

PAULO ROBERTO GOMES ALVES

RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA EM SUPERFÍCIES LIXADAS DA
MADEIRA DE EUCALIPTO

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

Guaratinguetá
2012

PAULO ROBERTO GOMES ALVES

RESISTÊNCIA DA LINHA DE COLA EM SUPERFÍCIES LIXADAS DA
MADEIRA DE EUCALIPTO

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

Orientador: Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves

Co-Orientador: Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves

Guaratinguetá
2012

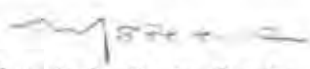
A474r	Alves, Paulo Roberto Gomes Resistência da linha de cola em superfícies lixadas da madeira de eucalipto / Paulo Roberto Gomes Alves – Guaratinguetá : [s.n], 2012. 108 f : il. Bibliografia: f. 92 Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2012. Orientador: Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves Coorientador: Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves 1. Madeira 2. Eucalipto 3. Aspereza de superfície I. Título CDU 674.02(043)
-------	---

PAULO ROBERTO GOMES ALVES

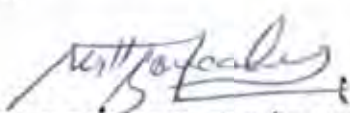
**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA”**

PROGRAMA: ENGENHARIA MECÂNICA
ÁREA: MATERIAIS

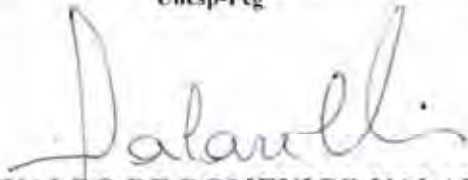
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Marcelo dos Santos Pereira
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. MARCOS TADEU TIBÚRCIO GONÇALVES
Orientador / Unesp-Itapeva


Prof. Dr. MARCOS VALÉRIO RIBEIRO
Unesp-Feg


Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI
Unesp-Bauru

Janeiro de 2012

DADOS CURRICULARES

PAULO ROBERTO GOMES ALVES

NASCIMENTO	02.10.1977 – ITAPEVA / SP
FILIAÇÃO	Hubtemberg Alves Rita de Cássia Gomes
1993/1996	Técnico em Eletrotécnica – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - Itapeva/SP.
1998/2003	Curso de Graduação em Física – Universidade Estadual Paulista Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE), Campus de Rio Claro.
2010/2012	Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, nível de Mestrado, na Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista.

As minhas filhas Tajylla e Lívia, que foram grandes incentivadoras para
que eu continuasse no curso, e à minha esposa Cristiane.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha inteligência, minha família e meus amigos.

Aos meus orientadores, *Prof. Dr. Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves* e *Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves*, que sempre me incentivaram e que sem esta orientação, dedicação e auxílio, o estudo aqui apresentado seria praticamente impossível.

Ao meu pai *Hubtemberg Alves* e a minha mãe *Rita de Cássia Gomes*, pela dedicação na minha educação e formação como cidadão.

Ao técnico de laboratório *Juliano Rodrigo de Brito* do Campus de Itapeva, pela dedicação exemplar.

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

“O estudo em geral, a busca da verdade e
da beleza são domínios em que
nos é consentido ficar
crianças toda a vida”

Albert Einstein

ALVES, P.R.G. **Resistência da linha de cola em superfícies lixadas da madeira de eucalipto**. 2012. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Univ: Estadual Paulista - UNESP, Guaratinguetá 2012.

RESUMO

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 com rugosímetro equipado com uma ponta apalpadora de diamante, de forma cone-esférica, com raio de ponta de 2 μm , 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.

Palavras-chave: Rugosidade, Lixamento, Eucalipto, Adesão.

ALVES, P.R.G. **Resistance of the glue line in sanded surfaces of the wood of *Eucalyptus***. 2012. 108 pages. Dissertation (Masters in Mechanical Engineering) - Faculty of Engineering, Campus of Guaratinguetá, Univ: Estadual Paulista - UNESP, Guaratinguetá 2012.

ABSTRACT

This paper shows studies on machinability of eucalyptus wood battens; main goal is make analysis of resistance bonded joints in relation the quality of machined surface to determine the influence of surface roughness on the adhesion of the bonded surfaces adhesive-based polyvinyl acetate (PVA). Samples *Eucalyptus saligna* wood species were prepared for resistance testing in trials blade glue shear rupture and tensile normal according to NBR 7190. The bonding surfaces were prepared by milling operation employing feed speed of 11.0 m/min and then by the grinding operation using five different grain sizes of sandpaper (grands: 80, 100, 120, 150 and 220). After sanding, the surfaces were subjected to measurements of roughness with roughness equipped with a diamond probe tip of cone-spherical shape, with nose radius of 2 μm , together with surface analysis program. Among the results we can point out the best performances of rupture strength, shear strength for sanded surfaces by sanding the bundles 220, the normal traction surfaces sanded by sanding to 120 cash.

Key words: Roughness, Sanding, Eucalyptus, Adhesion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Painel Blockboard “BB”.(Adaptado de Zanuttini e Cremonini, 2002).....	20
Figura 2.2	Esquema e dimensões do “BB”. (Adaptado de Kartal; Ayırmis, 2004).....	21
Figura 2.3	Orientação da grã e amostra tangencial. (Adaptado de Goli <i>et al</i> , 2009).....	36
Figura 2.4	Ponto de impacto diferente saindo da ferramenta quando discordante ou concordante. Ângulo de trabalho φ_{sup} para a técnica discordante e φ_{Sdown} para a técnica concordante. (Adaptado de Goli <i>et al</i> , 2009).....	36
Figura 2.5	Ângulos relativos entre a inclinação da face e grã no nível máximo de espessura do cavaco quando discordante ou concordante com 0,5 mm e 1,5 mm de profundidade de corte e um diâmetro da ferramenta de 40 mm. (Adaptado de Goli <i>et al</i> , 2009).....	37
Figura 2.6	Representação gráfica de uma superfície, mostrando os picos e vales de cada parte da medição, na determinação do R_y	42
Figura 2.7	Rugosidade média R_a ; y_i é o valor de um pico ou vale (Fonte: NBR 4287).....	46
Figura 2.8	Planos na linha de cola, Tangencial e Radial. (Adaptado de Burdulu <i>et al</i> , 2007).....	51
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.....	54
Figura 3.2	Serra circular multilâminas, empregada para geração de peças na forma de sarrafos.....	54
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 %).....	55
Figura 3.4	Início da marcação das peças para confecção das amostras.....	56
Figura 3.5	Máquinas de usinagem: (a) plaina desempenadeira, (b) plaina Desengrossadeira.....	57
Figura 3.6	“Tupia Moldureira” equipada com alimentador de avanço, utilizada na geração das superfícies de colagem das peças, para posterior lixamento e produção dos CPs.....	58
Figura 3.7	Peças com indicação de anomalias.....	58
Figura 3.8	Lixadeira de cinta de mesa horizontal empregada no lixamento das superfícies.....	59
Figura 3.9	Lixadeira utilizada: a) Conjunto lixadeira e Painel de controle, b) Detalhe: Painel de controle.....	60
Figura 3.10	Lixas utilizadas P80, P100, P120, P150 e P220 (direita para esquerda).....	60

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.....	61
Figura 3.12	Lixamento das amostras: a) Representação esquemática do lixa- mento plano. b) Lixamento das amostras antes da colagem.....	62
Figura 3.13	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.....	63
Figura 3.14	Medição da rugosidade nas superfícies usinadas para composição da linha de cola dos CPs: (a) Ação do apalpador, (b) Detalhe de uma leitura de medição. (media registrada de 1,4 μm).....	63
Figura 3.15	Medição da rugosidade nas superfícies usinadas, vista geral em utilização.....	64
Figura 3.16	a) Tara da balança, b) Pesagem da quantidade de cola. (medida registrada 4,66 g).....	66
Figura 3.17	a) Cola espalhada com a Seringa, b) Cola espalhada com pincel nas duas faces da amostra, c) Amostras sendo coladas e preparadas para prensagem.....	66
Figura 3.18	a) Amostras sendo preparadas para a prensagem, b) Detalhe: Torquímetro utilizado.....	67
Figura 3.19	Amostras sendo prensadas com aplicação de torque de 16 N·m.....	67
Figura 3.20	Prensagem: a) prensagem das amostras, b) Torque aplicado de 16 N·m nas amostras coladas, c) Retirada do excesso de adesivo após prensagem.....	68
Figura 3.21	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.....	68
Figura 3.22	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.....	69
Figura 3.23	Dimensões em centímetros do corpo de prova para ensaio de cisalhamento na lâmina de cola, na direção paralela às fibras. (NBR 7190).....	69
Figura 3.24	Arranjo de ensaio para cisalhamento na lâmina de cola, na direção paralela às fibras, dimensão em mm.. (NBR 7190).....	70
Figura 3.25	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.....	70
Figura 3.26	a) 1ª etapa para gerar o semicírculo dos Cps, b) Detalhe: 1ª etapa da geração dos semicírculos.....	71

Figura 3.27	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 3.28	Corpo de prova para tração da lâmina de cola normal às fibras da madeira laminada colada, dimensões em centímetros. (Fonte: NBR 7190).....	72
Figura 3.29	Arranjo de ensaio para tração da lâmina de cola na direção normal às fibras da madeira laminada colada.....	72
Figura 3.30	Detalhes das medições realizadas nos CPs para submissão aos ensaios mecânicos e cálculo da densidade aparente por CP, Medidas Registradas de: a) 50,21mm CP; b) 30,54 mm; c) 50,06 mm; d) 24,38 mm; e) Média do diâmetro dos semicírculos, Medida registrada de 24,96 mm; f) Balança digital analítica, resolução 0,0001g.....	73
Figura 3.31	Vista geral da máquina de ensaios universal de caracterização mecânica de materiais.....	74
Figura 3.32	CPs sendo preparados para submissão a ensaio de cisalhamento: (a) vista lateral e (b) vista de topo.....	75
Figura 3.33	Ensaio de cisalhamento: (a) CP sendo ensaiado, (b) situação após ensaio, (c) superfícies de linha de cola submetidas à ruptura por cisalhamento.....	75
Figura 3.34	CP preparado para submissão ao ensaio de tração normal.....	76
Figura 3.35	Situações registradas no ensaio de tração normal: (a) CP quando tracionado, (b) CP rompido na linha de cola, (c) partes de um CP rompido.....	76
Figura 4.1	Representação gráfica dos valores da rugosidade “Ra” médio, para diferentes granas de lixa.....	79
Figura 4.2	Resistência ao cisalhamento “ f_{v0} ” para as diferentes granulometrias de lixa.....	81
Figura 4.3	Representação gráfica do comportamento individual dos CPs mostrando a resistência ao cisalhamento “ f_{v0} ” da madeira de <i>Eucalyptus saligna</i> na linha de cola para lixa P220.....	82
Figura 4.4	Relação entre a resistência a tração normal “ f_{t90} ” e a granulometria das lixas.....	86
Figura 4.5	Representação gráfica do comportamento individual dos CPs mostrando a resistência à tração normal “ f_{t90} ” na linha de cola da madeira de <i>Eucalyptus saligna</i> na linha de cola para lixa P120.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Valores médios das grandezas para o cálculo da viscosidade do adesivo.....	65
Tabela 4.1	Medição de “R _a ” - E = medida na direção contrária de corte, S = medida na direção de corte.....	78
Tabela 4.2	Valores médios da rugosidade “Ra” e respectivo desvio padrão.....	79
Tabela 4.3	Resistência ao cisalhamento f_{v0} , rugosidade “Ra” e respectivos desvio padrão.....	80
Tabela 4.4	Resultados da resistência ao cisalhamento da madeira de <i>Eucalyptus saligna</i> na linha de cola (P220).....	82
Tabela 4.5	Resultados de resistência ao cisalhamento “ f_{v0} ” e a rugosidade “Ra” para amostras usinadas com fresa e lixadas.....	83
Tabela 4.6	Resultados de resistência ao cisalhamento “ f_{v0} ” e a rugosidade “Ra” para amostras usinadas com fresa e lixadas com lixa P220.....	84
Tabela 4.7	Resistência à tração f_{t90} , desvio padrão e rugosidade “Ra”.....	85
Tabela 4.8	Resultados da resistência a tração normal da madeira de <i>Eucalyptus saligna</i> na linha de cola (P120).....	86
Tabela 4.9	Resistência a tração normal e rugosidade.....	88
Tabela 4.10	Resultados de resistência à tração normal “ f_{t90} ” e a rugosidade “Ra” para amostras usinadas com fresa e lixadas com lixa P120.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

“EGP”	- Painel Sarrafeado, (Edge Glued Panel)
f_{v0}	- Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras
$F_{v0, max}$	- Máxima força cisalhante aplicada ao corpo de prova, em newtons
“BB”	- Painel Blockboard
C	- Cola Wonderbon 2555
Cis	- Cisalhamento
CP	- Corpo de prova
CPs	- Corpos de prova
C.V.	- Coeficiente de variação (%)
Mad	- Madeira
PVA	- Acetato de polivinil
TN	- Tração Normal
V11	- Velocidade nominal de avanço de 11 m/min

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1.	Relevância e Justificativas do Trabalho.....	17
1.2.	Objetivo.....	17
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1.	Painéis Sarrafeados.....	19
2.2.	Processo de lixamento da madeira.....	21
2.3.	Acabamento superficial e medição da rugosidade da madeira.....	28
2.3.1.	Acabamento superficial.....	28
2.3.2.	Medição da rugosidade da madeira.....	38
2.4.	Resistência na linha de cola da madeira.....	46
3.	METODOLOGIA.....	53
3.1.	Origem da madeira para experimentação.....	53
3.2.	Preparação inicial das amostras para submissão aos ensaios.....	56
3.2.1.	Amostras com indicação de anomalias.....	58
3.3.	Lixamento das amostras para ensaios de caracterização mecânica.....	59
3.4.	Medição de “Ra” para as superfícies usinadas de cada grana de lixa.....	62
3.5.	Adesivo empregado na confecção das juntas.....	64
3.6.	Preparação das amostras para submissão aos ensaios.....	68
3.7.	Ensaio de resistência mecânica.....	74
3.7.1.	Ensaio de resistência ao cisalhamento.....	75
3.7.2.	Ensaio de resistência à tração normal.....	76
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	77
4.1.	Rugosidade da superfície usinada.....	77
4.2.	Rugosidade das superfícies lixadas.....	78
4.3.	Ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola.....	80
4.3.1.	Resistência da linha de cola em função do acabamento superficial.....	80
4.3.2.	Ensaio de cisalhamento na linha de cola para CPs com lixa P220.....	81
4.3.3.	Comparação entre superfícies usinadas com fresa e lixadas.....	83
4.3.4.	Comparação entre superfícies usinadas com fresa e lixadas com lixa P220.....	84
4.4.	Ensaio de resistência à tração normal na linha de cola.....	85
4.4.1.	Resistência da linha de cola em função do acabamento superficial.....	85
4.4.2.	Ensaio de tração na linha de cola para CPs com lixa P120.....	86
4.4.3.	Comparação entre superfícies usinadas com fresa e lixadas.....	88
4.4.4.	Comparação entre superfícies usinadas com fresa e lixadas com lixa P120.....	89
5.	CONCLUSÕES.....	90
	REFERÊNCIAS.....	92
	APÊNDICES: A, B e C.....	98

1. INTRODUÇÃO

Painéis denominados de Compensado Sarrafeado, “EGP” (Edge Glued Panel) ou “BB” (Blockboard) são painéis com miolo composto de sarrafos e as capas com lâminas de madeira. É caracterizado conceitualmente como painel de 5 camadas, tendo em vista que há uma camada de “transição” constituída de lâminas coladas perpendicularmente aos sarrafos e as lâminas das capas com a grã no sentido paralelo aos sarrafos. A principal vantagem do compensado sarrafeado é a maior resistência do painel à flexão estática no sentido paralelo ao seu comprimento. Os compensados sarrafeados são utilizados principalmente para fabricação de móveis. Em resumo: é um painel fabricado com a parte central constituída de sarrafos, que são colados lateralmente e revestidos com lâminas, formando capa e contracapa. A lâmina da contracapa funciona como camada de transição, com a grã no sentido perpendicular ao miolo e, finalmente, a lâmina da capa, de melhor qualidade, com a grã no sentido paralelo dos sarrafos que compõem o miolo. A diferença dos painéis que são denominados por “EGP”, é de não ter o revestimento com lâminas formando a capa e contracapa.

Todo material possui uma superfície, sempre caracterizada por uma determinada textura e rugosidade superficial, que são dependentes do processo de fabricação envolvido, da natureza do próprio material, ou uma combinação dos dois. De acordo com a aplicação do produto final, a qualidade superficial torna-se uma característica de controle extremamente importante. Atualmente não existem diretrizes práticas definitivas estabelecidas ou procedimentos de análise e de quantificação. Assim, a avaliação destes resultados deve ser realizada segundo um estudo estatístico detalhado, para que as comparações entre superfícies obtidas em operações de parâmetros distintos possam ser realizadas com maior precisão. Um dos principais problemas que ocorre com a madeira serrada de eucalipto é que, ao crescer, acumula tensões internas em sua estrutura anatômica. A madeira ao ser serrada libera parte destas tensões, induzindo o material a apresentar defeitos. Somado a este efeito, o eucalipto tem uma considerável instabilidade dimensional quanto à retração e ao inchamento. Assim, é

necessário o uso de técnicas e tecnologias adequadas para poder usar peças serradas de eucalipto.

Dos resultados a serem 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 das 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 do tipo polivinil acetato, resistente a umidade (PVA), 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), então recompor estas unidades padronizadas em painéis sarrafeados colados lateralmente. Estes painéis têm suas ripas com tensões internas parcialmente aliviadas, e podem ser produzidos com um bom arranjo de união dos sarrafos, tendo 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 atual 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 o material, com que velocidades e avanços, qual a influência da orientação dos anéis de crescimento nos sarrafos na composição de painéis mais estáveis, qual a influência do adesivo, etc. Muitas destas questões estão sendo equacionadas e estudadas por pesquisadores da UNESP no Campus de Itapeva-SP. Neste sentido, o presente trabalho visa contribuir para com uma das etapas desse processo de desenvolvimento científico, qual seja: 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, monocomponente, à base de Acetato de Polivinila. Para tanto, foram realizados testes de resistência mecânica no plano da lâmina de cola quando submetidas a esforços de cisalhamento paralelo às fibras e à tração na direção perpendicular às fibras, para amostras preparadas com superfícies de colagem submetidas a processo de lixamento com lixas de diferentes granulometrias.

1.2. Objetivo

O presente trabalho de pesquisa tem 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, monocomponente, à base de Acetato de Polivinila. Para tanto, foi realizado testes de resistência mecânica no plano da lâmina de cola quando submetidas a esforços de cisalhamento paralelo às fibras e à tração na direção perpendicular às fibras, para amostras preparadas com superfícies de colagem submetidas a processo de lixamento com lixas de diferentes granulometrias.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A qualidade superficial é utilizada como uma ferramenta para o estudo da usinabilidade dos materiais. Nos ensaios, os parâmetros de usinagem podem ser variados, e as melhores qualidades superficiais obtidas determinam quais são as características ideais para esse processamento (LEMASTER; BEALL, 1996). Segundo Hiziroglu (1996), foi desenvolvido um trabalho árduo para a avaliação da rugosidade de madeiras e materiais compostos de madeira. Entretanto, atualmente não existem diretrizes práticas definitivas estabelecidas ou procedimentos de análise e de quantificação. Para a obtenção desses valores de rugosidade são utilizados vários tipos de sistemas de medição, no qual o autor classifica a técnica de apalpamento como de alta resolução, porém com as seguintes desvantagens: baixa velocidade, método de contato, análise bidimensional, pode usinar a superfície, insensível a fibras individuais e expostas. Apesar da existência de técnicas mais sofisticadas, Hiziroglu conclui que este método pode ser efetivamente utilizado para quantificar a qualidade superficial de compostos de madeira. A ASTM D1666-87 (1988), apresenta uma metodologia padronizada para a realização de testes de usinagem de madeira e de materiais à base de madeira, visando uma classificação visual da qualidade superficial. Este texto normativo contribui com informações importantes, tais como: forma de amostragem e dimensões dos corpos de prova, parâmetros de usinagem, dados sobre as ferramentas e cuidados a serem tomados. No entanto, a referida norma não indica métodos e procedimentos para quantificar a qualidade superficial de madeiras, principalmente no que diz respeito a superfícies submetidas a junções por meio de adesivo. 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 em que se emprega este material, especialmente se a madeira for usada como elemento estrutural ou como componente de mobiliário, (VIDAURRE, 2007). Ou seja, como declarou Matos *et al* (1994) e Gonçalves (2000), o desenvolvimento de tecnologia para aproveitar costaneiras e materiais refugados para produzir peças menores na produção de painéis sarrafeados, racionaliza o processo produtivo da indústria de madeira serrada.

