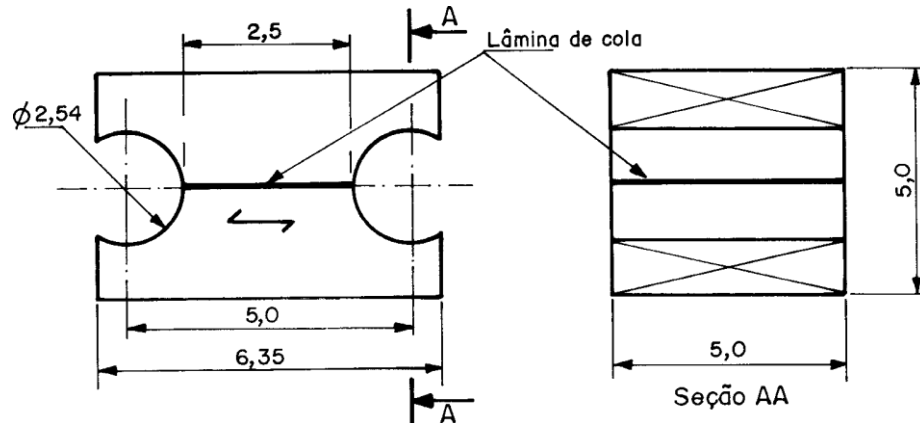


Figura 3.30 - Corpo de prova para tração da lâmina de cola normal às fibras da madeira laminada colada, dimensões em centímetros. (Fonte: NBR 7190 – 1997)

O arranjo de ensaio para determinação da resistência da lâmina de cola à tração normal às fibras da madeira laminada colada com o corpo de prova da Figura 3.32 está mostrado na Figura 3.31.

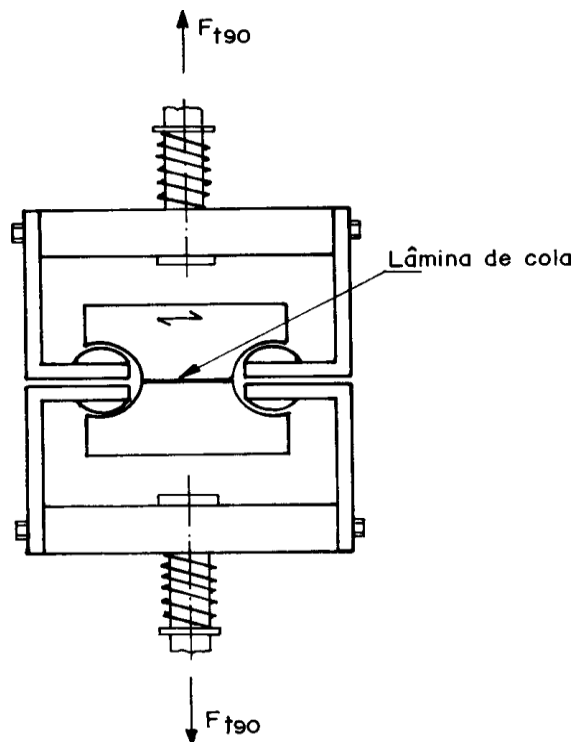


Figura 3.31 - Arranjo de ensaio para tração da lâmina de cola na direção normal às fibras da madeira laminada colada. (Fonte: NBR 7190 – 1997)

A Figura 3.32 ilustra um corpo de prova para submissão ao ensaio de resistência à ruptura na linha de cola para o ensaio de tração normal.

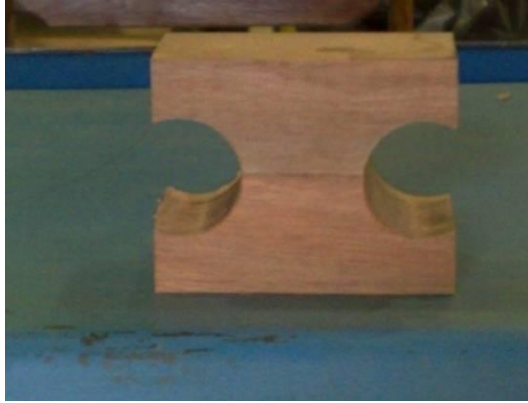


Figura 3.32 – Ilustração de um corpo de prova preparado para submissão ao ensaio de tração normal.

A Figura 3.33 mostra três situações: (Figura 3.33a) corpo de prova quando tracionado, (Figura 3.33b) situação do ensaio após ruptura e (Figura 3.33c) partes de um CP rompido após o ensaio.

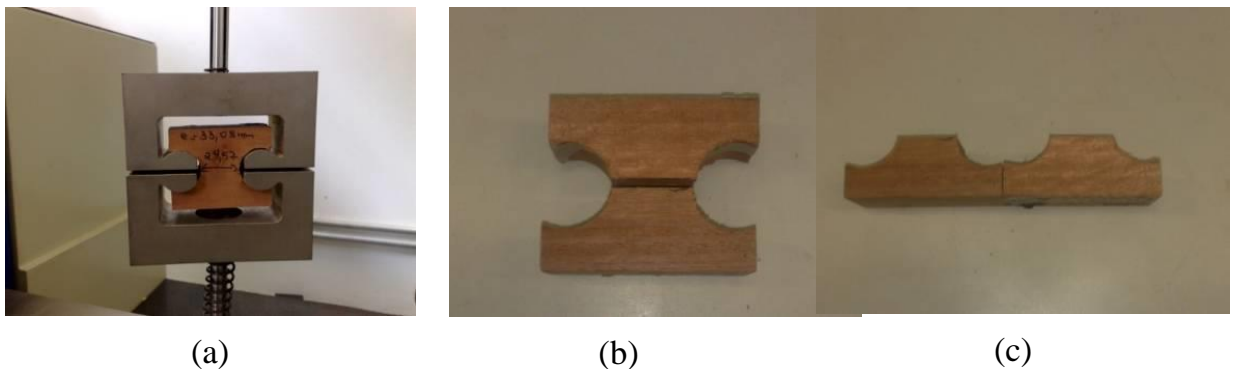


Figura 3.33 – Situações registradas no ensaio de tração normal: (a) CP quando tracionado, (b) CP rompido na linha de cola, (c) partes de um CP rompido.

### 3.8 – ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para tanto, utilizou-se o programa ANOVA, que realiza uma análise de Variância e que considera as diferenças entre médias de tratamento em vista de um nível de significância na faixa de 5% que, em resumo, nos indica a existência significativa de diferenças entre dois ensaios, ou não, em seguida aplicou-se o Teste de Tukey, que é responsável por localizar a diferença entre grupos e padronizar estes resultados.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme descrito no Item 3.5 da Metodologia, o adesivo PU monocomponente utilizado, cujos resultados são aqui denominados por “Ensaio 1” encontrava-se com embalagem vencida há 2 meses do prazo de validade estabelecida pelo fabricante e, o uso do adesivo aqui denominado “Ensaio 2” encontrava-se a 6 meses da data de fabricação, portanto com 50% do tempo do prazo de validade estabelecida pelo fabricante. Justifica-se tal decisão de procedimento metodológico, ao fato de que; da data de aquisição do adesivo até a realização dos testes de ruptura das amostras, não foi possível cumprir o cronograma inicialmente estabelecido. Por tal motivo, optou-se em utilizar tal adesivo mesmo fora do prazo de validade e refazer todo o ensaio com o mesmo adesivo, adquirido posteriormente. Esta decisão se deu por entender que seria uma contribuição adicional para análise de resultados comparativos entre os diferentes adesivos monocomponente (Ensaio 1 e Ensaio 2) e bicomponente (Ensaio 3).

Quanto à medição da rugosidade das superfícies usinadas, foram realizadas 40 medições para superfícies fresadas com cada velocidade de avanço, sendo 20 medições na mesma direção do percurso de avanço (direção de saída da peça “S”) e 20 medições na direção contrária a do percurso de avanço (direção de entrada da peça “E”); 10 medições para superfícies lixadas para cada granulometria de lixa.

Os valores médios da rugosidade “Ra” das superfícies fresadas com diferentes velocidades de avanço, quais sejam: 6, 11 e 15 m/min, são mostrados em Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Medição de “R<sub>a</sub>” médio - E = medida na direção contrária de corte, S = medida na direção de corte.

	V <sub>f</sub> = 6 m/min (V6)		V <sub>f</sub> = 11 m/min (V11)		V <sub>f</sub> = 15 m/min (V15)	
Medidas	E (μm)	S (μm)	E (μm)	S (μm)	E (μm)	S (μm)
Média	5,81	4,40	5,84	5,21	4,96	5,93
Desvio Padrão(μm)	1,80	1,20	2,10	1,62	1,40	1,50

Verifica-se que para as superfícies usinadas com velocidades 6 e 11 m/min as medidas de “Ra” médio foi maior na direção de entrada do que para a saída. O mesmo não ocorreu para a superfície usinada com velocidade de 15 m/min sendo no sentido “E” o valor de “Ra” médio menor que no sentido “S”.

Deve-se destacar que a medida realizada na direção de entrada é feita na direção contrária ao percurso de avanço da peça e a direção de saída é feita na mesma direção do percurso de avanço.

Os valores de rugosidade “Ra” médios medidos e respectivos desvio padrão para as cinco diferentes granulometrias de lixas utilizadas (P80, P100, P120, P150 e P220) são apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Valores médios da rugosidade “Ra” e respectivos desvios padrão.

Granulometria das lixas	Rugosidade Ra ( $\mu\text{m}$ )	Desvio Padrão ( $\mu\text{m}$ )
P 80	3,350	1,16
P 100	2,330	0,95
P 120	2,265	0,58
P 150	1,450	0,40
P 220	1,390	0,54

Considerando-se um “Ra médio” para superfícies fresadas nas três velocidades de avanço testadas de aproximadamente 5,3  $\mu\text{m}$ , pode-se considerar; para “Ra médio” de superfícies lixadas com a lixa testada P80, aqui de acabamento mais “grosseiro”, uma redução (ou melhoria) de aproximadamente 37% na qualidade (regularidade da superfície) em relação às superfícies fresadas.

Se observarmos a redução de “Ra médio” somente entre as diferentes granulometrias das lixas, pode-se verificar uma redução proporcional de “Ra médio” de aproximadamente 30,4; 3,0; 35,8 e 4,0 por cento, quando respectivamente aumenta-se a grana de 80 para 100, de 100 para 120, de 120 para 150 e de 150 para 220. Com este resultado, pode-se inferir que entre 100 e 120 e, entre 150 e 220, muito pouco se

reduziu de “Ra” com estas alterações ou, até mesmo querer concluir que pouco foi alterado em relação às “interferências” na superfície da madeira, ou outras denominações como: “integridade”; “descontinuidade”; “solidez” e “polidez”. Porém, nenhuma dessas observações podem indicar melhorar ou piorar a resistência à ruptura na linha de colagem das superfícies usinadas, a não ser após análise dos resultados de resistência mecânica, tal qual como se objetiva neste trabalho: a adesão na colagem.

Quanto à análise estatística dos resultados de ensaios de resistência mecânica, os mesmos encontram-se representados pelo desvio padrão anotados para cada situação nas próprias barras que ilustram a amplitude dos resultados em cada gráfico, a seguir apresentados para cada agrupamento de experimentação. O detalhamento da análise estatística foi feito, onde se gerou tabelas e gráficos para análise posterior e registro do desvio padrão ocorridos em cada ensaio.

As tabelas e gráficos apresentados a seguir demonstram o comportamento do fenômeno de resistência à ruptura da linha de colagem quanto ao esforço de cisalhamento e de tração normal da madeira de *Eucalyptus saligna*, bem como a comparação de desempenho entre os ensaios aqui numerados: Ensaio1 x Ensaio2 e Ensaio2 x Ensaio3.

Os resultados de ensaios para cada situação pré-estabelecida foram registrados em tabelas e gráficos por software específico para posterior compilação na forma de tabelas e geração de gráficos para análise e conclusão desses resultados. A norma ABNT 7190 (1997) foi atendida para realização de no mínimo 12 amostras em cada ensaio, sendo estabelecido um maior número que este para experimentação, para que, fossem descartados resultados muito distantes da média em consequência de irregularidades nos procedimentos da própria preparação e acionamento da máquina de ensaios, bem como de amostras com possíveis irregularidades na preparação de linha de colagem (falta de cola em espaços da área / polimerização anterior à prensagem / ruptura fora da linha de colagem por presença de estruturas anatômicas diferenciadas como “alburno” ou “falhas com inclusões celulares” / outros fatores não identificados).

Os itens a seguir apresentam tabelas e gráficos para demonstrar os resultados obtidos nos ensaios de resistência mecânica realizados, bem como as discussões e as observações sobre os mesmos para posteriores conclusões.



#### 4.1 ENSAIOS DE CISALHAMENTO EM SUPERFÍCIES FRESADAS

A Tabela 4.3 apresenta o registro dos valores de resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” (MPa) e o desvio padrão para os três ensaios de ruptura das amostras com superfícies da linha de colagem usinadas por fresamento com as diferentes velocidades de avanço “ $V_f$ ” (m/min) testadas.

Tabela 4.3 – Valores médios de “ $f_{v0}$ ” (MPa) e respectivos desvios padrão para superfícies fresadas.

<b>RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO - FRESAMENTO</b>						
<b>“<math>V_f</math>” (m/min)</b>	<b>Ensaio 1- PU Mono..Validade Vencida</b>		<b>Ensaio 2- PU Mono..Produto na Validade</b>		<b>Ensaio 3- PU Bicomponente</b>	
	<b>“<math>f_{v0}</math>” (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>“<math>f_{v0}</math>” (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>“<math>f_{v0}</math>” (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>6,0</b>	<u>6,19</u>	1,16	<u>8,47</u>	1,71	<u>8,12</u>	1,53
<b>11,0</b>	<u>5,21</u>	0,94	<u>7,34</u>	1,74	<u>10,75</u>	0,99
<b>15,0</b>	<u>3,52</u>	2,05	<u>6,41</u>	1,41	<u>12,62</u>	1,22

Os resultados demonstram claramente resistência a ruptura do adesivo bicomponente (Ensaio 3) em relação ao adesivo monocomponente (Ensaio 2), próxima para a menor velocidade de avanço testada  $V_f=6,0$  m/min e progressivamente bem superior conforme aumentou-se esta velocidade; 46,3% para  $V_f=11$  m/min e 97,2% para  $V_f=15$  m/min.

Também fica bastante evidente o melhor desempenho registrados para o Ensaio 2 em relação ao Ensaio 1 (ambos com adesivos monocomponente), registrando percentuais de melhor resistência de: 35,9%; 41,1% e 81,8% com o aumento das respectivas velocidades de avanço.

Tal fato, muito provavelmente tenha ocorrido em função de que o adesivo com prazo de validade vencido perde sua eficiência de adesão pelo aumento gradual de sua polimerização, tornando-se mais viscoso e, portanto menos aderente.

Os gráficos de barras apresentados nas figuras 4.1 e 4.2 ilustram o comportamento dos valores de resistência registrados com cada velocidade de avanço testada para os três ensaios que indicam os adesivos utilizados, PU monocomponente (Ensaio 1 e Ensaio 2) e PU bicomponente (Ensaio 3). Na sequência apresentam-se os gráficos para comparação de desempenho entre os ensaios aqui numerados: Ensaio1 x Ensaio2 e Ensaio2 x Ensaio3.

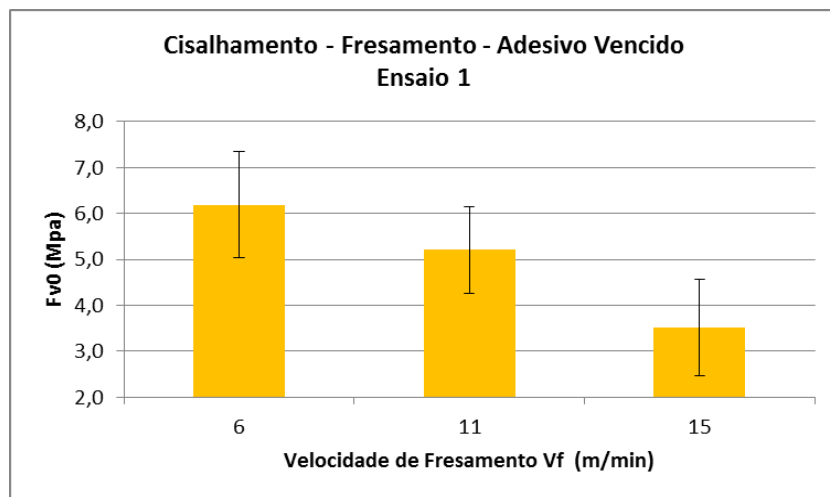


Figura 4.1 – Resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” no Ensaio 1.

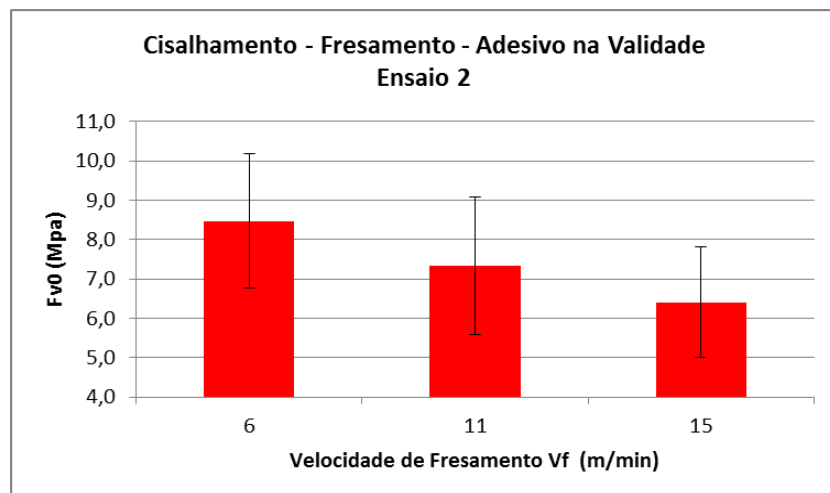


Figura 4.2 – Resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” no Ensaio 2.