A revisão bibliográfica encontra-se separada em quatro assuntos principais, quais sejam: o primeiro refere-se aos painéis sarrafeados, o segundo ao processo de

lixamento da madeira, terceiro sobre o acabamento superficial e medição da rugosidade da madeira e por último a resistência na linha de cola da madeira.

2.1. Painéis Sarrafeados

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 de esta forma 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 UE, 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. O objetivo deste trabalho foi de contribuir para a criação de um método para avaliar objetivamente a propriedade acima como bem para alcançar o processo de produção mais eficiente de se controlar. Para tal, as metodologias de ensaio principal, e em especial os que estão painéis de madeira maciça (prEN 13354), colagem (EN 392) e madeira compensada (EN 314) foram avaliados. O ensaio de cisalhamento pareceu ser o mais significativo. Em Figura 2.1 ilustração do painel “BB”.



Figura 2.1– Painel Blockboard “BB”. (Adaptado de Zanuttini e Cremonini, 2002)

Para Kartal e Ayirmis (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 macia colocado de ponta a ponta e prensado entre lâminas de madeira de lei, sendo todos colados sob alta pressão. As aplicações típicas dos sarrafeados “BB”, ilustrado suas dimensões em Figura 2.2, estão em fabricação de móveis, centro e costas dos 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”.

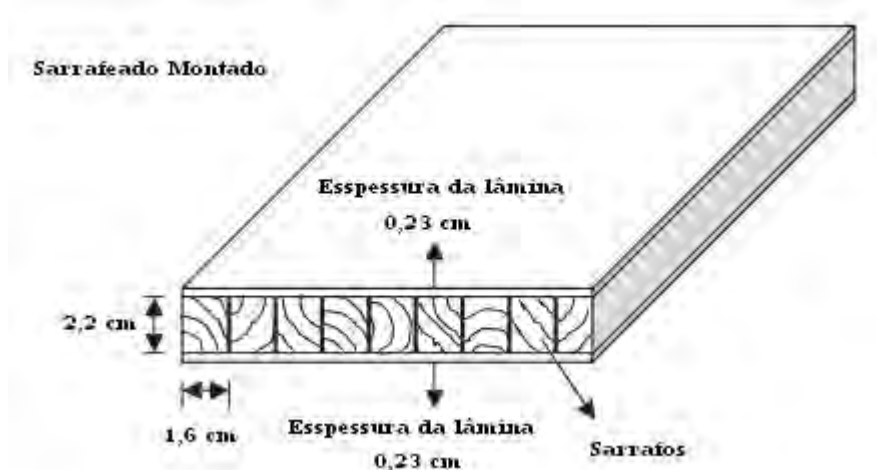


Figura 2.2 – Esquema e dimensões do “BB”. (Adaptado de Kartal; Ayilirmis, 2004)

2.2. Processo de Lixamento da Madeira

Franz e Hinken¹ (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.

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

¹FRANZ, 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.

aumenta. Adicionalmente, eles observaram que a rugosidade não teve um comportamento previsível e/ou uma tendência específica para concluir uma tendência significativa para ambas as espécies e combinações de abrasivos estudados. Apesar de considerar o trabalho dos autores anteriores como processo de lixamento da madeira, algumas pesquisas adicionais necessitam ser realizada para a definição do relacionamento entre diferentes variáveis durante o processo de lixamento incluindo a espécie de madeira, pressão, tipo de abrasivo, tamanho de grãos, além dos efeitos na taxa de remoção de material, rugosidade e consumo de energia. A indústria da madeira requer conhecimentos adicionais das variáveis que afetam o processo de lixamento e a importância relativa das variáveis no processo.

Saloni *et al* (2005) em revisão bibliográfica com o objetivo de caracterizar o processo de lixamento da madeira pela taxa de material removido e consumo de energia, neste trabalho os autores relatam vários estudos e conclusões sobre os mesmos, como aqui descritos.

Os processos de lixamento são difíceis de serem analisados e caracterizados por causa dos diversos tipos de equipamentos e variadas granulometrias de lixas disponíveis. Dois parâmetros são de grande importância na operação de lixamento: um é a quantidade do material removido durante o processo, chamado taxa de material removido (MMR, pol^3/min ou m^3/min). O outro é a qualidade do acabamento superficial, parcialmente medido a partir da raiz quadrada da média dos picos e vales (R_q) e geralmente expresso em micro polegadas (μin) ou micrometros (μm). A indústria moveleira, embora não seja uma grande consumidora de energia, deve ser considerada. Dentre os processos de processamento da madeira, o lixamento geralmente consome muita energia. Importantes pesquisas foram realizadas sobre o processo de lixamento da madeira, porém, a maioria dos projetos de pesquisas foi realizada há muitos anos e o processo de lixamento tem melhorado desde então.

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. Para avaliar corretamente o tratamento da rugosidade, as medições de irregularidades da superfície dado a anatomia da madeira, devem ser excluídas. Neste artigo, os

autores investigaram os efeitos da anatomia da madeira sobre os parâmetros da rugosidade das espécies “oak” e “spruce”, após o lixamento com lixa de granulometria 120. A anatomia da madeira é excluída do perfil da rugosidade usando um método desenvolvido por Gurau em 2004. O total de parâmetros de rugosidade, que contêm tanto a irregularidade do processamento quanto a anatomia da madeira, foi comparado com os parâmetros de rugosidade do processamento. O efeito da anatomia aumentou as medidas de rugosidade, em especial para a espécie “oak”.

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. Neste artigo, a eficácia de um conjunto de filtros padrão foi examinada para ver se eles estavam aptos para madeiras das espécies “oak”, “beech” e “spruce” com superfícies lixadas por lixas de granulometria 1000. Filtros nos padrões atuais apresentaram distorções, mas um filtro “Gaussiano Rígido”, seguindo um projeto normalizado, foi utilizado para apresentar rugosidade de perfis livre de distorções. A rugosidade processada e a rugosidade anatômica, contidas no perfil filtrado, foram separadas com um algoritmo com base em um ponto inicial definido em relação à curva do material. Prosseguiu-se o trabalho comparando as propriedades de diferentes granulometrias de lixa e combinações de espécies.

Gurau *et al* 2006, em trabalho intitulado “Filtering the roughness of a sanded wood surface” investigaram a influência do comprimento do “cut-off” do filtro em parâmetros de rugosidade da madeira lixada, quando a superfície é filtrada com um filtro do tipo “Gaussian Regression”. Este filtro deve levar a perfis da rugosidade livre de distorções se o comprimento da interrupção é selecionado corretamente. Para as lixas de tamanhos de grão entre 120 e 180, que precedem geralmente aplicações do revestimento, um valor de uma interrupção de 2,5 milímetros foi tido como apropriado. Entretanto, um processamento mais fino com granulometria 1000 exigiu comprimentos maiores da interrupção para superar o efeito de distorções.

Segundo Saloni² (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 lixamento, através de equações matemáticas é de difícil caracterização, devido às variáveis aleatórias que envolvem o processo como os materiais abrasivos, equipamentos e a madeira. Tem-se no processo de lixamento variáveis controladas e não controladas, as controladas são aquelas relacionadas ao material usinado e ao processo, onde por sua variabilidade característica são difíceis de serem dimensionadas e influenciaram no resultado final, é necessário executar o experimento com máxima aleatoriedade para distribuição dessas influências, essas variáveis podem ser do material madeira ser anisotrópico, variação de densidade entre outros. As variáveis controladas influenciam no processo de lixamento, é possível estipular seus valores e mantê-los fixos em determinadas faixas verificando sua influência no resultado final; as variáveis controladas são a umidade da madeira, pressão aplicada, velocidade de corte, velocidade de alimentação, tipo de abrasivo, granulometria do abrasivo, entre outros. 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,

²SALONI, 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.

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.

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. Resultados que se confirmaram por

Saloni *et al* (2005).

Foram avaliados por Moura e Hernández (2006) 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 carbeto de silício comparado ao abrasivo óxido de alumínio. Mas, a superfície usinada com óxido de alumínio apresentou menor tempo de absorção de líquidos comparado com carbeto de silício, sendo uma vantagem no tempo de absorção de revestimento segundo esses autores.

- 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 consequentemente 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 irão 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).

O grau de acabamento superficial e a intensidade de queima da superfície durante o lixamento perpendicular às fibras no plano transversal (direção 90-90) da madeira de *Fagus silvatica* foi verificado por (PORANKIEWICZ; WIELOCH, 2008). Vários parâmetros de usinagem foram examinados, como: rotação do disco de lixa; granulometria das lixas; pressão de lixamento; espessura e largura da espécie de

madeira. O objetivo dos autores desta pesquisa foi definir os melhores agrupamentos entre os parâmetros de usinagem a fim de evitar as marcas de combustão na área de contato entre a lixa e a superfície da madeira.

Varanda *et al* (2010) investigaram o processo de lixamento por ser muito requisitado em diversas etapas da industrialização da madeira, onde há a necessidade de um acabamento superficial de melhor qualidade. 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 e gerou maior emissão acústica dentre as quatro velocidades analisadas. Quanto à vibração, a menor velocidade de corte (19,5 m/s) gerou maior vibração na lixadeira. 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.

Arnold (2010) pesquisou o desempenho geral da madeira revestida depende da interação equilibrada dos três principais componentes do sistema, quais sejam: material, revestimento de madeira, e a aplicação do revestimento. Além de aplainamento convencional e lixamento, uma técnica de aplainamento novo usando facas dentadas para conseguir superfícies finamente estruturadas foi explorada. A técnica de aplainamento nova com uma faca dentada levou a superfícies de alta qualidade com aderência e desempenho do revestimento. Efeitos geralmente negativos foram evidentes se ferramentas de usinagem sem corte foram utilizados. Concluiu que a técnica de aplainamento investigado usando facas dentadas novas para alcançar finamente superfícies estruturadas levou a superfícies de alta qualidade. Danos nas células muito pouco foi detectada na camada superficial. Enquanto a rugosidade foi semelhante ao convencional de superfícies aplainadas. Aderência e desempenho do revestimento foram excelentes com facas afiadas recentemente, mas diminuiu consideravelmente com facas sem corte. Assim, esta técnica poderia servir para melhorar o processo de usinagem e aplainamento da superfície para madeira maciça. Apesar das relações observadas em geral, as previsões do comportamento de específicas combinações de tratamentos são, portanto, limitados e têm de ser confirmados por testes.

2.3. Acabamento superficial e medição da rugosidade da madeira

No levantamento bibliográfico efetuado verificou-se existência de poucos trabalhos na área sobre acabamento superficial e medição da rugosidade da madeira, especificados em subitens a seguir: 2.3.1 e 2.3.2.

2.3.1. Acabamento superficial

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. A taxa de avanço mostrou significância para a espécie “white oak” e “eastern white pine” e a velocidade de lixamento só foi estatisticamente importante para “white oak”. Os parâmetros de rugosidade que foram sensíveis às condições de usinagem foram: “ R_a ”, “ R_q ”, e “ R_z ”, enquanto os parâmetros “ R_{sk} ” e “ R_{ku} ” não apresentaram resultados mensuráveis.

Hiziroglu (2004) avaliou a rugosidade das chapas de partículas produzidas comercialmente. Os painéis de chapas de partículas fabricados a partir de “Loblolly pine” (*Pinus taeda L.*) foram utilizados para os experimentos. As medições da rugosidade foram tomadas a partir da superfície das espécies utilizando o método de apalpamento. Três parâmetros de rugosidade, ou seja, média de rugosidade “ R_a ”, média da altura pico-a-vale (R_z) e rugosidades máximas (R_{max}) foram considerados para determinar a qualidade superficial das amostras. Com base nos resultados deste estudo, verificou-se que não houve diferença significativa entre as medições de rugosidade realizadas a partir de superfície ao longo dos painéis e por meio das marcas da lixa. A variação nos valores dos parâmetros de rugosidade dentro e entre os tipos de painel está dentro da gama esperadas e comparáveis às de outros painéis de partículas fabricados comercialmente. Estes valores podem ser utilizados como uma ferramenta para melhorar a qualidade da superfície dos painéis, quer a partir da modificação das propriedades da matéria-prima ou dos parâmetros de fabricação, tais como pressão ou o conteúdo de resina.

Gurau *et al* (2005) em pesquisa, investigaram que para qualquer avaliação quantitativa de uma superfície lixada exige que os dados sejam filtrados para remover erros de forma e ondulação. As superfícies de madeira contêm irregularidades devidas tanto ao processo de lixamento e da anatomia, de modo que a rugosidade anatômica devidamente avaliada. A eficácia de um número de filtros padrões foi examinada para ver se são apropriados para as superfícies do “oak”, “beech” e “spruce”, lixados com P 1000. Filtros neste padrão introduziram distorções, mas o filtro Gaussiano Robusto, contido em norma, mostrou dar um perfil livre de distorções. A rugosidade de usinagem e de anatomia, contidos no perfil filtrado, foram separadas com um algoritmo baseado no limiar definido de uma curva de taxa de um material. O trabalho continuou para comparar as propriedades dos diferentes tamanhos de grão e combinações de espécies. Concluíram que o filtro Gaussiano Robusto no projeto padrão ISO / DTS 16610-31 (2002) evita essas limitações e oferece um método confiável de obtenção de um perfil de rugosidade. Sobre a rugosidade, foram avaliados por Burdurlu *et al* (2005), empregando madeira das espécies “Lombardy poplar” (*Populus nigra L.*) e “European black pine” (*Pinus nigra A.*). Um total de 220 amostras de dimensões 20x20x20 mm foi preparado, sendo 100 amostras para ensaio de lixamento e 120 amostras para ensaios de aplainamento. Para os dois ensaios, foram testadas as direções de corte radial e tangencial. No aplainamento empregaram-se as velocidades de avanço de 5,0 e 9,0 m/min para o corte com 2; 3 ou 4 facas montadas no cabeçote e, no lixamento empregaram-se os seguintes tamanhos de grãos abrasivos: 60; 80; 120; 180 e 220. Depois de usinadas para os dois processos, as amostras foram submetidas a medições de rugosidade segundo a EN ISO 4288 TS 6212, para se determinarem os valores da rugosidade “Ra”. Os valores obtidos foram analisados estatisticamente e os resultados foram interpretados. Os melhores resultados da rugosidade da superfície lixada foram obtidos com a lixa 180 sobre superfícies de corte tangencial para “Lombardy poplar” e com a lixa 220 sobre superfícies de corte tangencial para “European black pine”. Na superfície aplainada, o melhor resultado foi obtido no corte tangencial com 2 lâminas e avanço de 5,0 m/min para ambas as espécies. Considerando que a qualidade superficial de compósitos de madeira, tais como painel de fibras e painel de partículas, desempenham importante papel quando

utilizados como substrato para aplicações de revestimentos, quaisquer irregularidades na superfície do painel podem aparecer, mesmo que com aplicação de revestimento, reduzindo a qualidade do produto final. Portanto, é importante quantificar a rugosidade das chapas com um método objetivo, a fim de garantir certa qualidade do revestimento do painel.

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.

Moura e Hernández (2006) consideram que lixar é uma prática comum necessária para se preparar as superfícies da madeira para aplicação de revestimentos e que, pouca literatura se encontra disponível considerando o efeito dos parâmetros de lixamento sobre a qualidade das superfícies. Neste trabalho, foram avaliadas as superfícies de madeira da espécie “Sugar maple” em amostras que tinham sido lixadas usando dois tipos de minerais abrasivos (carbeto de silício e óxido de alumínio), três tamanhos de grãos (100; 120 e 150) e quatro velocidades de avanço (8; 10; 12 e 14 m/min). Os parâmetros de rugosidade, os danos causados na superfície e as propriedades de umedecimento das superfícies lixadas foram avaliados para mensurar a qualidade superficial. No lixamento com granulometrias 100 e 120, ambos abrasivos diminuíram o parâmetro de rugosidade em relação à madeira não lixada, bem como os danos superficiais. Utilizando o tamanho de grão 150, não foi observada melhoria significativa da rugosidade, enquanto que os danos superficiais ainda foram reduzidos.

Com o aumento da velocidade de avanço obteve-se superfícies grosseiras devido ao aumento do desfibramento das células superficiais. Superfícies produzidas com lixas à base de carbeto de silício apresentaram um acabamento mais suave do que o obtido com lixas a base de óxido de alumínio.

Um estudo para avaliar o efeito de diferentes técnicas de usinagem sobre a rugosidade da madeira serrada foi desenvolvido por Kilic, Hiziroglu e Burdurlu (2006), para as espécies “Beech” (*Fagus orientalis*) e “Aspen” (*Populus tremula*). A rugosidade das amostras foi medida empregando rugosímetro tipo apalpador, para 4 tipos de superfícies, sendo: somente serrada, somente aplainada e lixada para granulometrias de 60 e 80, de ambas as espécies. Neste trabalho foram utilizados os seguintes parâmetros para determinar as características das superfícies das amostras: R_a , R_z , R_k , R_{pk} e R_{vk} . Com base nos resultados da análise estatística, medições realizadas a partir da superfície nas direções tangencial e radial de ambas as espécies, não apresentaram diferença significativa numa mesma condição de usinagem, num nível de confiança de 95%. No entanto, houve diferença estatística significativa de rugosidade entre as duas espécies experimentadas, quando comparadas às quatro maneiras diferentes de usinagem, para ambas as orientações das fibras. Este estudo sugere que o método de apalpamento pode ser utilizado com sucesso para avaliar e distinguir variações na superfície de madeira, devido à orientação das fibras no aplainamento e lixamento. Os dados gerados por este estudo podem ser utilizados como uma ferramenta de controle de qualidade para demais processos, como acabamento ou colagem da madeira para as duas espécies. Considerando que os compósitos de madeira contêm irregularidades na sua superfície devido ao processo de lixamento, cuja qualidade superficial tem um papel importante quando são utilizados como substrato para revestimentos.

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. Concluíram que; através da verificação das dificuldades surgidas, o presente trabalho contribui para adequar uma metodologia aos ensaios de análise do acabamento superficial. Nesse sentido, concluiu-se: 1) o módulo experimental empregado mostrou-se adequado tendo em vista tratar-se de equipamento utilizado pela indústria madeireira, permitindo assim analisar os resultados baseados em dados reais; 2) observou-se a necessidade da elaboração de um modelo estatístico, aumentando o número de coleta de dados para cada situação de ensaio com o objetivo de dar maior precisão nos resultados tendo em vista tratar-se de material heterogêneo; 3) Para se dar maior precisão nos resultados, sugere-se a aplicação de análise micrográfica das imagens e posterior comparação dos resultados.