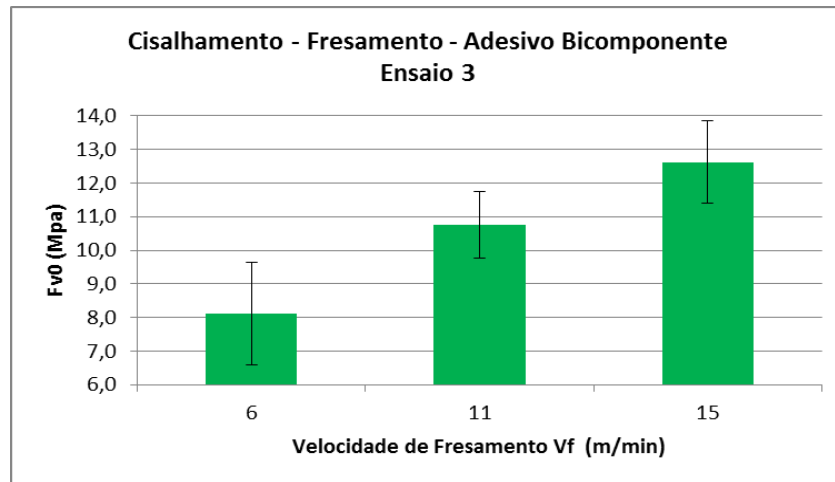


Figura 4.3 – Resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” no Ensaio 3.

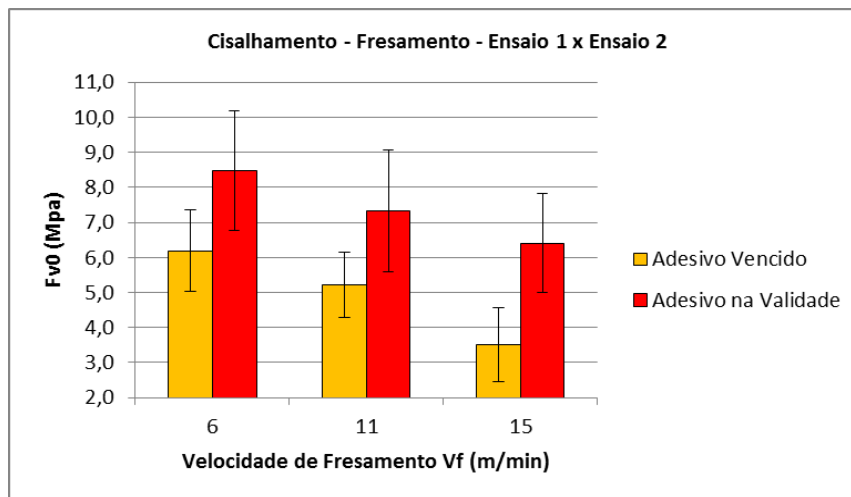


Figura 4.4 – Comparação da resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” entre os ensaios 1 e 2.

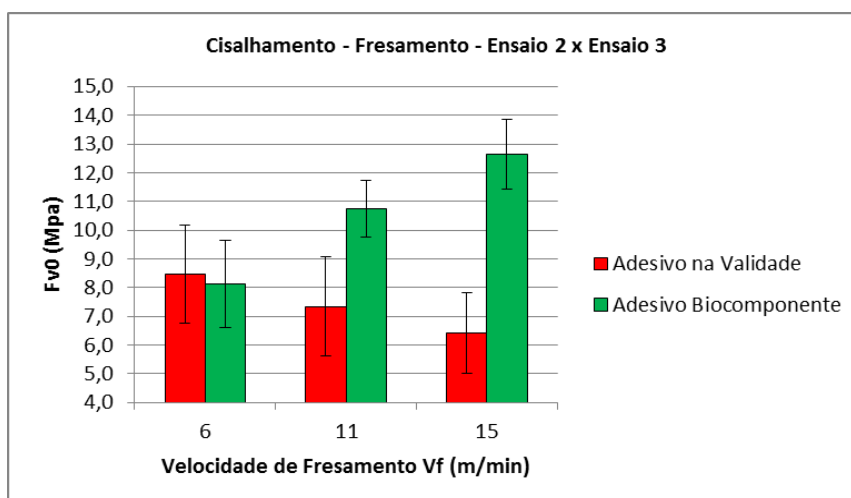


Figura 4.5 – Comparação da resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” entre os ensaios 2 e 3.

## 4.2 ENSAIOS DE CISALHAMENTO EM SUPERFÍCIES LIXADAS

A Tabela 4.4 apresenta o registro dos valores de resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” (MPa) e o desvio padrão para os três ensaios de ruptura das amostras com superfícies da linha de colagem usinadas por lixamento com as diferentes granulometrias de lixas (P80, P100, P120, P150 e P220) testadas.

Tabela 4.4 – Valores médios de “ $f_{v0}$ ” (MPa) e respectivos desvios padrão para superfícies lixadas.

<b>RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO - LIXAMENTO</b>						
<b>Granulometria</b>	<b>Ensaio 1- PU</b> Mono..Validade Vencida		<b>Ensaio 2- PU</b> Mono..Produto na Validade		<b>Ensaio 3- PU</b> Bicomponente	
	“ $f_{v0}$ ” (MPa)	Desvio Padrão	“ $f_{v0}$ ” (MPa)	Desvio Padrão	“ $f_{v0}$ ” (MPa)	Desvio Padrão
<b>P80</b>	<u>6,73</u>	1,06	<u>7,62</u>	1,17	<u>11,90</u>	1,87
<b>P100</b>	<u>5,18</u>	1,66	<u>7,80</u>	1,26	<u>15,23</u>	1,67
<b>P120</b>	<u>5,24</u>	1,40	<u>7,07</u>	1,70	<u>10,67</u>	3,41
<b>P150</b>	<u>4,19</u>	0,98	<u>8,04</u>	1,95	<u>10,97</u>	1,27
<b>P220</b>	<u>3,59</u>	1,59	<u>5,89</u>	1,38	<u>13,54</u>	1,68

Os resultados demonstram ocorrências distintas para cada ensaio. No Ensaio 1, ocorreu um decréscimo gradual e pouco acentuado da resistência da linha de colagem conforme aumentou-se a granulometria da lixa utilizada, totalizando uma redução de 76,6% da lixa P80 para a lixa P220.

Para o Ensaio 2, de mesmo adesivo, tal fato não ocorreu, registrando-se pequenas variações entre as lixas P80 até P180 e um decréscimo da resistência de 29,7% quando empregado a lixa P220.

Da mesma forma, no Ensaio 3, pode-se observar uma pequena variação em função da grana das lixas utilizadas, de forma até um pouco aleatória, no entanto, em média 71,2% superior a resistência constatada no Ensaio 2.

Os gráficos de barras apresentados nas figuras a seguir ilustram o comportamento dos valores de resistência registrados com cada granulometria de lixa testada para os três ensaios que indicam os adesivos utilizados, PU monocomponente (Ensaio 1 e Ensaio 2) e PU bicomponente (Ensaio 3). Na sequência apresentam-se os gráficos para comparação de desempenho entre os ensaios aqui numerados: Ensaio1 x Ensaio2 e Ensaio2 x Ensaio3.

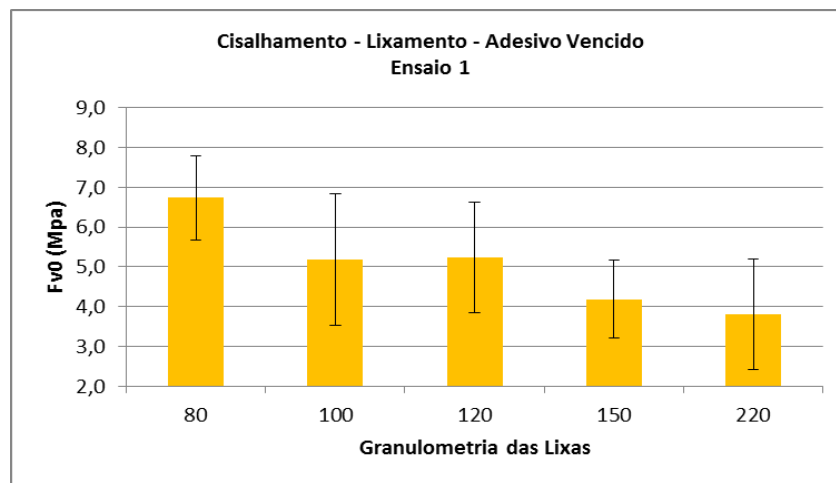


Figura 4.6 – Resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da granulometria de lixa no Ensaio 1.

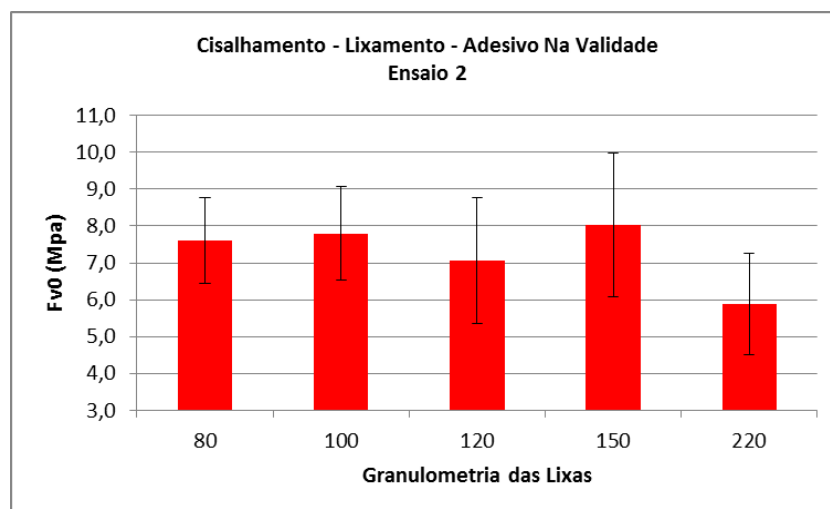


Figura 4.7 – Resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da granulometria de lixa no Ensaio 2.

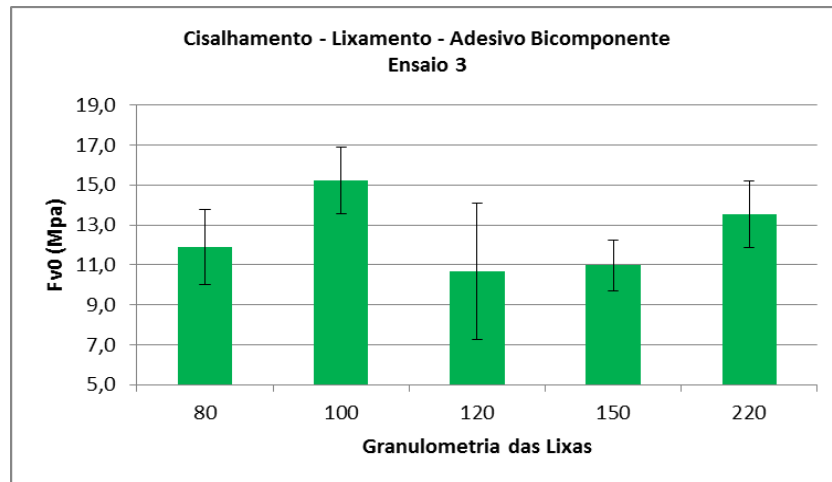


Figura 4.8 – Resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da granulometria de lixa no Ensaio 3.

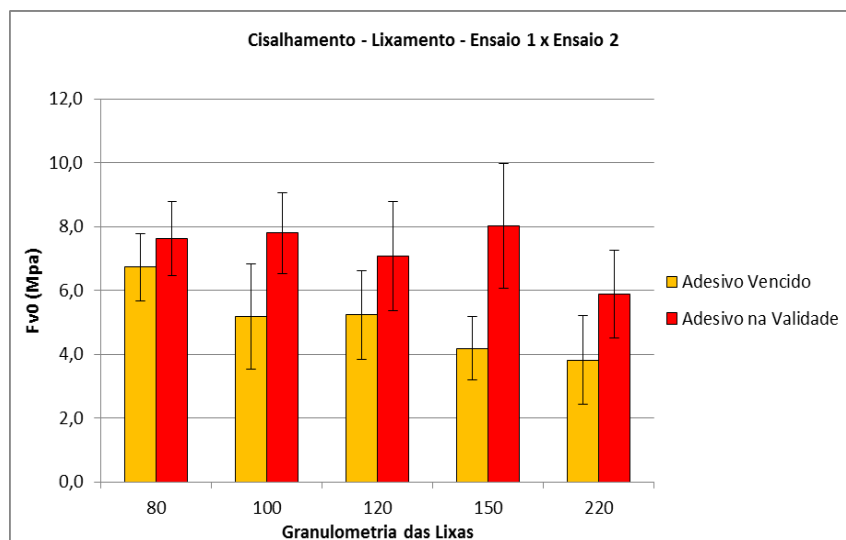


Figura 4.9 – Comparação da resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da granulometria de lixa entre os ensaios 1 e 2.

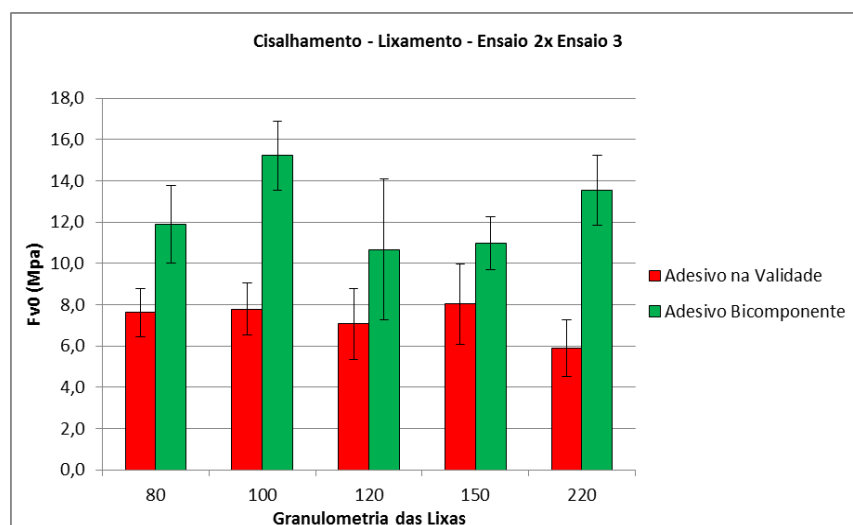


Figura 4.10 – Comparação da resistência ao cisalhamento “ $f_{v0}$ ” em função da granulometria de lixa entre os ensaios 2 e 3.

### 4.3 ENSAIOS DE TRAÇÃO NORMAL EM SUPERFÍCIES FRESADAS

A Tabela 4.5 apresenta o registro dos valores de resistência a tração normal “ $f_{t90}$ ” (MPa) e o desvio padrão para os três ensaios de ruptura das amostras com superfícies da linha de colagem usinadas por fresamento com as diferentes velocidades de avanço “ $V_f$ ” (m/min) testadas.

Tabela 4.5 – Valores médios de “ $f_{t90}$ ” (MPa) e respectivos desvios padrão para superfícies fresadas.

<b>RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NORMAL - FRESAMENTO</b>						
<b>“<math>V_f</math>” (m/min)</b>	<b>Ensaio 1- PU Mono..Validade Vencida</b>		<b>Ensaio 2- PU Mono..Produto na Validade</b>		<b>Ensaio 3- PU Bicomponente</b>	
	<b>“<math>f_{t90}</math>” (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>“<math>f_{t90}</math>” (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>“<math>f_{t90}</math>” (MPa)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>6,0</b>	<u>3,06</u>	1,24	<u>3,65</u>	0,65	<u>2,43</u>	0,73
<b>11,0</b>	<u>2,35</u>	0,70	<u>4,72</u>	0,91	<u>3,54</u>	0,80
<b>15,0</b>	<u>3,08</u>	0,92	<u>4,44</u>	1,12	<u>2,74</u>	0,44

No caso de resistência à tração normal, ao contrário dos resultados de cisalhamento, os resultados demonstram claramente maior resistência a ruptura do adesivo Monocomponente (Ensaio 2) em relação ao adesivo Bicomponente (Ensaio 3), na médias das três velocidades de avanço: 46,9% superior.

Novamente os resultados do Ensaio 2 se apresentaram bem superiores aos registrados no Ensaio 1 (de mesmo adesivo), muito provavelmente pelos mesmos motivos aqui já apresentados.

Os gráficos de barras apresentados nas figuras a seguir ilustram o comportamento dos valores de resistência registrados com cada velocidade de avanço testada para os três ensaios que indicam os adesivos utilizados.

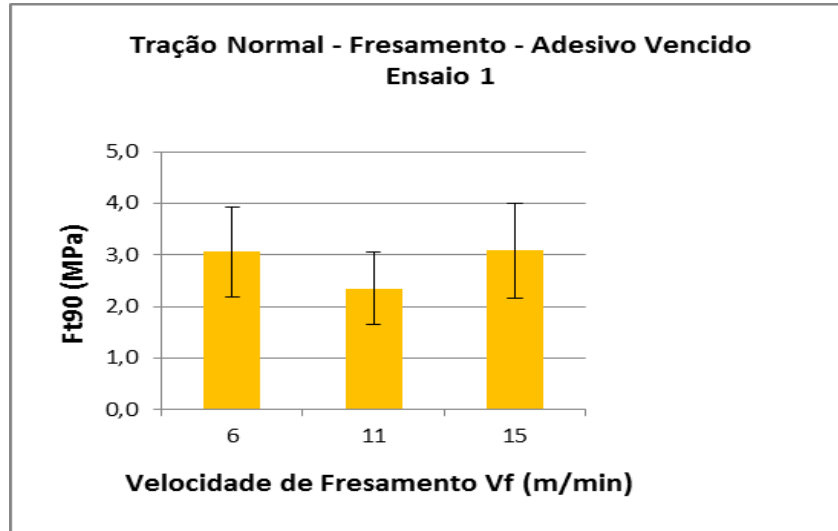


Figura 4.11 – Resistência a tração normal “ $f_{90}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” no Ensaio 1.

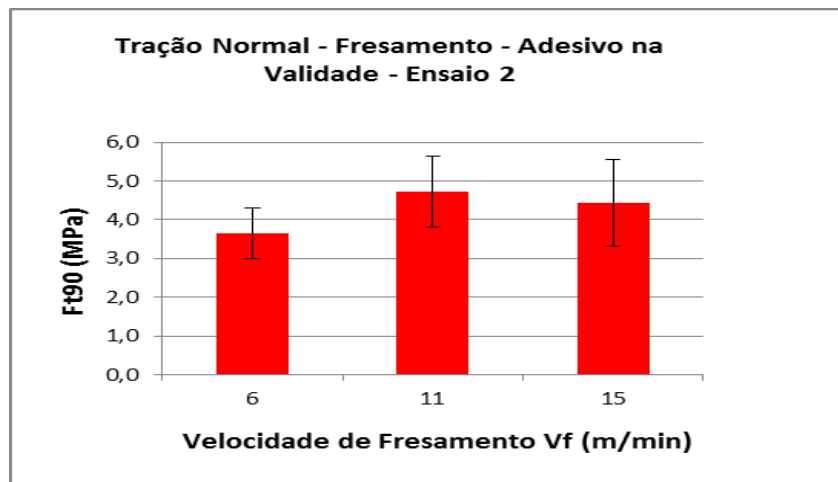


Figura 4.12 – Resistência a tração normal “ $f_{90}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” no Ensaio 2.