Lopes (2007) em sua pesquisa de mestrado teve por objetivo analisar os aspectos estéticos, físicos, mecânicos e de qualidade da superfície usinada da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus dunnii* aos 18 anos, objetivando sua aplicação na indústria moveleira. Foram coletadas três árvores de cada espécie da Estação Experimental de Ciências Florestais (EECF) da ESALQ/USP, localizada em Anhembi-SP. Os ensaios de massa específica aparente, densidade básica, variação dimensional e, módulos de ruptura e elasticidade foram realizados de acordo com a NBR 7190/96. Para análise de qualidade da superfície usinada foram avaliados 48 corpos de prova de cada espécie, aplainados com sete diferentes velocidades de avanço, e 3 leituras em cada corpo de prova, em diferentes posições, com rugosímetro. Foram realizadas análise de variância e testes de médias para cada parâmetro avaliado. Em seguida, executaram-se as correlações de Pearson entre resultados dos diferentes ensaios. Dos resultados obtidos, concluiu-se que as três espécies estudadas apresentam características compatíveis para uso na indústria moveleira, com diferentes aplicações; a madeira de *Eucalyptus urophylla* apresentou o

melhor desempenho em relação à maioria dos parâmetros analisados, o que indica a possibilidade de sua aplicação em grande parte dos componentes de um móvel; o *Eucalyptus grandis* apresentou restrições quanto ao uso estrutural e altos valores de coeficiente de variação nos resultados; o *Eucalyptus dunnei* apresentou maior retratibilidade e pior desempenho em relação à qualidade da superfície usinada, qualificando-se dentre as três espécies estudadas menos indicada para uso em movelaria; as três espécies apresentaram importantes variações das características físicas ao longo do raio; os melhores resultados em relação à qualidade da superfície usinada foram obtidos com baixa velocidade de avanço; pela análise descritiva, os parâmetros de densidade e massa específica aparente são bons indicadores de estabilidade dimensional, desempenho mecânico e qualidade de superfície usinada; os resultados obtidos nas análises e da bibliografia apontam uma alta variabilidade tecnológica da madeira das três espécies de eucalipto, recomendando a seleção e usos da madeira de clones. Este trabalho procurou estudar as principais características técnicas da madeira das três espécies de eucalipto para a produção de componentes de móveis, com o objetivo de viabilizar a sua melhor utilização nesse segmento industrial. As características estudadas foram: as estéticas, físicas, mecânicas, e de qualidade da superfície usinada.

Com o objetivo de fornecer dados técnicos para o melhor aproveitamento da madeira de eucalipto na produção de móveis, Lopes *et al* (2008) determinou a qualidade da superfície usinada das madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus dunnei* e *Eucalyptus urophylla* extraídas com 18 anos de idade. Para cada espécie, foram confeccionados 48 corpos de prova com dimensões nominais de 100 x 2,5 x 5 cm, e climatizados a 12% de umidade. A usinagem foi realizada em fresadora de eixo vertical com cabeçote de fresa com faca de aço rápido, com o auxílio de controlador de avanço empregou-se 7 diferentes velocidades de avanço: 3; 4; 6; 8; 11; 15 e 22 m/min. As superfícies das amostras foram usinadas na direção paralela às fibras (90-0). Para medição da rugosidade foi empregado um rugosímetro Taylor Robson modelo Surtronic 3+, adotando-se o parâmetro de leitura de rugosidade “Ra”. O *Eucalyptus urophylla* apresentou os melhores resultados, ou menores valores de “Ra” para a maioria das velocidades: 3; 6; 8; 15 e 22 m/min, o *Eucalyptus dunnei* apresentou os

piores para as velocidades 3; 4; 6 e 8 m/min, e o *Eucalyptus grandis* apresentou comportamento mediano, sendo que para 3; 8 e 11 m/min não houve diferença significativa entre as médias.

Goli *et al* (2009) pesquisaram o fresamento periférico da madeira com corte discordante e concordante, (existem dois métodos de fresar, o discordante “up-milling” e o concordante “down-milling”), 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, a fresagem 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.

Embora, muito perto da repetição da máquina depois de 10 cortes de 0,05 mm, o erro absoluto ainda pode ser considerado igual a 0,05 mm. Isto conduz a cavacos muito finos e um processo muito próximo de lixar em vez de tornear, e por consequência uma superfície de referência muito lisa. Na realidade, processando a 0.1mm de profundidade de corte já resulta em defeitos de superfície, que ao processar contra a grã, propagando abaixo da superfície que resulta em uma superfície de referência ruim. O corte final (0,5 mm ou 1,5 mm) foi feito no mesmo ciclo de funcionamento para reduzir erros de posicionamento como possível e minimizar o jogo da máquina. O corpo de prova era usinado ao longo e através da grã, variando a orientação da grã em passos de 10° para 10° . Descrever a orientação da grã com respeito à lâmina, um sistema proposto por McKenzie ($\Omega-\Phi$) onde era usado Ω é o ângulo entre a grã e o corte e a extremidade cortante e Φ o ângulo entre a grã e o vetor de velocidade de corte. O ângulo Ω foi mantido constante em 90° enquanto Φ era variado. Quando $\Phi = 0^\circ$ processado ao longo da grã, inclinando a grã conduz a processar com ($0 < \Phi < 90$) ou oposto ($0 > \Phi > -90$) a grã (ver Fig. 2.3). As amostras eram processadas perto uma da outra o quanto possível para minimizar a variabilidade da madeira, e com a grã direita orientando a tábua.

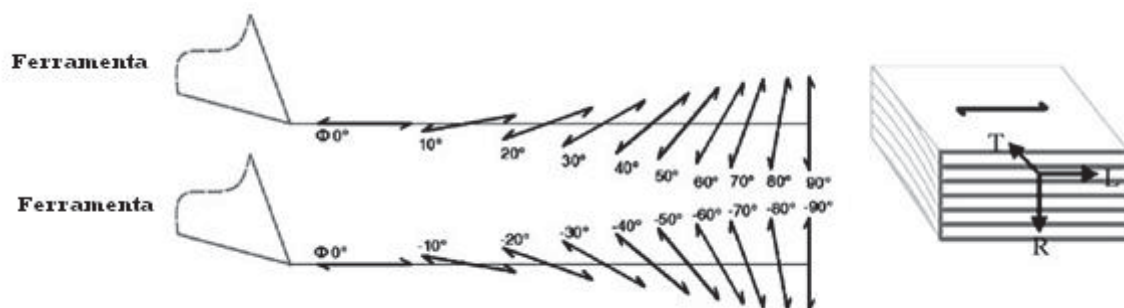


Figura 2.3 - Orientação da grã e amostra tangencial. (Adaptado de Goli *et al*, 2009)

Quando discordante, embora o cavaco seja mais longo, resultando menos uso da ferramenta está devido à última parte do cavaco que normalmente é rasgado em vez de ser cortado, e por causa do começo ser progressivo em lugar do abrupto corte.

Estas diferenças entre as duas técnicas são principalmente designado às geometrias cortantes diferentes. Quando discordante, o corte começa à parte mais fina do cavaco (ponto o em Figura 2.4), enquanto o concordante começa à parte mais grossa (ponto b em Figura 2.4). Além disso, há mudanças, na orientação relativa da lâmina, em relação à grã, para o corte discordante e concordante.

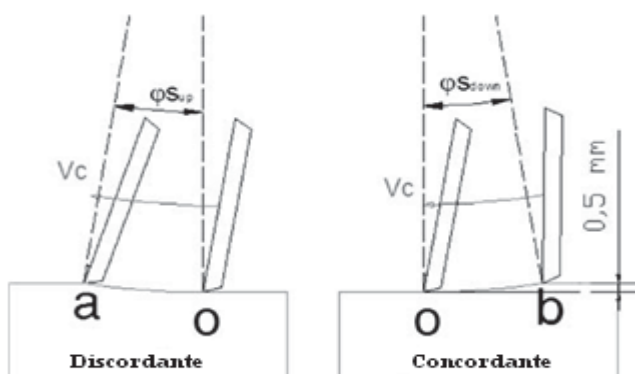


Figura 2.4 - Ponto de impacto diferente saindo da ferramenta quando discordante ou concordante. Ângulo de trabalho ϕ_{Sup} para a técnica discordante e ϕ_{Sdown} para a técnica concordante. (Adaptado de Goli *et al*, 2009)

Na realidade no corte discordante a ferramenta de corte caminha ao longo do arco oa enquanto que no concordante está ao longo de bo do arco (veja Figura 2.4). Em discordante as densidades de cavaco máximas são obtidas mesmo perto do ponto (a), considerando que está perto do ponto (b) quando concordante. Dado que a rotação da ferramenta durante o corte é o trabalho do ângulo (ϕs) pode ser dito que (ver Figura 2.5): durante um corte, discordante ou concordante, entre a mínima densidade de cavaco e a densidade máxima de cavaco a ferramenta tem uma rotação de ϕs .

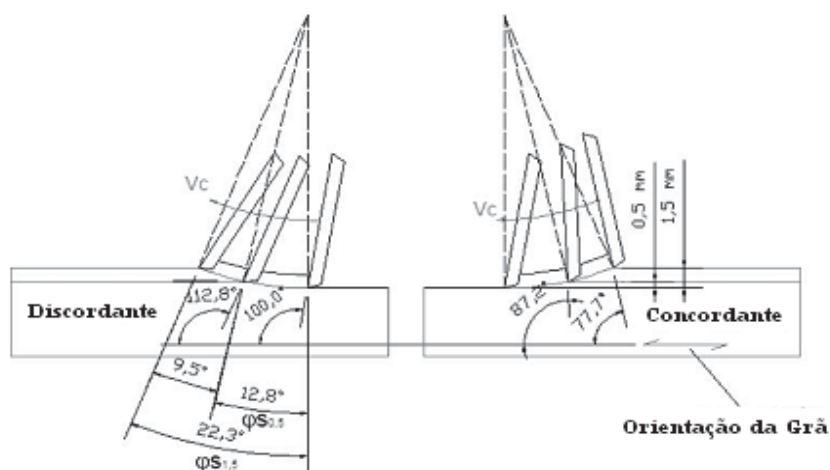


Figura 2.5 - Ângulos relativos entre a inclinação da face e grã no nível máximo de espessura do cavaco quando discordante ou concordante com 0,5 mm e 1,5 mm de profundidade de corte e um diâmetro da ferramenta de 40 mm. (Adaptado de Goli *et al*, 2009)

O movimento da ferramenta que, corte discordante “UM”, sai da superfície e arranca as fibras, e em concordante “DM” vai para a superfície, pressionando as fibras, parece ser uma influência mais significativa sobre a superfície final, quando “UM” que “DM”. O resultado destas condições é que em vez de conduzir às mudanças relevantes no status de superfície, corte discordante ou corte concordante traz mudanças relevantes nas forças de corte e tipos de cavacos, em particular é o seguinte:

- a qualidade final será estritamente dependente da orientação absoluta da grã (Φ_a) que determina a orientação da grã perto da superfície formanda;
- os tipos de cavacos e as forças de corte dependerá principalmente sobre a orientação relativa da grã (Φ_r) porque isso vai ser a nível da orientação da grã na espessura do cavaco.

Gurau (2010) apresentou uma revisão de um método desenvolvido para superfícies de madeira com acabamento que abrange a escolha do tipo de instrumento, a resolução de medição, o comprimento mínimo de avaliação, aspectos da filtragem e separação entre o processo de cálculo da rugosidade e irregularidades anatômicas. Em comparação com estudos anteriores na literatura, parâmetro de cálculo da rugosidade neste estudo excluiu a influência da anatomia da madeira e representam referências objetivas para a qualidade do lixamento. O método foi testado em diversas variáveis de lixas, mas foram utilizadas neste trabalho para avaliar a influência do tamanho de grão

sobre a qualidade do “European oak” (*Quercus robur L.*) lixadas com P120, P150, P180, P240 e P1000. O tamanho do grão medido com o método acima teve uma influência clara sobre a rugosidade, quanto mais fina foram os grãos, mais suave ficou a superfície. Valores de rugosidade foram bastante próximos, para P120, P150 e P180 e muito menores com P240 e P1000. Isso indica que para o “oak” não é econômico de ter se uma sequência de operações de lixamento na aplicação do grão fino. O método pode ainda ser usado para avaliar parâmetros de rugosidade para diferentes combinações de variáveis de lixas para aperfeiçoar o processo de lixamento. Para este tipo de madeira, a utilização de lixas com grãos próximos não resultou em grande diferença de rugosidade. A rugosidade representa as finas irregularidades da superfície causadas pelo processo de usinagem. No entanto, o perfil analisado não é feito somente pelos dados da rugosidade, mas também por "erros" de forma (anatomia) e ondulações que não fazem parte do processo. Esses itens podem ser excluídos da rugosidade. Concluíram para todos os valores de rugosidade foram sensíveis a mudança de tamanho de grão. Porém para as lixas P120, P150 e P180 não se mostrou viável economicamente realizar este processo, porque os valores da rugosidade “Ra” ficaram muito próximos. Isso para a espécie de “oak”. No entanto, acabamento com lixamento de granulometrias P120, P150 e P180 produziu valores muito próximos da rugosidade para o “oak”. Isto indica que para o “oak” não é econômico ter uma sequência de operações de lixamento no domínio de tamanhos de grão fino. O método pode ainda ser usado para avaliar parâmetros de rugosidade para diferentes combinações de variáveis no lixamento para aperfeiçoar o processo de lixamento.

2.3.2. Medição da rugosidade da madeira

Stumbo³ (1963) apud Lemaster (2004) em uma discussão de textura da superfície e métodos de medição, se referiu ao trabalho que mostrou que um ser humano poderia detectar variações na textura da superfície com 0,5 μm e às vezes até tão pequenas

³STUMBO, D., 1963. Surface texture measurement methods. Forest Prod. J. 13(7):299-304 apud Lemaster, R. L. Development of an optical profilometer and the related advanced signal processing methods for monitoring surface quality of wood machining applications. a dissertation submitted to the graduate Faculty of North Carolina State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of doctor. 2004.

quanto 0,1 μm (4 μin). Stumbo também discutiu o trabalho que mostrou que o olho humano pode detectar uma variação na textura da superfície 1,0 μm .

Zavarin *et al*⁴ (1991) apud Tibúrcio (2009) analisaram a superfície da madeira “White fir” determinando o índice de refração luminosa de sua superfície, empregando o método de espectroscopia no infravermelho. A profundidade de penetração da luz na madeira foi calculada em 0,13 a 2,15 μm , dependendo do comprimento de onda da luz, do ângulo de incidência e do índice de refração do prisma usado. Estes autores verificaram que a relação sinal/ruído poderia ser aumentada submetendo a madeira a esforços por compressão ou lixando sua superfície com lixa fina.

De acordo com Sander e Reichard, citados Bet⁵ (1999) apud Silva *et al* (2006b) os desvios que podem ocorrer ao longo de uma superfície são classificados como de 1º, 2º, 3º e 4º ordens. O desvio de 1º ordem está relacionado à forma da superfície da madeira (planicidade, cilindricidade e retilinicidade). O desvio de 2º ordem está relacionado às ondulações da superfície usinada da madeira. E os desvios de 3º e 4º ordens estão relacionados à rugosidade da superfície usinada da madeira e são originados do processo de formação do cavaco, forma da ferramenta e avanço ou profundidade de corte. Dessa forma a análise de rugosidade torna-se necessária para qualificar de maneira precisa a superfície usinada da madeira.

Siqueira *et al* (2003), nesta pesquisa teve como objetivo o levantamento bibliográfico das principais metodologias existentes utilizadas para medição de estado de superfície da madeira. O trabalho mostra a importância da medição da superfície da madeira usinada e suas dificuldades, apontando diversas técnicas de medição, entre as

⁴ZAVARIN,E.; COOLL,G.; JONESS,J. Analysis of solid wood surfaces by internal reflection Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR-IRS). **Journal of Wood Chemistry and Technology**, v.11, n.1, p.41-56,Mar., 1991. 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.

⁵BET. L. (1999). **Estudo da medição da textura de superfícies com sondas mecânicas e com sondas ópticas tipo seguidor**. Florianópolis, 243f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). - Universidade Federal de Santa Catarina.apud 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 SP. 10º ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA. Anais: Instituto Brasileiro da Madeira e Estruturas de Madeira, 2006.

quais, o uso de diversos tipos de rugosímetro, a técnica da calorimetria e a análise de imagens digitais.

Lemaster (2004) em pesquisa, sobre a rugosidade e sua topografia são propriedades dos materiais de engenharia importantes para o desempenho funcional, medir quantitativamente a qualidade do produto pode ser usado como uma medida de desempenho do processo. Textura da superfície pode ser causada pela natureza do material em si, um processo de fabricação aplicada ao material, ou uma combinação de ambos. As características de processamento que afetam a textura da superfície incluem: imprecisão na máquina-ferramenta, deformação sob força de corte, ferramenta ou peça, a vibração, da geometria da ação de corte durante a formação de cavacos e efeitos do tratamento térmico. Características da madeira que podem afetar a textura da superfície incluem: espécies de madeira, densidade, teor de umidade, e direção de corte. Na maioria dos casos, no entanto, o acabamento da superfície não foi totalmente explorado nas áreas de monitoramento de processos, qualidade e previsão de desempenho. Atualmente, novas técnicas de medição e métodos do sinal de processamento de torná-lo viável para dar um novo olhar sobre os meios disponíveis para a medição e avaliação da rugosidade. O grau de rugosidade, muitas vezes afeta a maneira como o próprio material é usado. O monitoramento das irregularidades da superfície em madeira é, no entanto, importante para assegurar o ajuste apropriado das peças usinadas para a colagem, acabamento de superfície aceitável para móveis, e como uma metodologia para controlar a precisão do processo de fabricação. A última razão se tornou ainda mais importante nos últimos anos devido ao aumento do custo de matérias-primas, o aumento dos custos de produção, e as velocidades mais altas de produção disponíveis. Qualquer desvio na qualidade do produto esperado pode rapidamente causar perdas econômicas significativas. O sistema de medição óptico perfilômetro de superfície, discutidas neste artigo tem sido eficazes para a identificação de defeitos de superfície, incluindo ondulação de superfície, fendas “grã fuzzy”, e marcas de abrasivos (lixa). A pesquisa descrita envolveu o desenvolvimento de, perfilômetro óptico que pode medir consistentemente o estado de um processo de fabricação por monitoramento da qualidade da superfície. Monitoramento da qualidade da superfície de um processo de usinagem é cada vez mais importante como as

velocidades de usinagem, o custo da matéria-prima e trabalho, todos continuam a aumentar. Todas as alterações detectadas na qualidade do processo de usinagem podem causar um impacto significativo na economia do processo. Houve um grande esforço de investigação que se centrou na avaliação da qualidade da superfície para madeira e materiais derivados de madeira.

Um sistema de captação de imagens a laser foi desenvolvido por Hu e Afzal (2005), com o objetivo de determinar a rugosidade da madeira de forma automática e sem contato, utilizando-se de uma função bidimensional pelo modelo Gaussiano. Os resultados mostraram que o sistema de processamento de imagem é eficaz e adequado para a determinação da rugosidade da madeira da espécie “Japanese beech”. O estudo apresentou uma correlação linear entre a função Gaussiana e a rugosidade da madeira. No entanto, é recomendado um estudo mais aprofundado sobre as influências das propriedades da madeira, tais como, a estrutura anatômica, densidade, cor e a precisão na medição.

Silva *et al* (2006a) avaliaram a técnica de captura de imagens de superfícies usinadas de madeiras de Eucalipto por meio de iluminação com laser de baixa potência aplicada em diferentes ângulos (metrologia óptica – Laser Ne-He). As imagens foram processadas tomando como base os padrões de manchas formados na superfície do material, usando as sombras formadas pela iluminação da madeira. Os resultados de distintos ângulos foram comparados e, uma análise espectral foi conduzida para caracterizar as frequências em cada perfil. Os resultados mostraram que a iluminação aproximadamente paralela entre a madeira e o laser foi a que apresentou imagens mais bem definidas, possibilitando a visualização dos picos gerados pelos avanços por dente (fz). A potencialidade da técnica ficou comprovada como viável, necessitando seu aprimoramento, bem como tratamento das imagens para sua mensuração. No mesmo ano, os autores Silva *et al* (2006b), realizaram novos experimentos, com o objetivo de medir a textura da superfície usinada da madeira de Eucalipto empregando o rugosímetro Surtronic 3+ e de determinar o avanço por dente calculado e medido por inspeção direta da superfície, correlacionando os parâmetros de rugosidade com os valores de avanço por dente “fz”. Os ensaios de usinagem foram desenvolvidos em uma tupia moldureira com

velocidades de avanço de 3,6; 15 e 30 m/min, diâmetros das fresas de 80, 100 e 125 mm e diferentes ângulos de afiação. Os resultados de avanço por dente mostraram que com menor velocidade de avanço e maior rotação apresentaram melhores resultados quanto à qualidade da superfície, independentemente dos ângulos da ferramenta. Dependendo do ângulo do dente da ferramenta usado, foi observada variação da rugosidade para parâmetros de usinagem semelhantes.