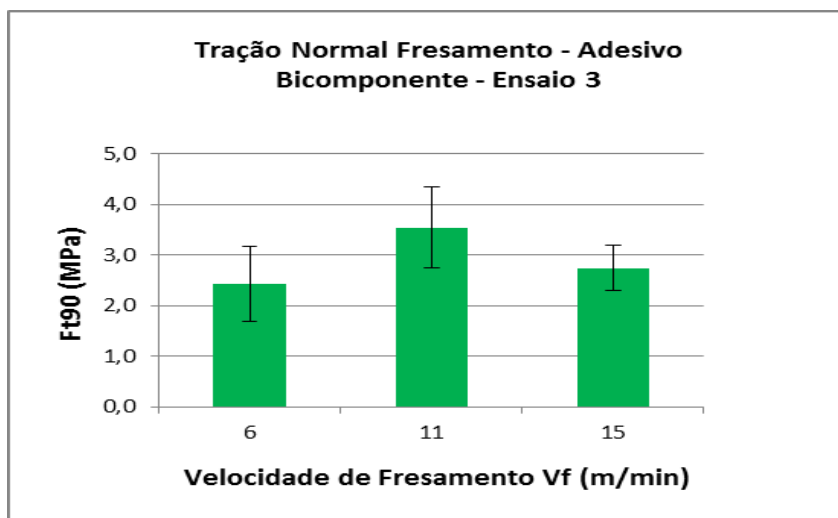


Figura 4.13 – Resistência a tração normal “ $f_{90}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” no Ensaio 3.



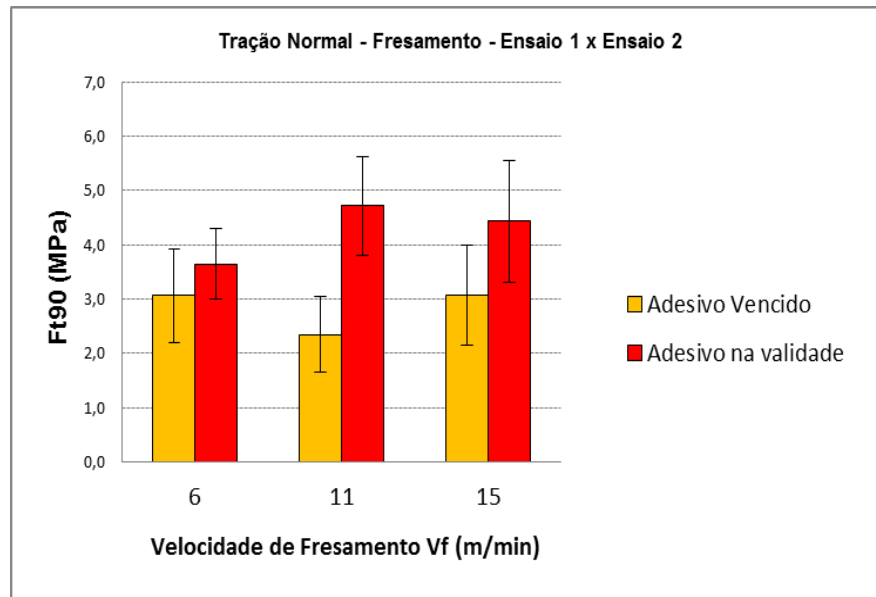


Figura 4.14 – Comparação da resistência à tração normal “ $f_{90}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” entre os ensaios 1 e 2.

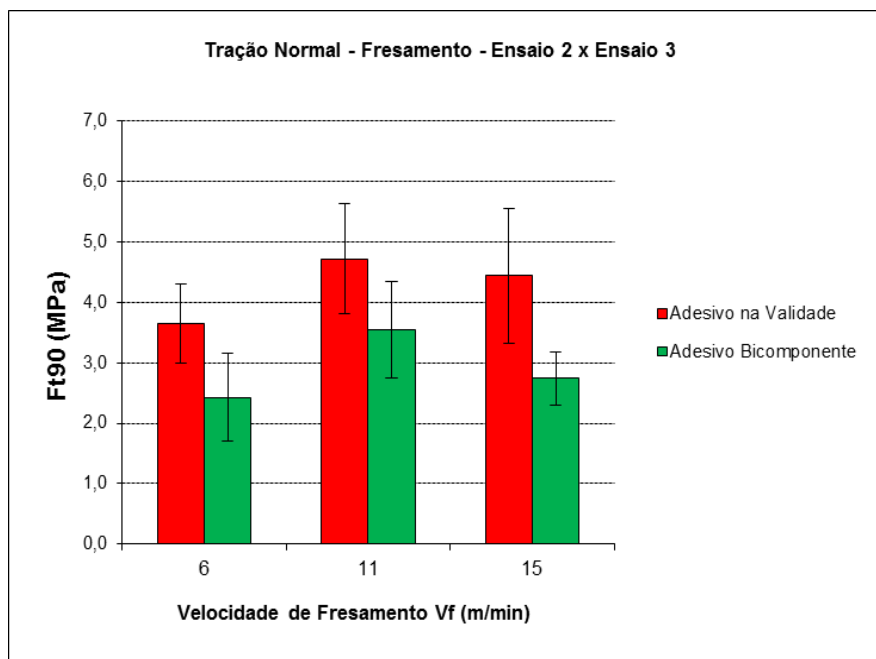


Figura 4.15 – Comparação da resistência à tração normal “ $f_{90}$ ” em função da velocidade de avanço “ $V_f$ ” entre os ensaios 2 e 3.

#### 4.4 ENSAIOS DE TRAÇÃO NORMAL EM SUPERFÍCIES LIXADAS

A Tabela 4.6 apresenta o registro dos valores de resistência a tração normal “ $f_{t90}$ ” (MPa) e o desvio padrão para os três ensaios de ruptura das amostras com superfícies da linha de colagem usinadas por lixamento com as diferentes granulometrias de lixas (P80, P100, P120, P150 e P220) testadas.

Tabela 4.6 – Valores médios de “ $f_{t90}$ ” (MPa) e respectivos desvios padrão para superfícies lixadas.

<b>RESISTÊNCIA A TRAÇÃO NORMAL - LIXAMENTO</b>						
<b>Granulometria</b>	<b>Ensaio 1- PU</b> Mono..Validade Vencida		<b>Ensaio 2- PU</b> Mono..Produto na Validade		<b>Ensaio 3- PU</b> Bicomponente	
	“ $f_{t90}$ ” (MPa)	Desvio Padrão	“ $f_{t90}$ ” (MPa)	Desvio Padrão	“ $f_{t90}$ ” (MPa)	Desvio Padrão
<b>P80</b>	<u>2,53</u>	0,70	<u>3,62</u>	1,02	<u>2,89</u>	0,81
<b>P100</b>	<u>2,12</u>	1,46	<u>3,59</u>	1,29	<u>2,09</u>	0,26
<b>P120</b>	<u>2,90</u>	0,78	<u>3,06</u>	0,71	<u>1,29</u>	0,78
<b>P150</b>	<u>1,36</u>	0,51	<u>1,75</u>	0,44	<u>1,34</u>	0,51
<b>P220</b>	<u>4,08</u>	1,51	<u>3,70</u>	0,38	<u>2,03</u>	0,60

Os resultados demonstram ocorrências distintas para cada ensaio. No Ensaio 1, ocorreu uma variação muito aleatória, sem indicar qualquer tipo de tendência. Sendo que na maioria dos tipos de lixa, tanto no Ensaio 1 quanto no Ensaio 2, apresentou-se resistência superior aos resultados obtidos no Ensaio 3.

Quanto ao tempo de uso do adesivo PU monocomponente, o adesivo do Ensaio 2 (no prazo de validade) apresentou-se em média, aproximadamente 20,9% de resistência superior ao mesmo adesivo empregado no Ensaio 1.

Os gráficos de barras apresentados nas figuras a seguir ilustram o comportamento dos valores de resistência registrados com cada granulometria de lixa testada para os três ensaios que indicam os adesivos utilizados, PU monocomponente (Ensaio 1 e Ensaio 2) e PU bicomponente (Ensaio 3). Na sequência apresentam-se os gráficos para comparação de desempenho entre os ensaios aqui numerados: Ensaio1 x Ensaio2 e Ensaio2 x Ensaio3.

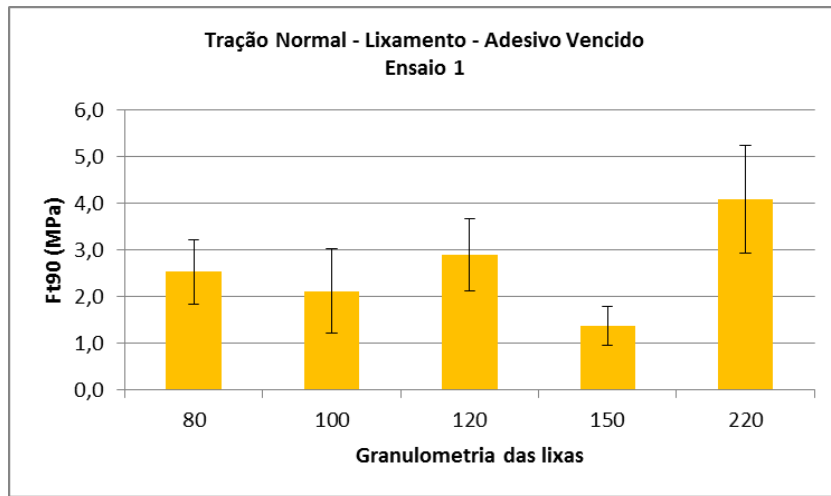


Figura 4.16 – Resistência a tração normal “ $f_{90}$ ” em função da granulometria de lixa no Ensaio 1.

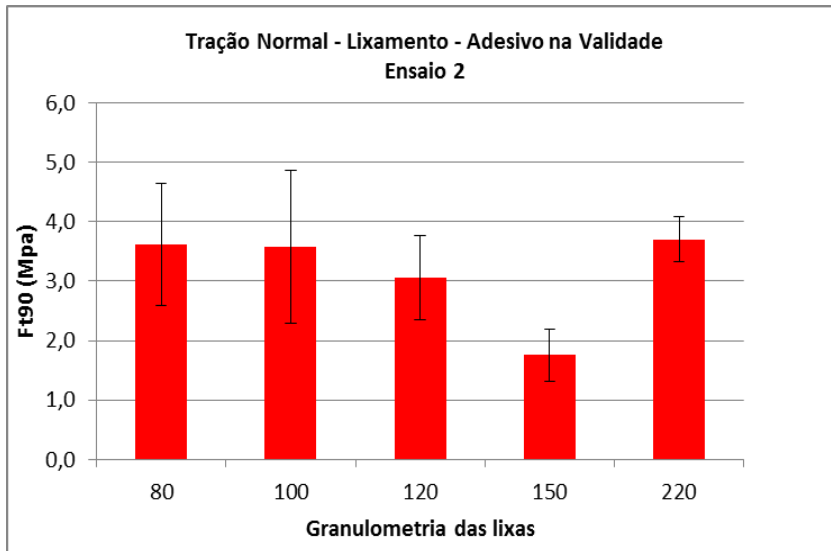


Figura 4.17 – Resistência a tração normal “ $f_{90}$ ” em função da granulometria de lixa no Ensaio 2.

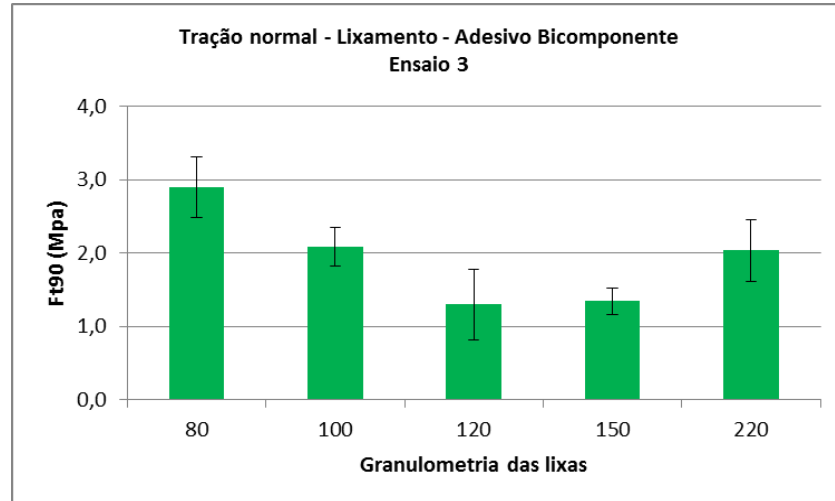


Figura 4.18 – Resistência a tração normal “ $f_{90}$ ” em função da granulometria de lixa no Ensaio 3.

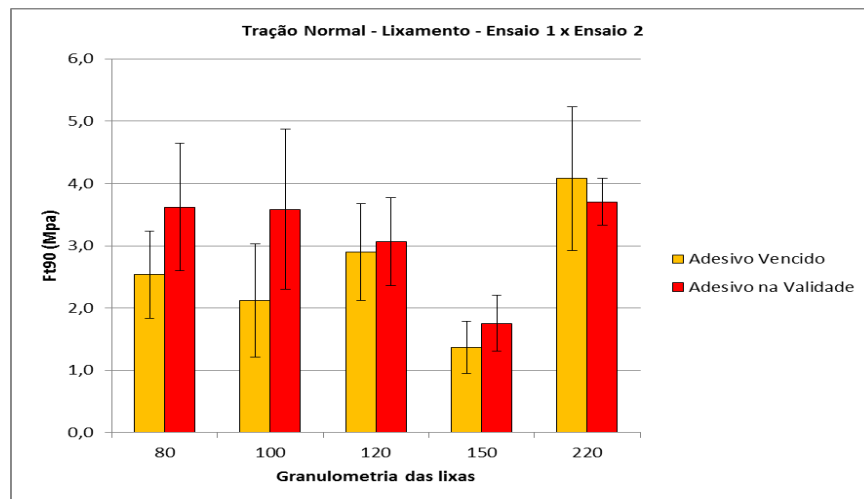


Figura 4.19 – Comparação da resistência a tração normal “ $f_{90}$ ” em função da granulometria de lixa entre os ensaios 1 e 2.

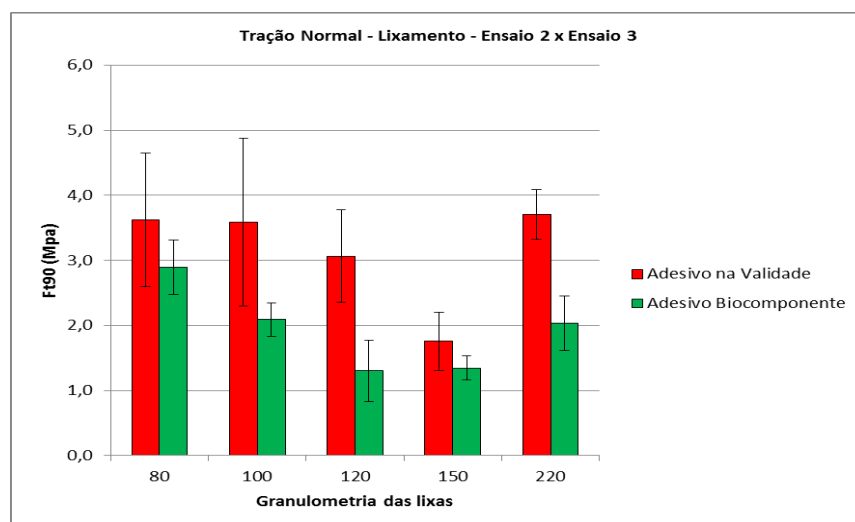


Figura 4.20 – Comparação da resistência a tração normal “ $f_{90}$ ” em função da granulometria de lixa entre os ensaios 2 e 3.

## 5. CONCLUSÕES

### TESTES DE RESISTÊNCIA À RUPTURA POR CISALHAMENTO

#### **Superfícies de linha de cola fresadas**

- Em relação aos adesivos PU monocomponente, empregados nos ensaios 1 e 2 em todas situações testadas, o adesivo dentro do prazo de validade (E2) apresentou ser de melhor eficiência que o adesivo de validade vencida (E1). Sendo para o caso de superfícies fresadas com percentuais de melhor resistência correspondente a: 35,9%; 41,1% e 81,8% para as respectivas velocidades de avanço: 6,0; 11,0 e 15,0 m/min.
- Com relação a comparação dos adesivos PU monocomponente dentro do prazo de validade (E2) e o adesivo PU bicomponente (E3) nas situações testadas, os resultados demonstram claramente resistência a ruptura do adesivo Bicomponente em relação ao adesivo monocomponente, próxima para a menor velocidade de avanço (Vf) testada de 6,0 m/min e progressivamente bem superior conforme aumentou-se a velocidade; 46,3% para 11 m/min e 97,2% para 15 m/min.

#### **Superfícies de linha de cola lixadas**

- Comparando-se os adesivos monocomponente testados nos ensaios 1 e 2, observou-se nitidamente; para o adesivo vencido (Ensaio 1) a maior resistência se deu para as superfícies lixadas por maior grana de lixa (P80) e, esta resistência decresce, quase que linearmente, quando se aumenta a granulometria da lixa de P80 para P220, atingindo uma redução de aproximadamente 53% da resistência na junta colada pelas respectivas lixas.
- Considerando o desempenho do adesivo monocomponente empregado no Ensaio 2; pode-se observar: variação de resistência na linha de cola desprezível entre superfícies de cola lixadas com granas P80, P100 e P120. Aumento significativo de resistência para a lixa P150 (8,04 MPa), aproximadamente 7,0%, em relação à média dessas e, posterior queda na resistência, de aproximadamente 26,0% para superfícies lixadas com P220.

- Em todas as situações de lixamento o adesivo bicomponente (Ensaio 3), proporcionou resistência bem superior na linha de cola, comparado a melhor situação dos testes com adesivo monocomponente. Demonstrando maior resistência de 15,23 MPa para superfícies lixadas com lixa de grana P100 e, em média de 55% mais resistente que o adesivo monocomponente.