Silva *et al* (2006b), nos estudos verificaram para o Surtronic 3+, os parâmetros de rugosidade fornecidos:

- R_a - é um parâmetro que se baseia na medição da textura de uma superfície por meio do recurso da linha. Sua rugosidade é determinada por meio da Equação 1.

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad (1)$$

- R_q - é um parâmetro que se baseia na medição da textura semelhante aquela empregada no R_a , contudo. Sua rugosidade é determinada por meio da Equação 2.

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2(x) dx} \quad (2)$$

- R_t - é um parâmetro que verifica a distância entre o mais alto pico e o mais baixo vale presente em cada parte da medição (Figura 2.6).

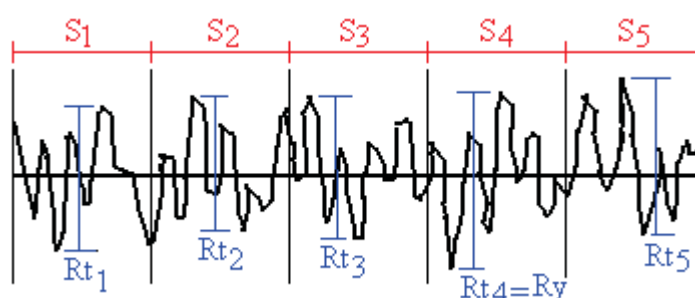


Figura 2.6 – Representação gráfica de uma superfície, mostrando os picos e vales de cada parte da medição, na determinação do R_y .

- R_y - é um parâmetro que representa o maior valor de R_t , entre todas as partes mensuradas da superfície. Na Figura 2.6, observa-se que o R_y é igual ao $R_t 4$.
- R_z - é um parâmetro que se baseia na média de todos os valores de R_t (Figura 2.6). Sua rugosidade é determinada por meio da Equação 3.

$$Rz = \frac{\sum R_t}{n} \quad (3)$$

- S_m - é um parâmetro que se baseia na medição da textura de uma superfície por meio do comprimento de cada onda, denominadas isoladamente de S (Figura 2.7). O parâmetro é obtido pela média aritmética de todos os comprimentos (Equação 4).

$$S_m = \frac{\sum S}{n} \quad (4)$$

As metodologias mais utilizadas para a qualificação da superfície usinada são a medição direta de caráter subjetivo, conforme apresentada pela ASTM D 1666-87 (1995) e a determinação do avanço por dente (fz). Essa determinação pode ser obtida por meio da Equação 5, utilizando os parâmetros de usinagem ou por meio da medição direta sobre a superfície usinada Equação 6.

$$fz_{calculado} = \frac{Vf}{n * z} \quad (5)$$

Em que:

$fz_{calculado}$ = avanço por dente, em mm;

Vf = velocidade de avanço da peça, em m/min;

n = frequência de rotação do eixo porta ferramenta, em min⁻¹;

z = número de gumes ativos da ferramenta (adimensional).

$$fz_{medido} = \frac{DC}{NC - 1} \quad (6)$$

Em que:

fz_{medido} = avanço por dente, em mm;

DC = distância conhecida, marcada sobre a superfície usinada, em mm;

NC = número de cristas contadas dentro da distância conhecida (adimensional).

Na medida direta segundo ASTM 1666-87 (1995) são definidos alguns defeitos como arrancamento das fibras, lasqueamento e falhas de usinagem. Posteriormente, são atribuídas notas para qualificar a superfície. É importante salientar que a nota zero corresponde a melhor qualidade, sendo a superfície isenta de defeito e a nota 4

para a superfície com maior grau de defeitos.

Gurau *et al* (2006) em pesquisa verificaram que qualquer avaliação quantitativa da rugosidade de uma superfície lixada requer que os dados sejam filtrados para remover erros de forma e ondulação. O comprimento de corte de um filtro de rugosidade é o valor que determina que comprimentos de onda sejam para ser removido dos dados. Superfícies de madeira contêm irregularidades, devido ambos os fatores, processo o lixamento e da anatomia. Este artigo investigou a influência do comprimento de corte o filtro sobre os parâmetros de rugosidade da madeira maciça, quando a superfície é filtrada com Gaussiano Robusto. Este filtro deve dar perfis de rugosidade livre de distorções se o comprimento de corte é adequadamente selecionado. Para tamanhos de grão P120 a P180, que geralmente precedem aplicações de acabamento, valor de corte de 2,5 milímetros foi encontrado adequado. No entanto processamento mais fino, com P1000, são necessários maiores comprimentos de corte para superar a distorção dos efeitos de poros agrupados. Concluíram que processamento mais fino pode exigir maiores comprimentos de corte para superar o efeito de distorção dos poros profundos.

Herdato *et al* (2006) verificarm, devido à não-homogeneidade do material madeira, o perfil de rugosidade de uma placa é afetada pela anatomia da madeira, tornando a análise da qualidade da superfície de madeira bastante complicado. Atualmente, não existe um método confiável para analisar a qualidade da superfície da madeira independente da espécie de madeira ou de suas propriedades. O atual padrão de métodos de filtragem utilizada para determinar o perfil de rugosidade de um perfil ou uma medida primária de perfil não produzem resultados confiáveis em superfície de madeira. Este trabalho propoz uma nova abordagem para superar essa lacuna e prover mais precisos e confiáveis métodos de análise da rugosidade da madeira. Os métodos propostos são comparados com os métodos padrões atualmente usando dados de 35 amostras de “Messmate” (*Eucalyptus obliqua*) polida com sete grãos de diferentes tamanhos de abrasivos (P60, P80, P100, P120, P150, P180 e P240). Os resultados sugerem que os métodos propostos são mais consistentes e precisos na descrição da qualidade da superfície da madeira polida. Concluíram que para caracterizar a rugosidade da madeira com precisão, é necessário usar um dispositivo de medição de

rugosidade adequada e um método adequado para a análise da mesma. Superfícies de madeira contêm irregularidades devidas tanto ao processamento e da anatomia da madeira. A aspereza anatômica deve ser excluída a aspereza de processamento deve ser devidamente avaliado, especialmente para a madeira com o tamanho dos poros de grande porte, porque anatomia e os vasos da madeira podem afetar os parâmetros da rugosidade calculada. Os métodos propostos neste estudo mostram ser consistentes e de boa correlação com o número de grãos, mas ainda estudos serão necessários para avaliar as propostas dos métodos pesquisados.

Gurau *et al* (2007) investigaram o efeito do tamanho do grão no processo da rugosidade do “oak european” (*Quercus robur*) lixado e medido por um padrão de análise da rugosidade modificado. A rugosidade do processo é separada da anatomia da madeira e ondulações usando um método baseado definido por “Abbot-Curve”, desenvolvido em um estudo de doutorado por Gurau em 2004.

Tibúrcio (2010) apresenta neste trabalho, uma revisão sobre informações teóricas e tecnológicas dos elementos que envolvem a medição da rugosidade de madeiras submetidas ao processo de lixamento. São apresentados os componentes e as fases que constituem todo o processo de fabricação das lixas e suas aplicações, bem como, informações sobre a rugosidade, as técnicas de medição mais empregadas, suas vantagens e desvantagens, além dos critérios empregados para avaliar a rugosidade de acordo com as NBR 6405, 1988; NBR 8404, 1988; NBR ISO 4288, 2008; NBR ISO 4287, 2002 e NBR ISO 12179, 2002. Este trabalho teve como objetivo contribuir com pesquisadores envolvidos nos estudos sobre o processo de lixamento da madeira, análise do acabamento superficial e aplicação de revestimentos em madeiras. A seguir é apresentado o parâmetro mais utilizado na medição da rugosidade da madeira: “Ra” Rugosidade média: Matematicamente é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento (y_i), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição (l_m). Essa grandeza pode corresponder à altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e pela linha média, tendo por comprimento o percurso de medição (l_m). Este parâmetro de avaliação da rugosidade (Figura 2.7) está representado como visto anteriormente pela Equação (1), aqui novamente apresentada.

$$Ra = \frac{1}{lm} \int_0^{lm} |y(x)| dx \quad (1)$$

Em que $y(x)$ é a função das ordenadas de afastamento.

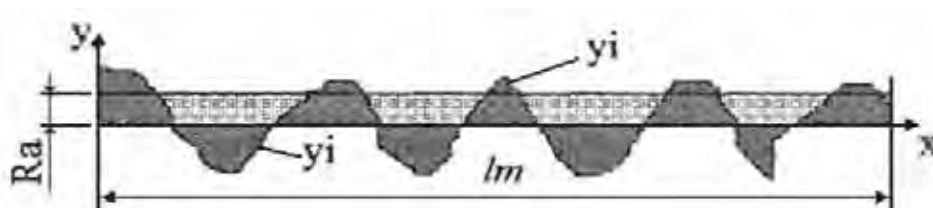


Figura 2.7 - Rugosidade média Ra ; y_i é o valor de um pico ou vale. (Fonte: NBR 4287)

2.4. Resistência na linha de cola da madeira

De acordo com Marra⁶ (1992) apud Burdulu *et al* (2007), superfícies de madeira lisa rende nas articulações 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 inibem a penetração do adesivo nas cavidades das células da madeira expostos. 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

⁶ 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.

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 tangencia 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/cm². 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/mm²) 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/cm². A força de cisalhamento mais baixa (6,01 N/mm²) foi obtido nas junções feitas sobre as superfícies aplainadas usando adesivo PU e uma pressão da prensagem de 3 kgf/cm². A maior resistência ao cisalhamento (9,10 N/mm²) na superfície radial foi obtida após lixamento e aplicação de adesivo PVA e pressão da prensagem de 6 kgf/cm². A mais baixa resistência ao cisalhamento (3,76 N/mm²) foi obtida nas amostras cujas superfícies foram lixadas e coladas com cola PU com uma pressão da prensagem de 3 kgf/cm². 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 relacionadas 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°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 (Figura 2.8). Os adesivos PVA e PU foram aplicados separadamente nas superfícies num montante de 200 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 (Figura 2.8). Durante a prensagem, a 50°C de temperatura foi usada para as amostras com adesivo PVA e 80°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 2.8.

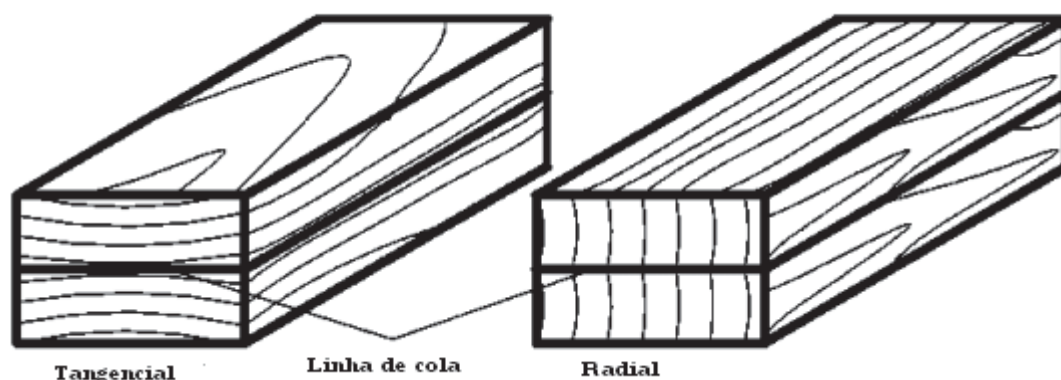


Figura 2.8 – Plana na linha de cola, Tangencial e Radial. (Adaptado de Burdulu *et al*, 2007)

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 micrótomo, 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 periféricos e faceamento devem ser melhores alternativas com respeito a 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, 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 PVA 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 alburno; 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, larguras 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 m³ de cada espécie, identificadas pelo fornecedor, como sendo das espécies *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e

Eucalyptus grandis. 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.

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).

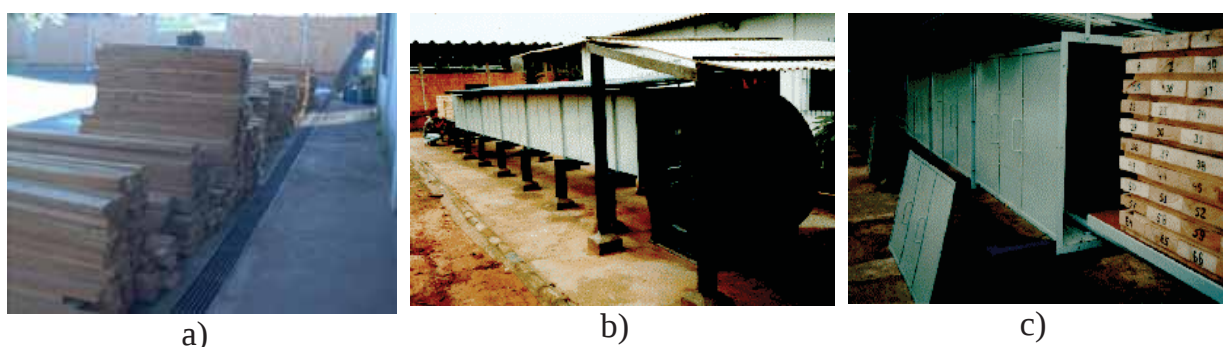


Figura 3.1 - a) Detalhe das pilhas de madeira serrada após recebimento, b) Vista geral do equipamento: módulo de secagem por ventilação forçada, c) Detalhe das pilhas de madeira serrada sendo introduzidas no secador.

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 desgrossadeira, 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 no item 3.2. - Preparação das amostras para ensaios.

As peças de madeira depois de aplainadas foram novamente 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 ilustrado na Figura 3.30.

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/cm³ a 1,02 g/cm³ 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 aos 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 – Início da 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.

Selecionadas as peças, as mesmas foram aplainadas nas máquinas de aplainamento de superfícies, quais sejam; plaina desempenadeira (Figura 3.5a) e plaina desengrossadeira (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 lixamento e colagem.



Figura 3.5 - Máquinas de usinagem: (a) plaina desempenadeira, (b) plaina desengrossadeira.

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 1,5 mm de profundidade de corte e velocidade nominal de avanço para aplainamento da superfície de 11,0 m/s, proporcionadas pela regulação do sistema de transmissão do alimentador de avanço, correspondendo, ao avanço por dente “fz” da ferramenta de corte de 1,55 mm e da rotação do eixo porta-ferramenta de 7113 rot/min, ilustrado em Figura 3.13. Finalizado esta operação de usinagem, as peças resultaram nas dimensões de 3,5 cm x 3,3 cm x 120,0 cm.



Figura 3.6 - “Tupia Moldureira” equipada com alimentador de avanço, utilizada na geração das superfícies de colagem das peças, para posterior lixamento e produção dos CPs.

3.2.1 Amostras com indicação de anomalias

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 alborno; 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.

3.3. Lixamento das amostras para ensaios de caracterização mecânica

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 à horizontal evitando problemas de passar pelas bordas onde se encontra os cilindros da mesma, evitando assim lixamento excessivo das bordas das amostras, o que provocaria erros no processo de colagem.

Após medições de 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.

Lixadeira e painel de controle utilizados no lixamento marca Baldan, modelo LFH – 2, está visualizada 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 carbeto de silício, 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).

Visto em detalhes na Figura 3.11, as lixas utilizadas e suas respectivas marcações nas costas das lixas segundo fabricante das mesmas de P80 a P220.

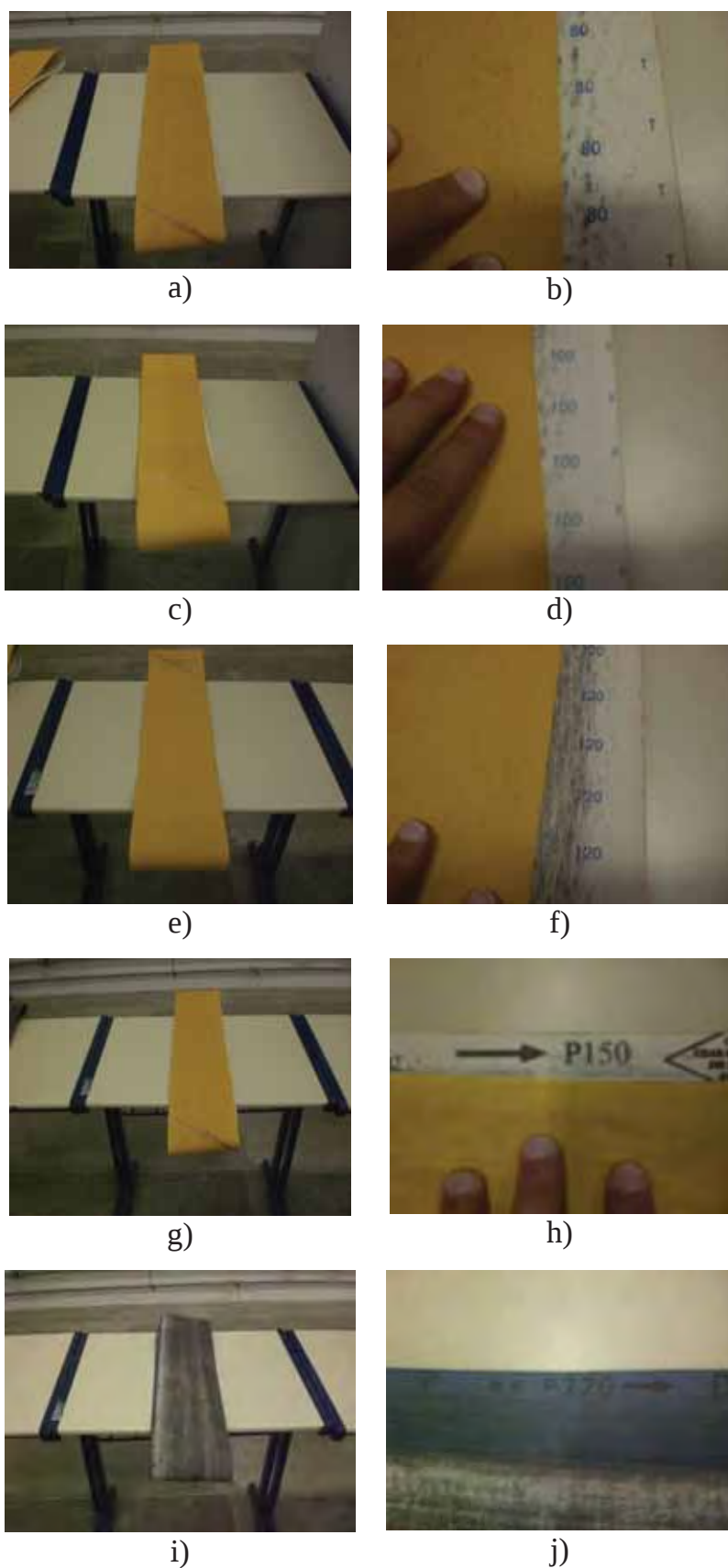


Figura 3.11 – Lixas utilizadas e marcação do fabricante nas costas da lixa: a) Lixa P80, b) Marcação P80, c) Lixa P100, d) Marcação P100, e) Lixa P120, f) Marcação P120, g) Lixa P150, h) Marcação P150, i) Lixa P220, j) Marcação P220.