## TESTES DE RESISTÊNCIA À RUPTURA POR TRAÇÃO NORMAL

### **Superfícies de linha de cola fresadas**

- Ao contrário dos resultados de cisalhamento, para superfícies usinadas por fresamento, os resultados demonstram claramente maior resistência à ruptura do adesivo monocomponente (E2) em relação ao adesivo bicomponente (E3). Em média o adesivo monocomponente foi 6,5 vezes mais resistente que o adesivo bicomponente. Contrariando aos resultados obtidos para os ensaios de resistência ao cisalhamento na linha de cola.
- Quanto ao tempo de uso do adesivo PU monocomponente, o adesivo do Ensaio 2 (no prazo de validade) apresentou-se em média, aproximadamente 20,9% de resistência superior ao mesmo adesivo empregado no Ensaio 1.

### **Superfícies de linha de cola lixadas**

- Da análise comparativa e pontual dos ensaios 1 e 2, pode-se constatar que; para lixas P80, P100 e P120 houve pouca variação e de forma aleatória nos resultados. Com queda de valor significativa para P120, próxima de 50% e, para P220, aumento acentuado em relação a estes valores, superando em muito aos valores obtidos para menores granas.
- Novamente pode-se registrar, menor eficiência do adesivo bicomponente em relação ao monocomponente, com maior valor de resistência para as lixas de grana P80.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). **NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, 107p, 1997.

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas; **Anuário estatístico da ABRAF 2011 – ano base 2010**. 130p. – Brasília, DF, 2011.

ALVES, P. R. G. **Resistência da linha de colagem em superfícies lixadas da madeira de eucalipto**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1666-87 Standard Method for conducting machining tests of wood and wood base material (reapproved 1994)**. Philadelphia: 1995. p. 226 - 245.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). **NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro, 107p, 1997.

ARNOLD, M. **Planing and sanding of wood surfaces – Effects on surface properties and coating performance**. PRA' 7th International Woodcoatings Congress, Amsterdam, 2010.

BURDURLU, E.; USTA, I.; ULUPINAR, M.; AKSU, B.; ERARSLAN, Ç. The effect of the number of blades and the grain size of abrasives in planing and sanding on the surface roughness of European Black Pine and Lombardy Poplar. **Turkish journal of agriculture and forestry**. Ankara, Turquia, v.29, n. 4, p.315-321, 2005.

BURDURLU, E.; KILIC, Y.; ELIBOL, G.C.; KILIÇ, M. The Shear Strength of Calabrian Pine (*Pinus brutia* Ten.) Bonded with Polyurethane and Polyvinyl Acetate Adhesives. **Journal of Applied Polymer Science** . Ankara, Turquia, v.99, p.3050-3061, 2006.

BURDURLU, E. USTA, I.; Kiliç, Y.; ULUPINAR, M. The effect on shear strength of different surfacing techniques in Oriental beech (*Fagus orientalis Lipsky*) and Scotch pine (*Pinus sylvestris L.*) bonded joints. **Hacettepe University, School of Vocational Technology, Department of Wood Products Industrial Engineering, Beytepe, 06532**. Ankara, Turkey., v. 21, n. 3–4, pp. 319 – 330, 2007.

CARRANO, A. **Quantification of effect of process parameters and their interactions with respect to material removal rate and surface roughness for a wood sanding process in the furniture making industry**. 1997. Thesis (Master in Industrial Engineering Department) – Faculty of North Carolina State University, Raleigh, 1997.

CARRANO, A.L.; TAYLOR, J.B.; LEMASTER, R.L. Parametric characterization of peripheral sanding. **Forest Products Journal**, v.52, n.9, p. 44-50, Set. 2002.

CARRASCO, E.V.M.; BREMER, C.F. Estudo experimental dos elementos estruturais de madeira laminada colada de Eucalipto, In: V Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras, **Anais do V Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras**, p. 559-568, julho, 1995.

CASTRO, E.M.; GONÇALVES, M.T.T. (2000). Estudo do acabamento superficial em chapas MDF usinadas em processo de fresamento. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7., São Carlos. **Anais em CD-ROM**, São Carlos: USP.

CATAI, R. E. **Lixa, lixadeiras e formas de lixamento da madeira**. 2002. 72p. Trabalho apresentado como parte da disciplina “Usinagem da Madeira” no Curso de Pós Graduação em Engenharia Industrial – Faculdade de Engenharia de Bauru – Universidade Estadual Paulista, 2002.

DE CONTI, A. C. **Resistência mecânica de juntas coladas em madeira de *Eucalyptus sp.*** 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 6. ed. São Paulo: Artliber, 2008, 262 p.

FONTIN, A.; CISMARU, I.; SALCA, E. A. Experimental research concerning the Power consumption during the sanding process of birch wood. **ProLigno**, v.4, n. 3, p. 37-45, sep. 2008.

FOLLRICH, J. VAY, O. VEIGEL, S. MÜLLER, U. Bond strength of end-grain joints and its dependence on surface roughness and adhesive spread. **The Japan Wood Research Society**. 2010.

GARCIA, C.H.; MORA, A.L. **A cultura de eucalipto no Brasil**. São Paulo, SP:SBS, 2000.

GOLI, G. et al. Up-milling and down-milling wood with different grain orientations – theoretical background and general appearance of the chips. **Eur. J. Wood Prod.**, pp. 257-263. 2009.

GONÇALVES, M.T.T. (2000). **Processamento da Madeira**. Bauru-SP: Document Center Xerox – USC, 242p., 23,5 cm. Inclui Índice. ISBN 85-901425-1-5.

GURAU, L.; MANSFIELD-WILLIAMS, H.; IRLE, M. The influence of wood anatomy on valuating the roughness of sanded solid wood. **Journal of the Institute of Wood Science**, London, UK, v.17, n. 2, p.65-73, 2005.



GURAU, L.; MANSFIELD-WILLIANS, H.; IRLE, M. Processing roughness of sanded wood surfaces. **European Journal of Wood and Wood Products**, Heidelberg, Berlin, v.63, n.1, p. 43-52, Fev., 2005.

GURAU, L.; MANSFIELD-WILLIANS, H.; IRLE, M. Filtering the roughness of a sanded wood surface. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v.64, p. 363-371, 2006.

GURAU, L.; MANSFIELD-WILLIANS, H.; IRLE, M. Separation of processing roughness from anatomical irregularities and fuzziness to evaluate the effect of grit size on sanded European oak., **Forest Products Journal**. n. 9927, p. 110-115, Set. 2007.

GURAU, L. An objective method to measure and evaluate the quality of sanded wood surfaces. **The Future of Quality Control for Wood & Wood Products, Edinburgh The Final Conference of COST Action E53**. 4-7<sup>th</sup>, 2010.

HENDARTO, B. et al. Analysis of roughness of a sanded wood surface. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. v.28, n. 7-8, p.775-780, Abr., 2006.

HERNÁNDEZ, R. E. Evaluation of four surfacing methods on black spruce wood in relation to poly (vinylacetate) gluing performance. **Society of wood Science and Technology**, v. 43, p. 1-12, 2011.

HIZIROGLU, S. Surface roughness analysis of wood composites: a stylus method. **Forest Products Journal**, v. 46, n.7, p. 62-72. 1996.

HU, C.; AFZAL, M. T. Automatic measurement of wood surface roughness by laser imaging. **Forest Products Journal**, v.55, n.12, p.158-163, 2005.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**, Curitiba: FUPEF, 247p., 2005.

JAVOREK, L.; HIRIC, J.; VACEK, V. The study of chosen parameters during sanding of spruce and beech wood. **ProLigno**, v. 2, n.4, p. 1-11, dec., 2006.

JESUS, J.M.H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada**. Escola de Engenharia de São Carlos. p. 24-28. São Carlo – SP. 2000.

KARTAL, S. N.; AYRILMIS. N. Blockboard with boron-treated veneers: laboratory decay and termite resistance tests. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 55, p. 93-98, 2004.

KILIC, M.; HIZIROGLU, S.; BURDURLU, E. Effect of machining on surface roughness of wood. **Building and environment**. v.41, n.8, p.1074-1078, 2005.

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

LEITE, M.K.; BELINI, U.L.; NOLASCO, A.M.; TOMAZELO M.FO. A Madeira de Reflorestamento como alternativa para indústria de mobiliários, In: 11° Congresso Ibero-latino americano da Madeira na Construção, **Anais do 11° Congresso Ibero-latino americano da Madeira na Construção**, Coimbra, Portugal, 2011.

LEMASTER, R. L.; BEALL, F. C.. The use of an optical profilometer to measure surface roughness in medium density fiberboard. **Forest Products Journal**, v. 46, n. 11-12, p. 73-78. 1996.

LEMASTER, R. L. Development of an optical profilometer and the related advanced signal processing methods for monitoring surface quality of wood machining applications. **Dissertation submitted to the graduate faculty of north carolina state university in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor**. 2004.

LIMA, J.T.; BARAÚNA, E.E.P.; ALTOÉ, T.F.; MONTEIRO, T.C. Avaliação dos Defeitos Causados pela Secagem por Desumidificação na Madeira de *Eucalyptus grandis*, In: XI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras, **Anais do XI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras**, julho, 2008.

LOPES, C. S. D. **Caracterização da madeira de três espécies de eucalipto para uso em movelaria**. Mestrado. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2007.