Então, foi efetuado o lixamento conforme ilustra a Figura 3.12, das superfícies para posterior colagem destas superfícies, com as diferentes lixas vistas anteriormente.



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

3.4. Medição de “Ra” para as superfícies usinadas e para cada grana de lixa

Todas as superfícies das amostras foram usinadas no processo de fresamento na tupia moldureira (Figura 3.6) 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, $fz = 1,55 \text{ mm}$.

Posteriormente a usinagem, as superfícies geradas foram submetidas à medição da rugosidade média “Ra”. O comprimento de amostragem adotado nas medições foi de 2,5 mm (cut-off), segundo valor sugerido pela NBR 6405 (ABNT, 1988). O percurso de medição (lm) para cut-off 2,5 mm é de 12,5 mm, resultando na média de 5 valores adquiridos por medição. O range adotado no rugosímetro foi de 300 μm , o filtro adotado foi Gaussiano e o parâmetro medido foi o “Ra” (rugosidade média).

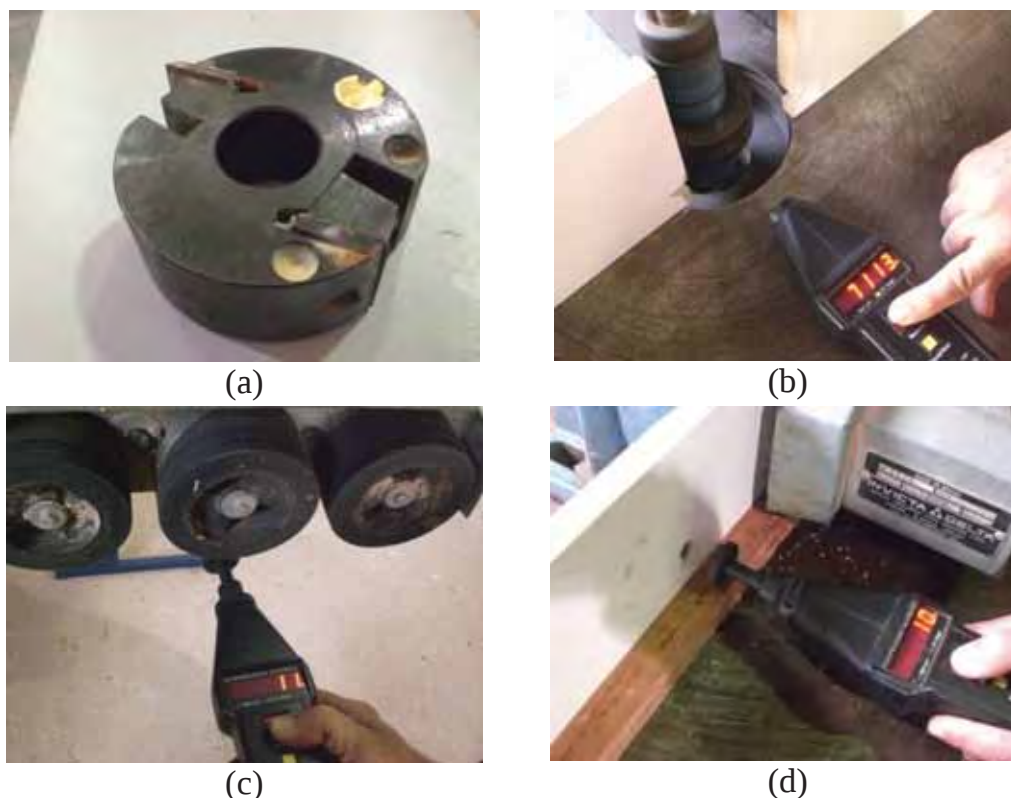


Figura 3.13 – Fresa preparada para usinagem e das medições de velocidades e rotações no equipamento: (a) Cabeçote com faca usado na usinagem, (b) Medição da rotação do eixo porta-ferramenta, (c) Medição da velocidade nominal de avanço, (d) Medição da velocidade de avanço real da peça.

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”). O equipamento utilizado para medição da 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.

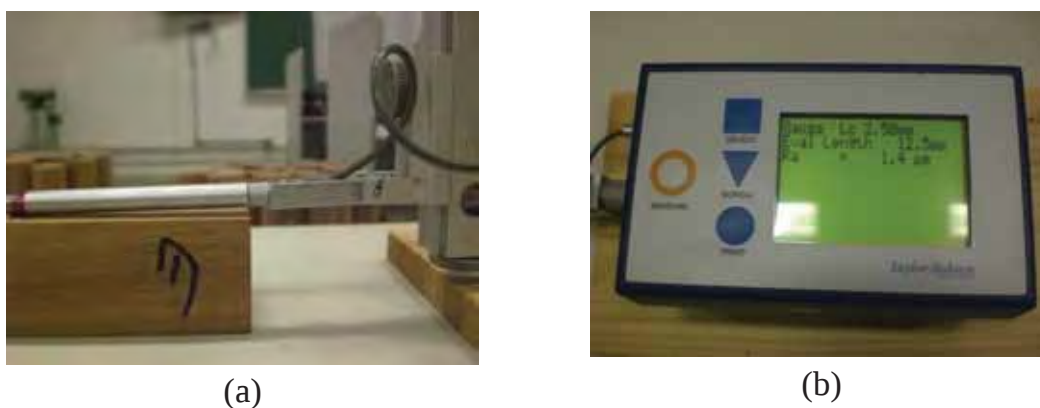


Figura 3.14 – Medição da rugosidade nas superfícies usinadas para composição da linha de cola dos CPs: (a) Ação do apalpador, (b) Detalhe de uma leitura de medição. (media registrada de 1,4 μm)

Na ilustração da Figura 3.15 observa-se a ação do apalpador em vista geral do rugosímetro utilizado para a medição da rugosidade “Ra” das superfícies usinadas para composição da linha de cola dos corpos de prova.



Figura 3.15 – Medição da rugosidade nas superfícies usinadas, vista geral em utilização.

Foram realizadas 40 medições de rugosidade em cada superfície preparada para cada grana de lixa utilizada, para posterior colagem dos corpos de prova. Portanto, foram realizadas 200 medições de “Ra” das superfícies depois de lixadas e 20 medições para a velocidade de avanço 11 m/min, totalizando 220 medições de “Ra”.

Os resultados de resistência na linha de cola das superfícies usinadas foram utilizados no presente trabalho para efeito de comparação com os resultados de resistência mecânica obtida para os corpos de prova com superfícies lixadas. Por isso a necessidade da medição de “Ra” das superfícies anterior ao lixamento.

Na sequência, foram confeccionados (aplicação da cola), os corpos de prova para submissão aos ensaios de resistência à ruptura na linha de cola, para esforços de cisalhamento e de tração normal.

3.5. Cola empregado na confecção das juntas

A aplicação da cola foi feita com seringa na dosagem especificada ilustrado na Figura 3.17a, posteriormente distribuída em toda área por pincel Figura 3.17b, tomando-se as peças duas a duas, para a realização da colagem, foi empregada a seguinte metodologia: aplicação de 4,0 gramas da cola na área de união das peças, usada conforme recomendações do fabricante, para colagem de madeira a frio.

Para colagem na junção das partes das amostras de madeira, foi adotada a cola de acetato de polivinila (PVA), sendo esta, a cola especificada como “WONDERBOND 2555”, à base de PVA, fabricado pela empresa “HEXION”, que discrimina em suas especificações: apresenta resistência moderada a umidade, boa aderência a baixas temperaturas e flexibilidade do filme de adesivo quando seco.

Calculou-se a viscosidade da cola, realizando algumas medições. Para este cálculo utilizou-se a lei de Stokes dada pela Equação 7:

$$\mu = 2gr^2 \left(\frac{\rho_{esfera} - \rho_{cola}}{9v} \right) \quad (7)$$

Em que:

g = aceleração da gravidade; r^2 = raio da esfera; ρ_{esfera} = densidade da esfera; ρ_{cola} = densidade da cola; v = velocidade da esfera.

A Tabela 3.1, apresenta os valores médios medidos para o cálculo de viscosidade.

Tabela 3.1 - Valores médios das grandezas para o cálculo da viscosidade do adesivo.

Grandezas	Valores
Raio da Esfera (m)	0,009
Densidade da Esfera (kg/m ³)	7790,687
Densidade do Fluido (kg/m ³)	1101,333
Volume de Cola (ml)	150,0
Velocidade da esfera (m/s)	0,043
Viscosidade (Pa.s)	26,085

Quanto às indicações de uso do adesivo para colagem de madeiras, destacam-se as seguintes: A cola fabricada pela empresa HEXION “WONDERBOND 2555” à base de PVA, especifica a gramatura de aplicação de seu produto em 160 a 200 g/m², para montagem de painéis em prensa “FRIA” de madeiras com densidade acima de 0,75 g/cm³, indicando ainda, aplicar pressão de 13 a 20 kg/cm² por 3 a 4 horas e tempo de

cura mínimo de 24 horas após prensagem. Na Figura 3.16a ilustra a tara realizada na balança com a seringa e Figura 3.16b a pesagem da cola.



Figura 3.16 – a) Tara da balança, b) Pesagem da quantidade de cola. (medida registrada 4,66 g)

A aplicação da cola foi feita com seringa na dosagem especificada Figura 3.17a e distribuída em toda área por pincel Figura 3.17b. Da aplicação da cola, as peças foram juntadas nas faces lixadas 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 3.17c.

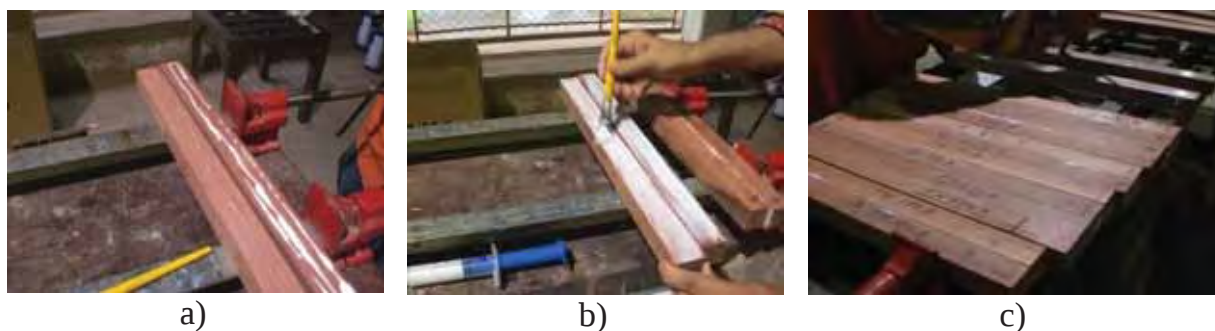


Figura 3.17 – a) Cola espalhada com a Seringa, b) Cola espalhada com pincel nas duas faces da amostra, c) Amostras sendo coladas e preparadas para prensagem.

Depois de prensadas por cerca de 5 horas em prensagem por grampos do tipo rosca e apoios, popularmente denominado por “sargento” ilustrado na Figura 3.18a, 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 3.18b, como recomendado pelo fabricante do adesivo para pressão de prensagem a frio.



Figura 3.18 – a) Amostras sendo preparadas para a prensagem, b) Detalhe: Torquímetro utilizado.

Em seguida, como está ilustrado na Figura 3.19, a aplicação do torque de 16 N·m com o torquímetro.



Figura 3.19 – Amostras sendo prensadas com aplicação de torque de 16 N·m.

Do início da prensagem das amostras Figura 3.20a, 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 3.20b, foi então realizada a retirada do excesso de adesivo após prensagem Figura 3.20c, evitando desta forma que na usinagem, para geração dos corpos de prova, este excesso de adesivo não influencie de forma negativa.

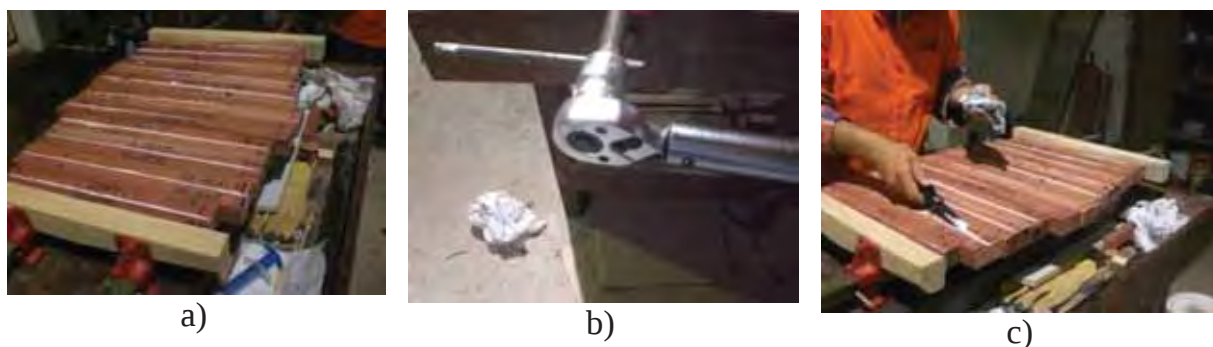


Figura 3.20 – Prensagem: a) prensagem das amostras, b) Torque aplicado de 16 N·m nas amostras coladas, c) Retirada do excesso de adesivo após prensagem.

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 3.21.

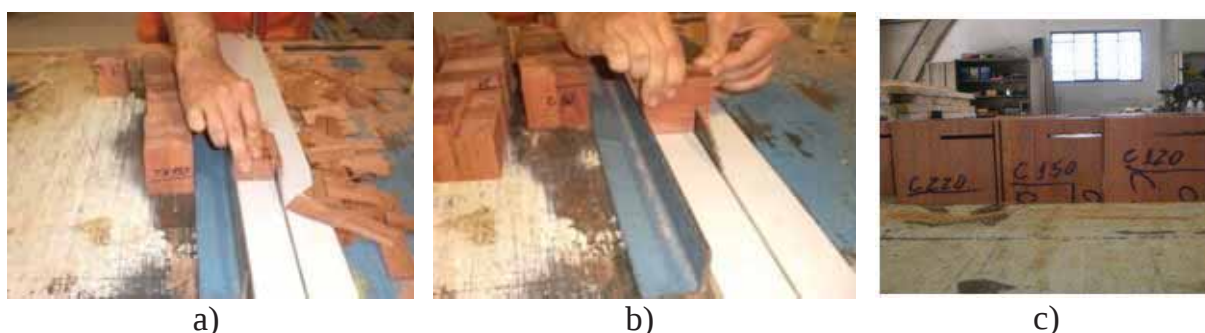


Figura 3.21 – Procedimentos iniciais para preparar os CPs: a) Usinagem para padronização das dimensões dos CPs, b) Primeiro corte para preparação dos CPs, c) Vista do primeiro corte realizado para preparar os CPs.

Para a finalização da preparação dos corpos de prova, teve a realização do segundo corte para gerar os corpos de prova (Figura 3.22a), então os CPs eram separados um a um conforme foram lixados com as diferentes granas de lixas, como ilustrado na Figura 3.22b, e na Figura 3.22c o corpo de prova finalizado.

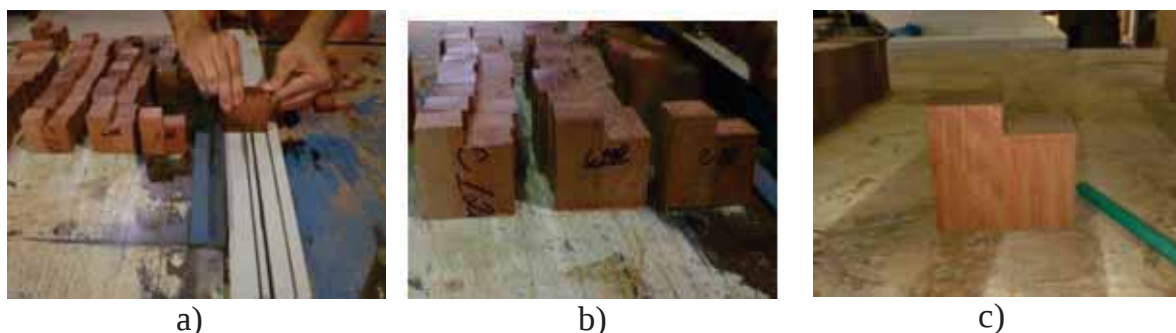


Figura 3.22 - Finalização da preparação dos CPs: a) Segundo corte para preparar os CPs, b) Detalhe dos CPs separados conforme suas respectivas lixas, c) CP para ensaio de cisalhamento finalizado.

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 3.23), sendo dada pela Equação (8):

$$f_{v,0} = \frac{F_{v,0,max}}{A} \quad (8)$$

Em que:

$F_{v,0,max}$ 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^2 .

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.

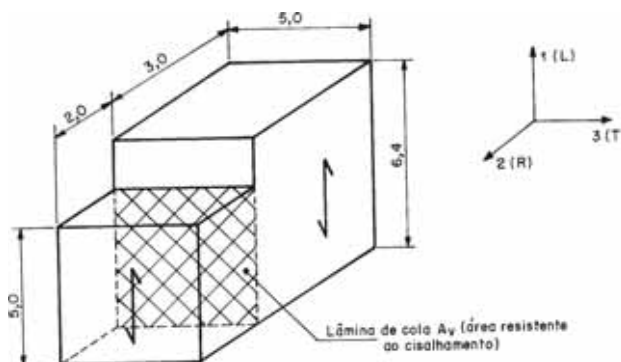


Figura 3.23– Dimensões em centímetros, do corpo de prova para ensaio de cisalhamento na lâmina de cola, na direção paralela às fibras. (Fonte: NBR 7190)

O arranjo de ensaio para a determinação da resistência ao cisalhamento na lâmina de cola está indicado na Figura 3.24.

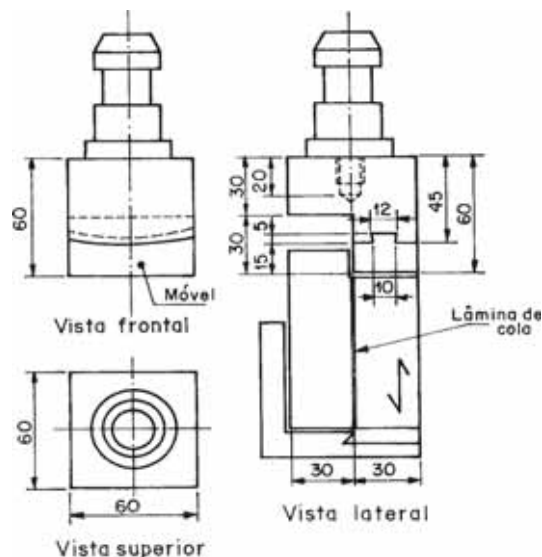


Figura 3.24 - Arranjo de ensaio para cisalhamento na lâmina de cola, na direção paralela às fibras, dimensão em mm. (Fonte: NBR 7190)

Procedimentos iniciais para preparação dos corpos de prova para os ensaios de tração normal na linha de cola, ilustrado nas Figuras 3.25 e 3.26.



a)



b)



c)

Figura 3.25 – 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.

Para a finalização da preparação dos corpos de prova, que é necessário ter os semicírculos, para submissão dos ensaios de tração normal na linha de cola visto em detalhes na Figura 3.26.



Figura 3.26 - a) 1ª etapa para gerar o semicírculo nos CPs, b) Detalhe: Geração dos semicírculos.

Em 2ª etapa, a geração dos dois semicírculos no CP. Como mostrada na Figura 3.27a, e CP para ensaio de tração normal finalizado Figura 3.27b.

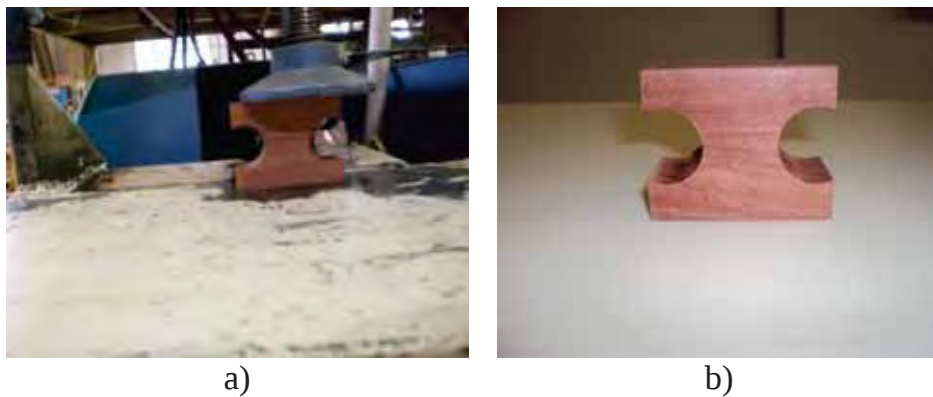


Figura 3.27 – 2ª Etapa para gerar CP: a) Detalhe da 2ª etapa para gerar os semicírculos dos CPs., b) CP para ensaio de tração normal finalizado.

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 3.28) 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 (9):

$$f_{t,90} = \frac{F_{t90,máx.}}{A} \quad (9)$$

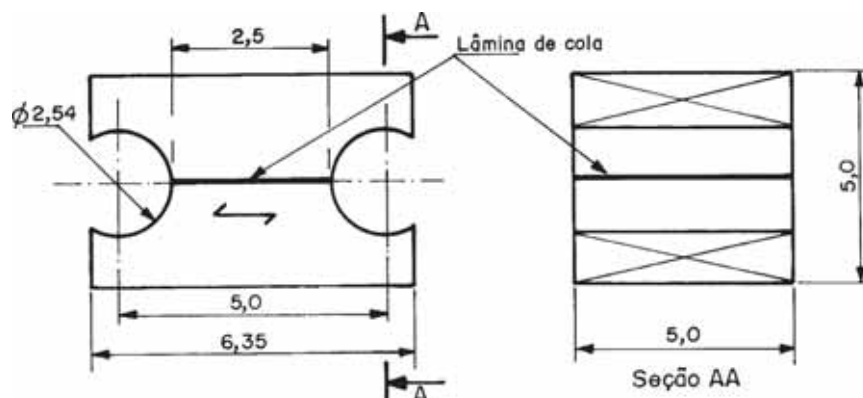


Figura 3.28 - Corpo de prova para tração da lâmina de cola normal às fibras da madeira laminada colada, dimensões em centímetros. (Fonte: NBR 7190)

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 3.28 está mostrado na Figura 3.29.

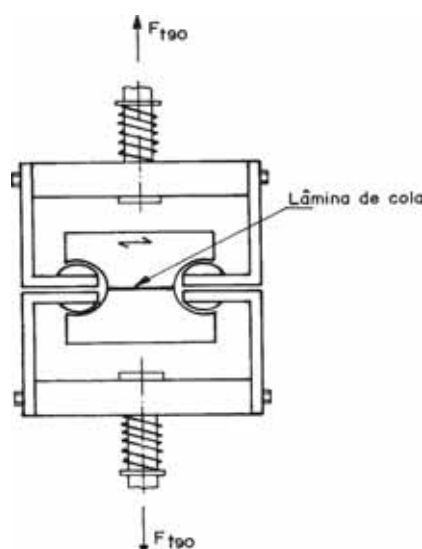


Figura 3.29 - Arranjo de ensaio para tração da lâmina de cola na direção normal às fibras da madeira laminada colada. (Fonte: NBR 7190)

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 3.30.

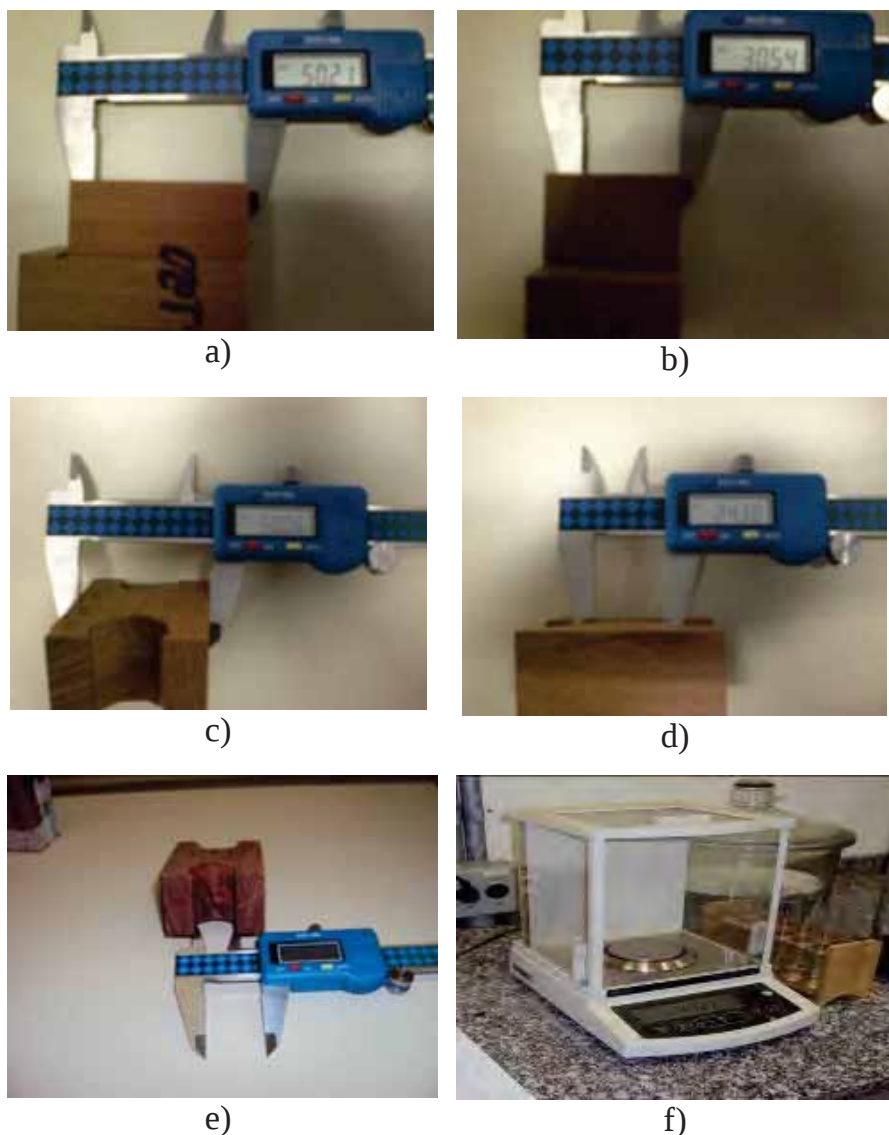


Figura 3.30 – Detalhes das medições realizadas nos CPs para submissão aos ensaios mecânicos e cálculo da densidade aparente por CP, Medidas Registradas: a) 50,21mm CP; b) 30,54 mm ; c) 50,06 mm ; d) 24,38 mm; e) Média do diâmetro dos semicírculos, Medida registrada de 24,96 mm; f) Balança digital analítica, resolução 0,0001g.

Realizadas as medidas dos CPs do ensaio de cisalhamento, 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.

Os volumes para os corpos de prova de tração foram calculados utilizando-se o software MATHEMATICA 5.0, pela Equação (10), como segue:

$$Vol = (lat_1 \cdot lat_2 \cdot h) - (2(\pi \cdot r^2) - 2 \int_{\psi_1}^{\psi_2} (r^2 - y^2)^{\frac{1}{2}} dy) \cdot h \quad (10)$$

Em que:

- lat_1 = comprimento medido do CP em cm.
 lat_2 = medida da largura do CP em cm.
 h = altura do semicírculo em cm.
 r = valor do raio medido do círculo em cm.
 ψ = extremo, inferior e superior, do semicírculo em cm.
 y = eixo que passa pelo centro dos dois círculos, ou seja, medida da variável que vai considerar o material a ser removido do círculo em cm.

Os resultados dos volumes dos semicírculos foram subtraídos dos volumes totais dos CPs, tendo desta forma o volume real das amostras sem os semicírculos, através do software SCILAB. Foram calculados seus volumes, posteriormente pesados e calculadas as suas densidades.

3.7. Ensaaios de resistência mecânica

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 3.31.



Figura 3.31 – Vista geral da máquina de ensaios universal de caracterização mecânica de materiais.

3.7.1. Ensaios de resistência ao cisalhamento

Na Figura 3.32 são apresentas os corpos de prova de madeira confeccionados para submissão a ensaio de resistência ao cisalhamento.



Figura 3.32 – CPs sendo preparados para submissão a ensaio de cisalhamento: (a) vista lateral e (b) vista de topo.

Na Figura 3.33 é mostrado um corpo de prova quando submetido ao ensaio de caracterização mecânica de resistência ao cisalhamento na linha de colagem. A Figura 3.33a mostra o sistema de prensagem com o CP preparado para o carregamento, na Figura 3.33b é ilustrado o sistema com o CP já rompido e na Figura 3.37c são mostradas as superfícies cisalhadas do CP.

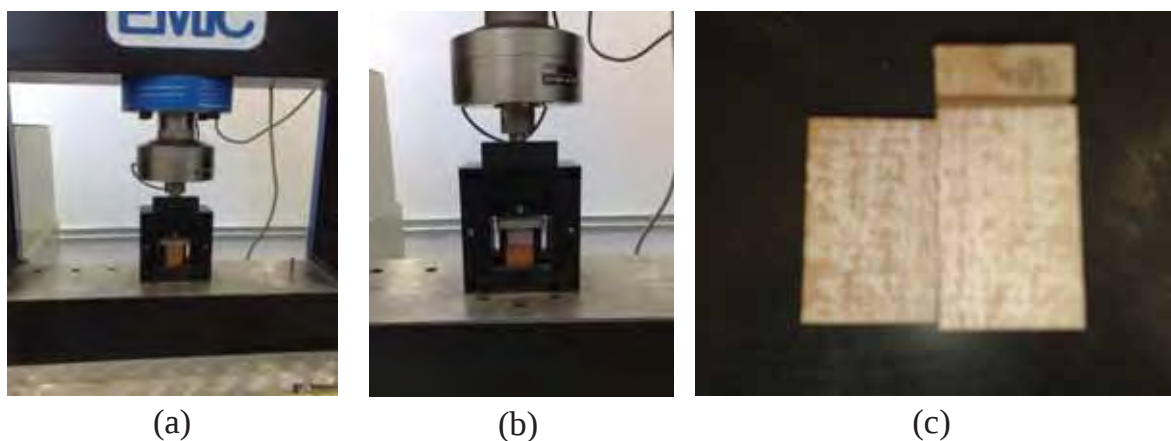


Figura 3.33 – Ensaio de cisalhamento: (a) CP sendo ensaiado, (b) situação após ensaio, (c) superfícies de linha de cola submetidas à ruptura por cisalhamento.

3.7.2. Ensaio de resistência à tração normal

Na Figura 3.34 é ilustrado um corpo de prova para submissão ao ensaio de resistência à ruptura na linha de cola para o ensaio de tração normal.

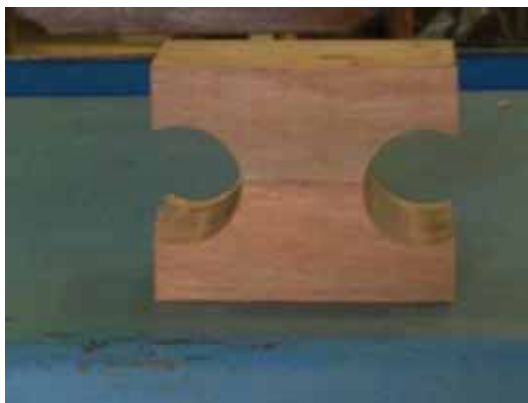


Figura 3.34 – CP preparado para submissão ao ensaio de tração normal.

Na Figura 3.35 são mostradas três situações: (Figura 3.35a) corpo de prova quando tracionado, (Figura 3.35b) situação do ensaio após ruptura e (Figura 3.35c) partes de um CP rompido após o ensaio.



(a)



(b)



(c)

Figura 3.35 – Situações registradas no ensaio de tração normal: (a) CP quando tracionado, (b) CP rompido na linha de cola, (c) partes de um CP rompido.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item foi realizada a análise das rugosidades Ra das superfícies usinadas com diferentes velocidades de avanço, rugosidades das superfícies das madeiras usinadas e lixadas para cada granulometria de lixa adotada, em seguida foi calculada a média da rugosidade Ra medida e desvio padrão, na sequência são apresentados os resultados obtidos dos ensaios de caracterização de resistência mecânica dos corpos de prova lixados e colados, conforme descrito na metodologia para experimentação, seguido da análise e discussão dos resultados. Para cada ensaio de cisalhamento e de tração normal, foi analisada a resistência na linha de cola, em função do acabamento superficial geradas pelas cinco lixas adotadas. Na sequência foi feita a análise comparativa para cada tipo de ensaio de resistência com relação à pesquisa realizada por De Conti (2011).

4.1. Rugosidade da superfície usinada

A rugosidade “Ra” da superfície usinada com velocidade de avanço, 11 m/min, é mostrada em Tabela 4.1.

Foram feitas medidas das rugosidades nas peças de eucalipto usinadas, realizadas nas direções de corte, na direção entrada (“E”) e saída (“S”).

Verifica-se que para a superfície usinada com velocidade 11 m/min a medida de “Ra” médio foi maior na direção de entrada do que para a saída.

Deve-se destacar que a medida realizada na direção de entrada é feito na direção contrária ao corte e a direção de saída é feito na direção de corte.

Tabela 4.1 - Medição de “ R_a ” médio para velocidade de avanço 11 m/min - E = medida na direção contrária de corte, S = medida na direção de corte.

Medidas	E (μm)	S (μm)
1	6,8	5,2
2	5,4	8,0
3	5,2	5,8
4	9,6	2,6
5	4,4	6,6
6	10,6	5,8
7	4,6	6,6
8	4,2	5,0
9	9,4	3,4
10	5,8	5,6
11	5,4	6,8
12	5,6	3,4
13	4,6	3,4
14	4,6	6,0
15	4,8	8,6
16	4,8	4,0
17	6,0	5,4
18	3,8	4,2
19	8,2	3,8
20	3,0	4,0
Média	5,84	5,21
Desvio Padrão (μm)	2,10	1,62

4.2. Rugosidade das superfícies lixadas

Os valores de rugosidade (“ R_a ” médio) medidos e respectivos desvio padrão estão mostrados em Tabela 4.2, para as cinco diferentes granulometrias de lixas utilizadas de P80, P100, P120, P150 e P220. Os valores medidos para todas as granulometrias de lixas estão mostradas em **APÊNDICE A**.

Verificando o acabamento superficial e a diminuição da rugosidade “ R_a ” das amostras depois de lixadas, para posterior aplicação da cola para gerar os corpos de prova para os ensaios mecânicos de cisalhamento e tração normal.

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

Granulometria das lixas	Rugosidade “Ra” (μm)	Desvio Padrão (μm)
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

No gráfico da Figura 4.1 são mostradas as curvas de ensaio de lixamento com as lixas de diferentes granulometrias. O acabamento superficial e a diminuição da rugosidade média “Ra” das amostras é acentuada e efetiva com as lixas de granas de P80 a P220.

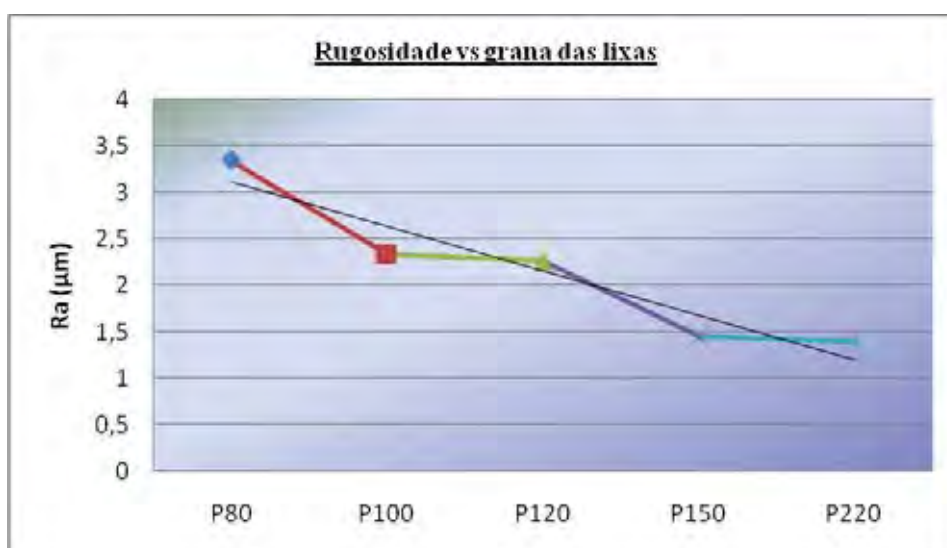


Figura 4.1 – Representação gráfica dos valores da rugosidade “Ra” médio, para diferentes granas de lixa.

Do gráfico da Figura 4.1, observa-se que com o aumento da granulometria da lixa ocorre o decréscimo da rugosidade “Ra” médio.

4.3. Ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola

4.3.1. Resistência da linha de cola em função do acabamento superficial

Apresenta-se a seguir uma análise da resistência da linha de cola em função do acabamento superficial obtido nas superfícies de colagem das amostras para preparação dos CPs. Os diferentes acabamentos foram originados pelas cinco lixas utilizadas empregadas no lixamento das referidas superfícies.

Na Tabela 4.3, é apresentada a resistência ao cisalhamento “ f_{v0} ” em mega pascal (MPa) que representa o valor médio da resistência ao cisalhamento e rugosidade (“Ra” médio).

Tabela – 4.3 – Resistência ao cisalhamento f_{v0} , rugosidade Ra e respectivos desvio padrão.

<u>Valores Médios de Resistência ao Cisalhamento - f_{v0} e “Ra”</u>				
Granulometria das lixas	Resistência Cisalhamento f_{v0} (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Rugosidade “Ra” (μm)	Desvio Padrão (μm)
P 80	11,69	2,659	3,350	1,16
P 100	11,46	1,613	2,330	0,95
P 120	10,83	4,301	2,265	0,58
P 150	11,47	1,247	1,450	0,40
P 220	13,67	2,061	1,390	0,54

Verificou-se que todos os corpos de prova no ensaio de cisalhamento para a lixa P 220 tiveram sua ruptura na linha de cola, e proporcionou melhores resultados de resistência ao cisalhamento dentre todas as outras lixas para gerar a superfície de colagem; ou seja: P 80, P 100, P 120 e P 150.

Conforme Tabela 4.6, verifica-se a maior resistência ao cisalhamento $f_{v0} = 13,67$ MPa, para a lixa de grana P220, com rugosidade da superfície de 1,390 μm de Ra.

Na Figura 4.2 é apresentada a resistência ao cisalhamento f_{v0} para as diferentes granulometrias de lixa testadas.