LOPES, C. S. D.; NOLASCO, A. M.; GONÇALVES, M. T. T. Qualidade da superfície usinada de três espécies de eucalipto. In: 11° ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2008, Londrina. Anais. Londrina: Instituto Brasileiro da Madeira e Estruturas de Madeira, 2008.

MANHÃES, A.P.; **Caracterização da cadeia produtiva do bambu no Brasil abordagem preliminar**. Monografia: Curso de Engenharia Florestal – Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Fevereiro, Seropédica, Rj, 2008.

MARIN, C.P.; AZABUJA, M.A.; DIAS, A.A. Avaliação da influência de adesivos na Resistência de Emendas Dentadas para a Espécie *Pinus hondurensis*, In: 10° Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras, **Anais do 10° Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras**, julho, ISBN – 8586989-07-X, 2006.

MATTOS, J.L.M.; MUNIZ, G.B.; KLOCK, U.; MORESCHI, J.C.; IWAKIRI, S.; KEINERT, S. Jr. **Tecnologia da Madeira**. Curitiba: FUPEF/UFPR, 1994.

MELO, A.V.; CARRASCO, E.V. Análise de Adesivos em Madeira Laminada Colada, In: IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras, **Anais do IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras**, Cuiabá, julho, 2004.

MOURA, F. L.; HERNÁNDEZ, E. R. Effects of abrasive mineral, grit size and feed speed on the quality of sanded surfaces of sugar maple wood. **Wood Science and Technology**, v. 40, n.6, p. 517-530, mar. 2006.

MORI, F.A.; MENDES, L.M.; MORI, C.L.S.O. Avaliação da Qualidade de juntas Coladas da Madeira de Eucalyptus, In: XI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras, **Anais do XI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras**, Londrina, julho, 2008.

NÉRI, A.C.; GONÇALVES, R.; HERNANDEZ, R.F. Forças de corte ortogonal 90-0 em três espécies de madeira de eucalipto. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e Ambiental**, v.3, n°2, p. 239-244. Campina Grande, PB, 1999.

NOGUEIRA, M.C.J.A. **Indicações para o emprego de dezesseis espécies de eucalipto na construção civil**, tese de doutorado, EESC – USP, São Carlos - SP (2002).

OLIVEIRA, S. F. J.; AZAMBUJA, M. A. ; DIAS, A. A. **Análise da viabilidade de aplicação de adesivos alternativos em emenda dentada estrutural para espécie *Eucalyptus grandis***. Anais do 10º Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – EBRAMEM. Brasil - São Pedro/SP. 2006.

OLIVEIRA, J.T.S. Variação Radial da Retratibilidade e Densidade Básica da Madeira de Eucalyptus saligna SM., **Revista Árvore**, v.27, n.3, p.381-385. 2003.

OSTAPIV, F.; Resistência mecânica do material compósito: madeira de eucalipto-lâmina de bambu. 2011. 148 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

PAHLITZSCH, G. The International state of research in the field of wood sanding. **Holz als Roh-und Werkstoff**. v.18, p.330-343, 1970.

PETRAUSKI, S.M.F.C.; ROZIN, E.F.; LAUXEN, F.; PETRAUSKI, A. Influência da área colada sobre a resistência de juntas multilaminadas, In: XI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras, **Anais do XI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras**, Londrina, julho, 2008.

PORANKIEWICZ, B.; WIELOCH, G. Sanding of *fagus silvatica L.* wood perpendicularly to the grains. **BioResources**, North Carolina, USA, v.3, n.3, p.684-700, 2008.

PORANKIEWICZ, B.; BANSKI, A.; WIELOCH, G. Specific resistance and specific intensity of belt sanding of wood. **BioResources**. v. 5, n. 3, p. 1626-1660, 2010.

RATNASINGAM, J.; REID, H. F., PERKINS, M. C. The productivity imperatives in coated abrasives: Application in furniture manufacturing. **Holz als Roh – und Werkstoff**. v. 57, n. 2, p. 117-120, apr. 1999.

RATNASINGAM, J.; REID, H. F., PERKINS, M. C. The abrasive sanding of Rubberwood (*Hevea brasiliensis*): an industrial perspective. **Holz als Roh – und Werkstoff**. v. 60, n. 3, p. 191-196, jun. 2002.

RATNASINGAM, J.; SCHOLZ, F. **Wood sanding process: an optimization perspective**. Kuala Lumpur – Malaysia. Faculty of Forestry, Universiti Putra Malaysia, Fachberich Holztechnik, Fachhochschule Rosenheim, Germany. p. 115, 2004.

RATNASINGAM, J.; SCHOLZ, F. Optimizing the abrasive sanding process of rubberwood (*Hevea brasiliensis*), **Holz als Roh – und Werkstoff**. v62, p. 411–418, oct. 2004.

RATNASINGAM, J.; SCHOLZ, F.; NATTHONDAN, V.; GRAHAM, M. Dustgeneration characteristics of hardwoods during sanding processes. *European Journal of Wood and Wood Products*. v.68, Jan.2010.

RIBEIRO, A.G. Adesivos para Madeira – Visão geral dos produtos encontrados no mercado brasileiro, In: IV Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras, **Anais do IV Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras**, julho, 1992.

SANTIAGO, L. F. F. **Caracterização da influência da velocidade de corte, pressão e granulometria de lixa no lixamento plano do *Pinus elliottii***. 2011. 125f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

SALONI, D. E.; LEMASTER, R. L.; JACKSON, S. D. Abrasive machining process characterization on material removal rate, final surface texture, and Power consumption for Wood. **Forest Products Journal**, v.55, n. 12, p. 35-52, dec. 2005.

SILVA, J. R. M.;BRAGA, R. A. J.; BERNARDES, F. F.;RABELO,G. F.Superfícies usinadas em madeiras de *Eucalyptus spp* qualificadas por metrologia óptica-Laser Ne-He.10º ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA,2006,SãoPedro. **Anais**:Instituto Brasileiro da Madeira e Estruturas de Madeira, 2006.

SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; BRAGA, P. C; TRUGILHO, P. F. **A utilização de rugosímetro na qualificação das superfícies usinadas em madeiras de *Eucalyptus spp.*** 10° ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA. São Pedro. **Anais:** Instituto Brasileiro da Madeira e Estruturas de Madeira, 2006.

STEWART, H. A comparison of factors affecting power for abrasive and knife planing of hardwoods. **Forest Product Journal.** v.24, n.3, p. 31-34, 1974.

SIKLIENKA, M.; OCKAJOVA, A. Analysis of cutting forces during sanding of native wood. *Drevarsky Vyskum/Wood Research*, Eslováquia, v.48, n. 1-2, p.15-21, 2003.

TAYLOR, J. B.; CARRANO, A. L.; LEMASTER, R. L. Quantification of process parameters in a Wood sanding operation. **Forest Products Journal.** v.49, n. 5, p. 41-46, 1999.

TIBURCIO, U. F. O.; RIBEIRO, M. V.; GONÇALVES, M.T.T.; SOUZA, A.J.D. Análise do acabamento superficial na usinagem de madeiras em processos de torneamento e lixamento. **Anais do 10° Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira –EBRAMEM.** Brasil - São Pedro /SP. 2006.

TIBURCIO, U. F. O. **Medição e análise do acabamento superficial da madeira de eucalipto na usinagem de torneamento cilíndrico e lixamento.** 2009. 101f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

TOMAZELLO, M.F.; OLIVEIRA, J.T; **Estimativa de algumas propriedades mecânicas da madeira de sete espécies de eucalipto com potencial de utilização na construção civil,** In: 11° Congresso Ibero-latino americano da Madeira na Construção, **Anais,** Coimbra, Portugal, 2011.

TRUGILHO, P.F.; GOMES, A.F.; ROSADO, A.F.; NEVES, T.A.; COUTO, A.M.; PAULA, L.E.R.; VALLE, M.L.A. Medida indireta das tensões de crescimento na árvore viva de eucaliptos, In: 11° Congresso Ibero-latino americano da Madeira na Construção, **Anais do 11° Congresso Ibero-latino americano da Madeira na Construção,** Coimbra, Portugal, 2011.

VALVERDE, S.R. Plantações de Eucalipto no Brasil. **Revista da Madeira.** Ed. n° 107, set. 2007.

VARANDA, L. D.; ALVES, M. C. S.; GONÇALVES, M. T. T.; SANTIAGO, L. F. F. **A Influência das variáveis do lixamento tubular na qualidade das peças de *Eucalyptus grandis.*** *Cerne*, Suplemento, v.16, p. 23-32, 2010.

VIDAURRE, G.; VITAL B.R.; SILVA, J.C.; OLIVEIRA, J.T.S. Madeira serrada de Eucalipto. **Revista da Madeira**. Ed. n°102, jan. 2007.

WELLONS, J.D., Adhesion to Woody substrates, Oregon State University, **Forest Research Laboratory**, 1997, p. 1115.

ZANUTTINI, R.; CREMONINI, C. Optimization of the test method for determining the bonding quality of core plywood (blockboard). **Materials and Structures**, v. 35, p. 126-132. 2002.

ZERIZER, A.; MANSSERI, A. Usinabilité et qualification des états de surface du chêne zeen algérien (*Quercus Canariensis* Willd). In: INTERNATIONAL WOOD MACHINING SEMINAR IWMS, 14., 1999, Cluny, Epinal, Anais. Cluny, Epinal: v. 12, p.12-19, Set., 1999.