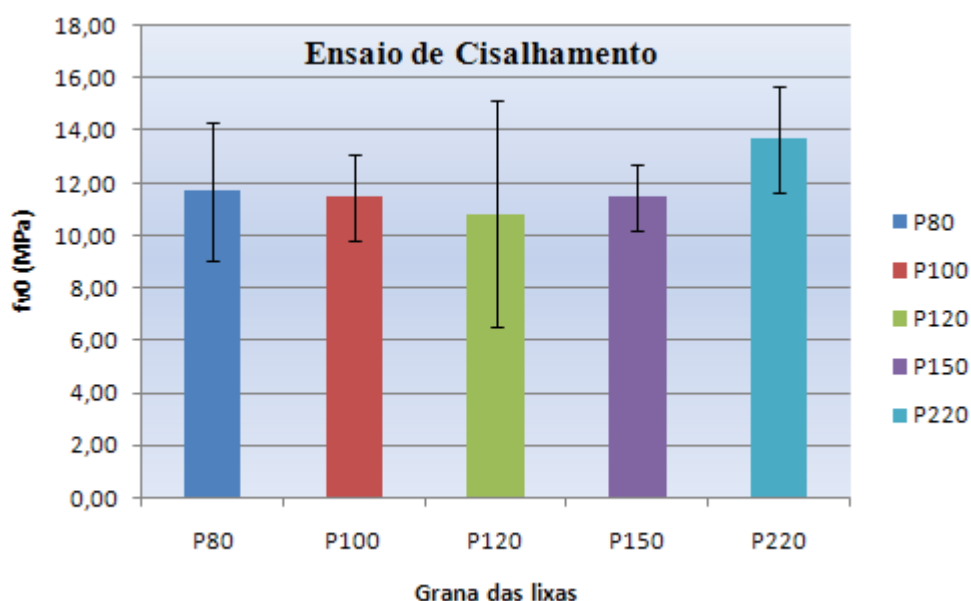


Figura 4.2 – Resistência ao cisalhamento “ f_{v0} ” para as diferentes granulometrias de lixa.

Analisando a Tabela 4.3 e Figura 4.2, observa-se a tendência decrescente da resistência à ruptura por cisalhamento para as superfícies lixadas com granas de P80 até P120, na sequência ocorre aumento na resistência para as superfícies lixadas com P150 e com P220, sendo a última de maior resistência ao cisalhamento registrada para os corpos de prova.

4.3.2. Ensaio de cisalhamento na linha de cola para CPs com lixa P220

O resultado dos testes de cisalhamento tem como finalidade analisar o comportamento da madeira de eucalipto na linha de cola. O ensaio mostrou-se importante, pois verificou a resistência ao cisalhamento f_{v0} exatamente na linha de colagem dos CPs, visto que todos os corpos de prova tiveram sua ruptura na lâmina de colagem. Os resultados para o ensaio de cisalhamento para lixa de grana P220 estão mostrados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Resultados da resistência ao cisalhamento da madeira de *Eucalyptus saligna* na linha de cola (P220).

CPs	Largura a (mm)	Altura (mm)	Seção (cm ²)	F _{v0, max} (Kgf)	f _{v0} (MPa)
CP 1	30,39	50,46	15,33	2221,92	14,21
CP 2	30,47	50,44	15,37	2277,59	14,53
CP 3	30,50	50,35	15,36	2679,97	17,11
CP 4	30,44	50,33	15,32	2041,52	13,07
CP 5	30,37	50,63	15,38	2080,27	13,27
CP 6	30,69	50,35	15,45	2406,55	15,27
CP 7	30,53	50,21	15,33	2235,66	14,30
CP 8	30,65	50,26	15,40	2111,99	13,44
CP 9	30,67	50,68	15,54	1342,10	8,47
CP 10	30,68	50,13	15,38	2332,21	14,87
CP 11	30,70	50,60	15,53	1985,14	12,53
CP 12	30,59	50,29	15,38	2035,88	12,98
Média	30,56	50,39	15,40	2146,00	13,67
Desvio Padrão	0,1221	0,172	0,075	319,0	2,06
C.V. (%)	0,3994	0,342	0,484	14,87	15,07

Os resultados obtidos para o ensaio de cisalhamento para lixa de grana P220, apresentado na Tabela 4.4, mostram os resultados dos ensaios mecânicos de cisalhamento, (f_{v0}) que é a força de ruptura e (Max f_{v0}) é a tensão de ruptura ao qual os corpos de prova foram submetidos, onde é possível visualizar em representação gráfica na Figura 4.3 o comportamento individual de cada corpo de prova durante o carregamento cisalhante, até o momento da ruptura final.

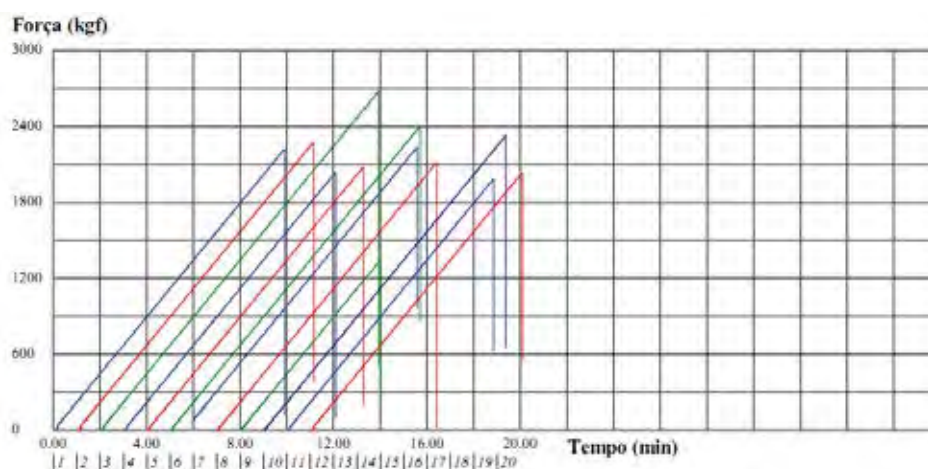


Figura 4.3 – Representação gráfica do comportamento individual dos CPs mostrando a resistência ao cisalhamento “f_{v0}” da madeira de *Eucalyptus saligna* na linha de cola para lixa P220.

Nos resultados obtidos para o ensaio de cisalhamento, mostrados na Tabela 4.5, indicam que houve melhora na resistência na linha de cola para madeira de eucalipto, em relação ao mesmo ensaio para a mesma madeira usinada com fresa e velocidade 11 m/min, onde a resistência para a madeira usinada foi de $f_{v0} = 12,84$ MPa e para a madeira lixada (P220) na linha de cola foi de $f_{v0} = 13,67$ MPa. Este incremento corresponde a 6,5%. Os demais dados tabelados e representações gráficas do comportamento dos corpos de prova, na linha de cola para as diferentes lixas, durante o ensaio de cisalhamento, estão mostrados no **Apêndice B**.

4.3.3. Comparação entre superfícies usinadas com fresa e lixadas

A comparação de resistência ao cisalhamento f_{v0} entre as superfícies usinadas com fresa e lixadas com as diferentes granas de lixa é mostrado conforme Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Resultados de resistência ao cisalhamento " f_{v0} " e a rugosidade " Ra " para amostras usinadas com fresa e lixadas.

<u>Valores Médios de Resistência f_{v0} e Rugosidade "Ra"</u>				
Ensaio de Cisalhamento	Resistência ao Cisalhamento (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Rugosidade " Ra " (μm)	Desvio Padrão (μm)
Fresamento	12,84	1,53	E = 6,16	E = 2,53
v = 11 m/min			S = 5,34	S = 1,54
Lixamento Grana P80	11.69	2.66	3,35	1,16
Lixamento Grana P100	11.46	1.61	2,33	0,95
Lixamento Grana P120	10.83	4.30	2,27	0,58
Lixamento Grana P150	11.47	1.25	1,45	0,40
Lixamento Grana P220	13.67	2.06	1,39	0,54

4.3.4. Comparação entre superfícies usinadas com fresa e lixadas com lixa P220

Em Tabela 4.6 apresentam-se os resultados de resistência ao cisalhamento “ f_{v0} ” e a rugosidade “Ra”, registrados por De Conti, (2011) para superfícies de linha de cola usinadas com fresa, aqui registrado apenas para as superfícies lixadas com lixa de grana P220.

A rugosidade e o desvio padrão para superfície usinada com velocidade 11 m/min é a média de “Ra” da “E” e “S”, assim como para o desvio padrão, mostrados anteriormente em Tabela 4.5.

Tabela 4.6 - Resultados de resistência ao cisalhamento “ f_{v0} ” e a rugosidade “Ra” para amostras usinadas com fresa e lixadas com lixa P220.

<u>Valores Médios de Resistência f_{v0} e Rugosidade “Ra”</u>				
Ensaio de Cisalhamento	Resistência ao Cisalhamento f_{v0} (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Rugosidade “Ra” (μm)	Desvio Padrão (μm)
Fresamento Vf=11 m/min	12,84	1,53	5,77	2,04
Lixamento- Lixa P220	13,67	2,06	1,39	0,54

Conforme se verifica em Tabela 4.6, houve melhora na resistência ao cisalhamento para superfície lixada com grana P220, em comparação com a superfície aplainada com velocidade de avanço de 11 m/min.

4.4. Ensaio de resistência à tração normal na linha de cola

4.4.1. Resistência da linha de cola em função do acabamento superficial

Na Tabela 4.7 são apresentados os valores de resistência a tração normal “ f_{t90} ” em MPa, onde, verificou-se que todos os corpos de prova no ensaio de tração para a lixa P120 tiveram sua ruptura na porção de madeira, fora da linha de colagem, proporcionando os melhores resultados de resistência a tração dentre todas as outras lixas.

Tabela 4.7 – Resistência à tração f_{t90} , desvio padrão e rugosidade “Ra”.

<i>Valores Médios de Resistência à Tração Normal f_{t90} e “Ra”</i>				
Granulometria das lixas	Resistência a Tração normal f_{t90} (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Rugosidade “Ra” (μm)	Desvio Padrão (μm)
P 80	5,09	1,27	3,35	1,16
P 100	4,09	1,52	2,33	0,95
P 120	5,52	1,13	2,27	0,58
P 150	3,32	1,76	1,45	0,40
P 220	4,85	1,25	1,39	0,54

No gráfico da Figura 4.4 ilustra a relação entre a resistência à tração normal f_{t90} e a granulometria das lixas.

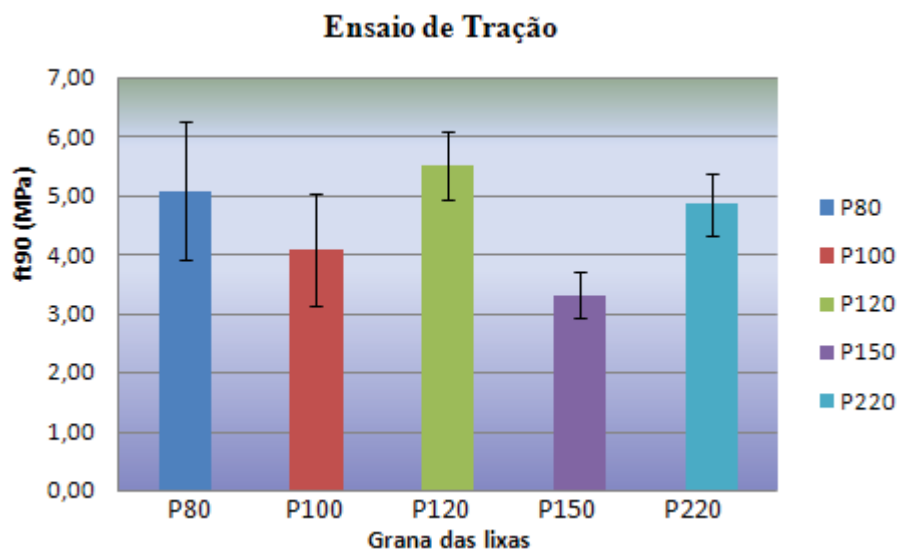


Figura 4.4 – Relação entre a resistência a tração normal f_{t90} e a granulometria das lixas.

4.4.2. Ensaio de tração na linha de cola para CPs com lixa P120

Os resultados dos testes de tração normal, mostrados em Tabela 4.8 e Figura 4.5, tem por finalidade analisar o comportamento da madeira de eucalipto na linha de cola com a diferente técnica de superfície lixada com P120.

Tabela 4.8 – Resultados da resistência a tração normal da madeira de *Eucalyptus saligna* na linha de cola (P120).

CPs	Largura a (mm)	Espessura (mm)	Seção (cm ²)	$F_{t90, max}$ (Kgf)	F_{t90} (MPa)
CP 1	25,00	30,68	7,67	512,78	6,56
CP 2	25,20	30,28	7,63	607,06	7,80
CP 3	25,07	30,66	7,69	393,79	5,02
CP 4	25,08	30,72	7,70	396,15	5,04
CP 5	25,22	30,49	7,69	374,07	4,77
CP 6	25,90	30,65	7,94	411,28	5,08
CP 7	25,65	30,68	7,87	478,90	5,97
CP 8	25,71	30,64	7,88	433,92	5,40
CP 9	24,96	30,68	7,66	440,93	5,65
CP 10	25,76	30,45	7,84	281,87	3,52
CP 11	25,71	30,43	7,82	330,19	4,14
CP 12	24,71	30,67	7,58	489,80	6,34
CP 13	25,05	30,67	7,68	505,70	6,45
Média	25,31	30,59	7,74	435,10	5,52
Desvio Padrão	0,383	0,134	0,11	85,410	1,125
C. V. (%)	1,51	0,439	1,46	19,63	20,38

No ensaio de tração normal em corpos de prova sarrafeados colados lateralmente, buscou-se quantificar o reforço mecânico comparados com as superfícies fresadas com $v = 11\text{m/min}$, sarrafos de *Eucalyptus saligna*, por isso o ensaio foi feito na lâmina de cola de união dos sarrafos em corpos de prova de tração normal. A direção de menor resistência de painéis ocorre na direção da união lateral dos sarrafos, onde foi realizado o ensaio de tração normal, e onde foi possível verificar um bom resultado de reforço mecânico com o uso do lixamento da lixa P120 na linha de cola.

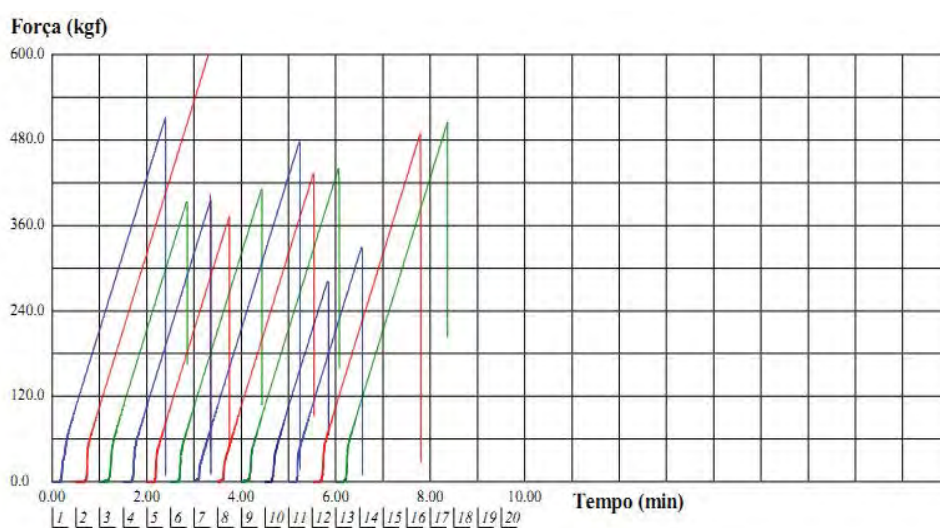


Figura 4.5 - Representação gráfica do comportamento individual dos CPs mostrando a resistência à tração normal “ f_{t90} ” na linha de cola da madeira de *Eucalyptus saligna* na linha de cola para lixa P120.

Os resultados obtidos para o ensaio de tração normal, mostrados na Tabela 4.9, indicaram que houve melhora no reforço mecânico na linha de cola para madeira de *Eucalyptus saligna*, em relação ao mesmo ensaio e madeira do mesmo lote, usinados com fresa e velocidade 11 m/min, onde a resistência para a madeira usinada foi de $f_{t90} = 5,16\text{ MPa}$ e para a madeira lixada (P120) na linha de cola foi de $f_{t90} = 5,52\text{ MPa}$. Este incremento foi de 7%. Os demais dados tabelados e representações gráficas do comportamento dos corpos de prova, na linha de cola para as diferentes lixas, durante o ensaio de tração normal, estão mostrados no **Apêndice C**.

4.4.3. Comparação entre superfícies usinadas com fresa e lixadas

A comparação de resistência a tração normal f_{t90} entre as superfícies usinadas com fresa e lixadas com as diferentes granas de lixa é mostrado em Tabela 4.9, também os valores de rugosidade médios “Ra” e respectivos desvios padrão calculados tanto a resistência a tração normal como para a rugosidade.

Tabela 4.9 - Resistência a tração normal e rugosidade.

<u>Valores Médios de Resistência f_{v0} e Rugosidade “Ra”</u>				
Ensaio de Cisalhamento	Resistência a Tração Normal f_{t90} (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Rugosidade “Ra” (μm)	Desvio Padrão (μm)
Fresamento	5,16	0,96	E = 6,16	E = 2,53
v = 11 m/min			S = 5,34	S = 1,54
Lixamento	5,09	1,27	3,35	1,16
Grana P80				
Lixamento	4,09	1,52	2,33	0,95
Grana P100				
Lixamento	5,52	1,13	2,27	0,58
Grana P120				
Lixamento	3,32	1,76	1,45	0,40
Grana P150				
Lixamento	4,85	1,25	1,39	0,54
Grana P220				

4.4.4. Comparação entre superfícies usinadas com fresa e lixadas com lixa P120

Na Tabela 4.10 apresentam-se os resultados de resistência à tração normal “ f_{t90} ” e a rugosidade “Ra”, registrados por De Conti, (2011) para superfícies de linha de cola usinadas com fresa e aqui registrado para superfícies lixadas com lixa de grana P120.

Tabela 4.10 - Resultados de resistência à tração normal “ f_{t90} ” e a rugosidade “Ra” para amostras usinadas com fresa e lixadas com lixa P120.

<u>Valores Médios de Resistência a Tração Normal f_{t90} e Rugosidade “Ra”</u>				
Ensaio de Tração Normal	Resistência a Tração normal f_{t90} (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Rugosidade “Ra” (μm)	Desvio Padrão (MPa)
Fresamento - $V_f=11$ m/min	5,16	0,96	5,77	2,04
Lixamento - Lixa P120	5,52	1,13	2,27	0,58

Conforme se verifica em Tabela 4.10, houve melhora na resistência a tração normal f_{t90} para superfície lixada com grana P120 na linha de cola, em comparação com a superfície somente aplainada na linha de cola.

5. CONCLUSÕES

Dos resultados de rugosidade “Ra” para a velocidade de avanço “Vf”, de 11,0 m/min testada na geração de superfícies:

- os valores da rugosidade “Ra” medidos nos planos de amostragem no sentido contrário ao sentido de corte, apresentaram-se com valores superiores aos valores de “Ra” medidos nos planos com mesmo sentido ao realizado para o corte;

Dos resultados de rugosidade “Ra” para as diferentes granulometrias de lixa; P80, P100, P120, P150 e P220, testadas na geração de superfícies:

- Considerando-se a progressão de lixas de menor grana 80 (P80) para a de maior grana 220 (P220), pode-se concluir que o valor médio de “Ra” diminui acentuadamente, resultando num “Ra” para P220; 4,32 % menor que para P150, 62,95 % menor que para P120, 67,73 % menor que para P100 e finalmente 141 % menor que para P80. Qual seja, de forma linear, com o aumento da granulometria das lixas, obtém-se uma acentuada melhoria do acabamento das superfícies lixadas da madeira. Sendo que, entre as lixas de grana 150, 120 e 100, este acréscimo de qualidade é pouco significativo.

Dos resultados de resistência à ruptura por esforços de cisalhamento (fv0) e de tração normal (ft90) para linha de cola de superfícies lixadas:

- Para fv0, as superfícies geradas pela lixa P220 apresentaram melhor valor de resistência, de 13,67 MPa, de 20,33 % superior à média dos valores de resistência obtidos para as superfícies geradas pelas outras quatro lixas;
- Para ft90, as superfícies geradas pela lixa P120 apresentaram melhor valor de resistência, de 5,52 MPa, de 27,20 % superior à média dos valores de resistência obtidos para as superfícies geradas pelas outras quatro lixas;

Dos resultados de resistência à ruptura por esforços de cisalhamento (f_v0) e de tração normal (f_t90) de superfícies lixadas, comparados às superfícies somente usinadas:

- Para ensaios de cisalhamento, somente para superfícies geradas pela lixa P220, resultaram em maior resistência que àquelas somente usinadas com velocidade de avanço de 11 m/min, qual seja; f_v0 de 6,46 % superior;
- Para ensaios de tração normal, somente para superfícies geradas pela lixa P120, resultaram em maior resistência que àquelas somente usinadas com velocidade de avanço de 11 m/min, qual seja; f_t90 de 6,98 % superior;
- Menores rugosidades “Ra”, como: 3,35; 2,33; 2,27 e 1,45 (μm), de superfícies lixadas, frente a 5,34 μm para superfícies usinadas com velocidade de avanço de 11 m/min, não representam maior valor de resistência à ruptura na linha de cola com o adesivo a base de PVA testado, para solicitações de esforços de cisalhamento (f_v0) ou de tração normal (f_t90).

Dos ensaios de resistência mecânica e análise do desempenho das juntas coladas da madeira serrada da espécie de *Eucalyptus saligna*, empregando-se adesivo de cura a frio, monocomponente, à base de Acetato de Polivinila (PVA). Especificamente, dos testes de resistência mecânica no plano da lâmina de cola quando submetidas a esforços de cisalhamento paralelo às fibras, para lixa P220, resultaram em maior resistência que àquelas somente usinadas com velocidade de avanço de 11 m/min, de $f_v0 = 6,46$ % superior; e à tração na direção perpendicular às fibras, para lixa P120 resultaram em maior resistência que àquelas somente usinadas com velocidade de avanço de 11 m/min, de $f_t90 = 6,98$ % superior.

REFERÊNCIAS

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.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1988). **NBR 6405: Rugosidade das Superfícies**. Rio de Janeiro.

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.

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.

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.

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 evaluating 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-WILLIAMS, 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, Feb., 2005.

GURAU, L.; MANSFIELD-WILLIAMS, 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-WILLIAMS, 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.** 4-7th, 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.

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.

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.

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.

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: 11º ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2008, Londrina. Anais. Londrina: Instituto Brasileiro da Madeira e Estruturas de Madeira, 2008.

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.

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.

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.

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.

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, São Pedro. **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*. 10º 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 planning 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 10º 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.

TIBURCIO, U. F. O.; **Aspectos teóricos e tecnológicos relacionados à medição da rugosidade de madeiras submetidas ao processo de lixamento**. Anais do 12º Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – EBRAMEM. Brasil - Lavras –MG. 2010.

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.

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.

APÊNDICE A

Rugosidade do *Eucalyptus saligna* lixado.

Tabela A.1 – Valores de “Ra” (μm) da superfície preparada com lixa P80.

TN - P80	(μm)	(μm)	Cis-80	(μm)	(μm)
NºMedições			NºMedições		
1	2,8	3,2	1	2,6	5,8
2	3,2	3,0	2	3,2	3,4
3	3,6	2,4	3	1,6	2,0
4	3,6	2,6	4	4,4	3,4
5	2,2	4,4	5	4,2	4,0
6	2,6	3,2	6	3,2	2,4
7	3,2	4,2	7	3,8	3,6
8	2,0	2,8	8	4,2	2,8
9	3,0	3,0	9	3,2	6,2
10	1,4	1,8	10	6,6	5,2
Soma	27,6	30,6	Soma	37,0	38,8
Média	2,76	3,06	Média	3,70	3,88
Média TN.		2,91	Média Cis.		3,79
Média de “Ra” = 3,35μm					

Tabela A.2-Valores de “Ra” (μm) da superfície preparada com lixa P100.

TN - P100	(μm)	(μm)	C - P100	(μm)	(μm)
NºMedições			NºMedições		
1	2,4	3,0	1	2,4	2,0
2	2,2	2,2	2	2,2	1,4
3	1,2	2,6	3	1,0	1,8
4	2,0	3,4	4	1,8	2,2
5	3,0	1,8	5	2,2	2,8
6	1,8	3,2	6	1,2	1,0
7	2,4	1,0	7	1,6	1,4
8	2,2	2,6	8	2,6	4,0
9	5,0	5,2	9	2,6	2,0
10	3,6	2,4	10	2	1,8
Soma	25,8	27,4	Soma	19,6	20,4
Média	2,58	2,74	Média	1,96	2,04
Média TN.		2,66	Média Cis.		2,00
Média de “Ra” = 2,33 μm					

Tabela A.3- Valores de “Ra” (μm) da superfície preparada com lixa P120.

TN - P120	(μm)	(μm)	Cis-P120	(μm)	(μm)
NºMedições			NºMedições		
1	2,4	1,8	1	2,4	2,4
2	1,6	2,6	2	2,4	2,2
3	1,6	3,4	3	2,0	3,4
4	2,2	3,2	4	1,6	1,2
5	2,6	2,2	5	2,6	3,0
6	2,4	1,6	6	2,0	1,6
7	1,8	3,2	7	2,4	1,6
8	2,4	1,8	8	2,8	3,4
9	1,6	3,0	9	2,2	2,2
10	2,0	1,6	10	2,0	2,2
Soma	20,6	24,4	Soma	22,4	23,2
Média	2,06	2,44	Média	2,24	2,32
Média TN.		2,25	Média Cis.		2,28
Média de “Ra” = 2,27μm					

Tabela A.4- Valores de “Ra” (μm) da superfície preparada com lixa P150.

TN - P150	(μm)	(μm)	Cis-P150	(μm)	(μm)
NºMedições			NºMedições		
1	1,2	0,6	1	1,4	1,2
2	1,6	1,0	2	1,2	1,0
3	1,0	1,2	3	2,0	1,8
4	0,8	1,2	4	1,8	1,6
5	1,8	1,8	5	1,0	2,0
6	1,4	1,6	6	2,0	1,0
7	1,4	1,0	7	1,2	1,0
8	1,8	1,4	8	1,6	2,0
9	2,0	2,0	9	1,4	1,2
10	1,8	1,4	10	1,4	2,2
Soma	14,8	13,2	Soma	15,0	15,0
Média	1,48	1,32	Média	1,5	1,5
Média TN.		1,4	Média Cis.		1,5
Média de “Ra” = 1,45μm					

Tabela A.5- Valores de “Ra” (μm) da superfície preparada com lixa P220.

TN - P220	(μm)	(μm)	Cis-P220	(μm)	(μm)
NºMedições			NºMedições		
1	0,8	1,4	1	1,2	0,6
2	1,0	1,0	2	1,8	1,8
3	0,8	0,8	3	1,2	1,4
4	1,0	1,0	4	1,0	2,0
5	0,8	1,0	5	1,2	1,8
6	1,0	2,4	6	2,4	1,2
7	2,0	2,2	7	2,2	1,2
8	1,8	1,8	8	1,0	1,8
9	0,6	1,0	9	2,8	1,4
10	1,4	1,0	10	1,2	1,6
Soma	11,2	13,6	Soma	16,0	14,8
Média	1,12	1,36	Média	1,60	1,48
Média TN.		1,24	Média Cis.		1,54
Média de “Ra” = 1,39 μm					

APÊNDICE B

Ensaio de cisalhamento na linha de cola.

Tabela B.1 - Resultados da resistência ao cisalhamento da madeira de *Eucalyptus saligna* na linha de cola. (P80)

CPs	Largura a (mm)	Altura (mm)	Seção (cm ²)	F _{v0, max} (Kgf)	f _{v0} (MPa)
CP 1	30,63	50,19	15,37	2024,25	12,91
CP 2	30,71	50,45	15,49	1918,19	12,14
CP 3	30,69	50,56	15,52	2126,43	13,44
CP 4	30,48	50,44	15,37	997,86	6,36
CP 5	30,51	50,61	15,44	1028,86	6,53
CP 6	30,60	50,72	15,52	2108,11	13,32
CP 7	30,51	50,86	15,52	2321,99	14,67
CP 8	30,62	50,62	15,50	2299,08	14,55
CP 9	30,39	50,54	15,36	1232,17	7,87
CP 10	30,66	50,49	15,48	1917,84	12,15
CP 11	30,68	50,29	15,43	1825,17	11,60
CP 12	30,69	50,27	15,43	1874,50	11,92
CP 13	30,66	50,11	15,36	2155,68	13,76
CP 14	30,60	50,18	15,36	1833,98	11,71
CP 15	30,65	50,28	15,41	1939,33	12,34
Média	30,61	50,44	15,44	1840,00	11,69
Desvio Padrão	0,093	0,217	0,063	421,8	2,66
C. V. (%)	0,3025	0,4302	0,409	22,92	22,76

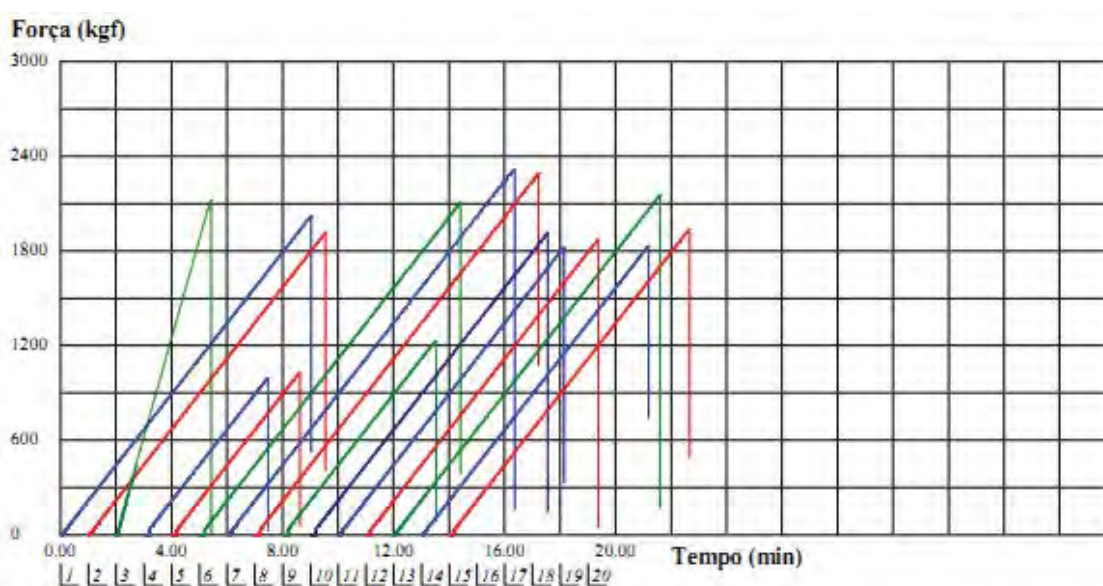


Figura B.1: Gráfico com o comportamento individual dos corpos de prova mostrando a resistência ao cisalhamento da madeira lixada com grana P80, de *Eucalyptus saligna* na linha de cola.

Tabela B.2 - Resultados da resistência ao cisalhamento da madeira de *Eucalyptus saligna* na linha de cola.
(P100)

CPs	Largura a (mm)	Altura (mm)	Seção (cm ²)	F _{v0, max} (Kgf)	f _{v0} (MPa)
CP 1	30,63	50,01	15,32	1707,84	10,93
CP 2	30,66	50,10	15,36	1673,31	10,68
CP 3	30,68	50,25	15,42	1549,64	9,86
CP 4	30,60	50,63	15,49	1707,14	10,81
CP 5	30,97	50,65	15,69	1794,17	11,22
CP 6	30,59	50,48	15,44	2062,66	13,10
CP 7	30,58	50,34	15,39	1154,30	7,35
CP 8	30,58	50,34	15,39	2076,75	13,23
CP 9	30,91	50,27	15,54	1563,02	9,86
CP 10	30,68	50,22	15,41	1801,92	11,47
CP 11	30,60	50,22	15,37	1912,91	12,21
CP 12	30,65	50,42	15,45	2197,25	13,94
CP 13	30,56	50,26	15,36	1846,31	11,79
CP 14	30,67	50,25	15,41	1950,61	12,41
CP 15	30,19	50,58	15,27	1816,01	11,66
CP 16	30,63	50,55	15,48	2035,88	12,89
Média	30,64	50,35	15,42	1803,00	11,46
Desvio Padrão	0,1650	0,1879	0,097	253,7	1,613
C.V. (%)	0,5384	0,3732	0,626	14,07	14,07

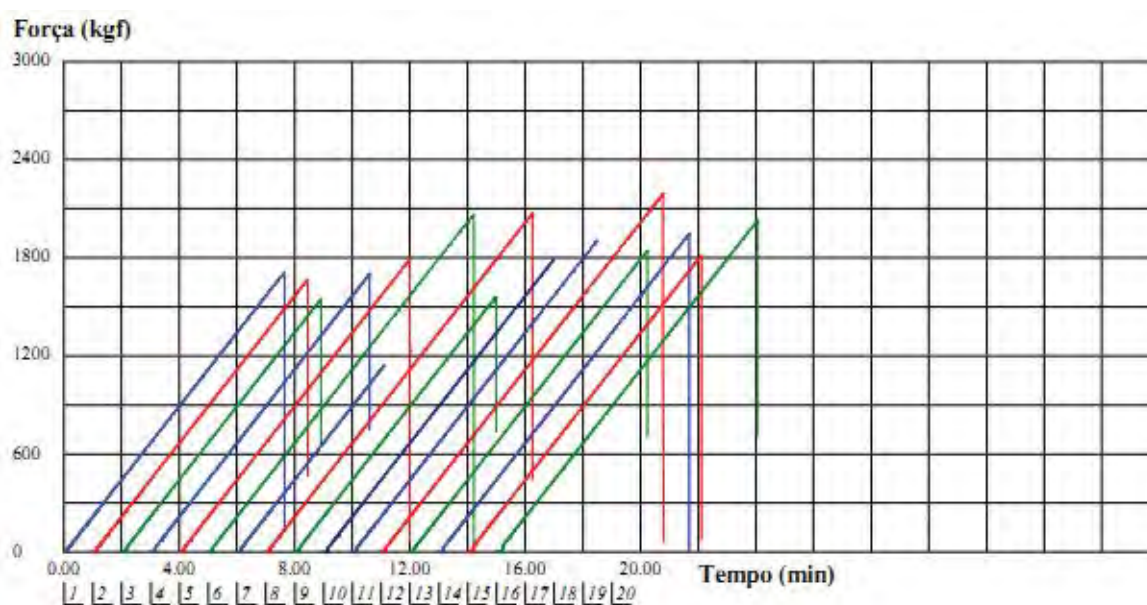


Figura B.2: Gráfico com o comportamento individual dos corpos de prova mostrando a resistência ao cisalhamento da madeira lixada com grana P100, de *Eucalyptus saligna* na linha de cola.

Tabela B.3 - Resultados da resistência ao cisalhamento da madeira de *Eucalyptus saligna* na linha de cola. (P120)

CPs	Largura a (mm)	Altura (mm)	Seção (cm ²)	F _{v0, max} (Kgf)	f _{v0} (MPa)
CP 1	30,65	50,45	15,46	809,70	5,14
CP 2	30,32	50,58	15,34	524,30	3,35
CP 3	30,68	50,00	15,34	1804,74	11,54
CP 4	30,67	50,30	15,43	2230,73	14,18
CP 5	30,61	50,58	15,48	474,62	3,01
CP 6	30,73	50,05	15,38	2206,42	14,07
CP 7	30,67	50,07	15,36	2129,60	13,60
CP 8	30,63	50,09	15,34	2162,37	13,82
CP 9	30,29	50,22	15,21	1400,24	9,03
CP 10	30,68	50,02	15,35	2018,26	12,90
CP 11	30,65	50,26	15,40	1989,37	12,66
CP 12	30,66	50,34	15,43	1326,60	8,43
CP 13	30,61	50,27	15,39	2222,62	14,16
CP 14	30,49	50,18	15,30	2458,35	15,76
Média	30,60	50,24	15,37	1697,00	10,83
Desvio Padrão	0,1346	0,1937	0,071	672,9	4,301
C. V. (%)	0,4399	0,3854	0,456	39,65	39,70

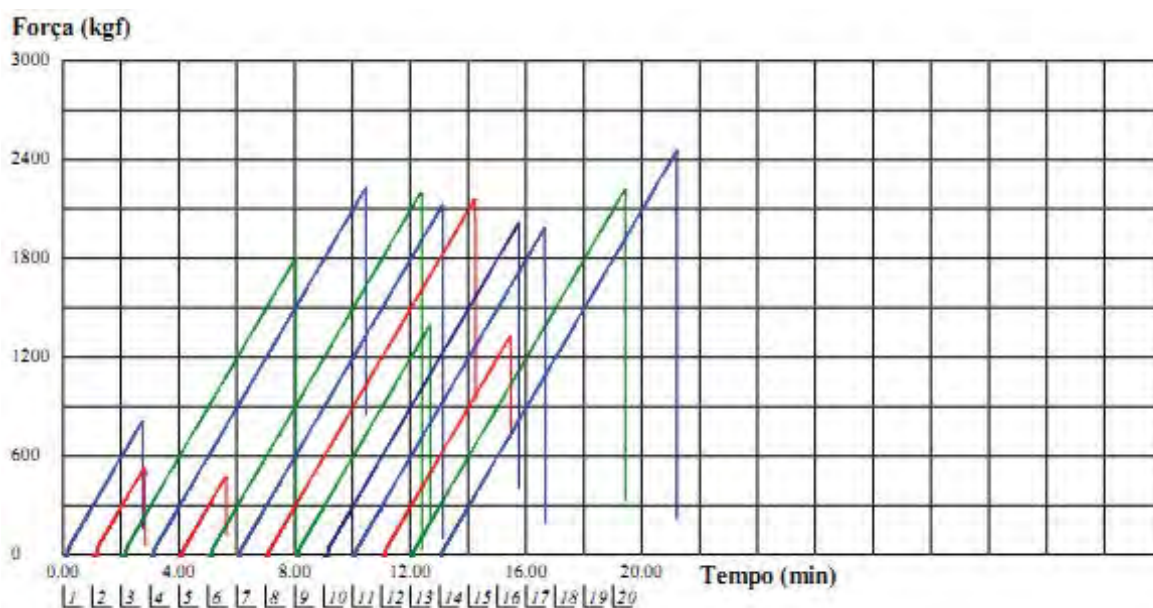


Figura B.3: Gráfico com o comportamento individual dos corpos de prova mostrando a resistência ao cisalhamento da madeira lixada com grana P120, de *Eucalyptus saligna* na linha de cola.

Tabela B.4 - Resultados da resistência ao cisalhamento da madeira de *Eucalyptus saligna* na linha de cola. (P150)

CPs	Largura a (mm)	Altura (mm)	Seção (cm ²)	F _{v0, max} (Kgf)	f _{v0} (MPa)
CP 1	30,64	50,58	15,50	1690,58	10,70
CP 2	30,72	50,45	15,50	1562,32	9,89
CP 3	30,67	50,50	15,49	1975,63	12,51
CP 4	30,59	50,24	15,37	1423,14	9,08
CP 5	30,63	50,36	15,43	1954,49	12,43
CP 6	30,52	50,45	15,40	1743,43	11,10
CP 7	30,62	50,26	15,39	2107,41	13,43
CP 8	30,47	50,14	15,28	1895,64	12,17
CP 9	30,59	50,30	15,39	1777,96	11,33
CP 10	30,68	50,23	15,41	1848,78	11,76
CP 11	30,73	50,55	15,53	1731,45	10,93
CP 12	30,68	50,29	15,43	1859,35	11,82
CP 13	30,65	50,23	15,40	2127,14	13,55
CP 14	30,66	50,21	15,39	1604,95	10,22
CP15	30,58	50,28	15,38	1743,08	11,12
Média	30,63	50,34	15,42	1803,00	11,47
Desvio Padrão	0,0705	0,1355	0,065	194,8	1,247
C. V. (%)	0,2302	0,2692	0,419	10,80	10,88

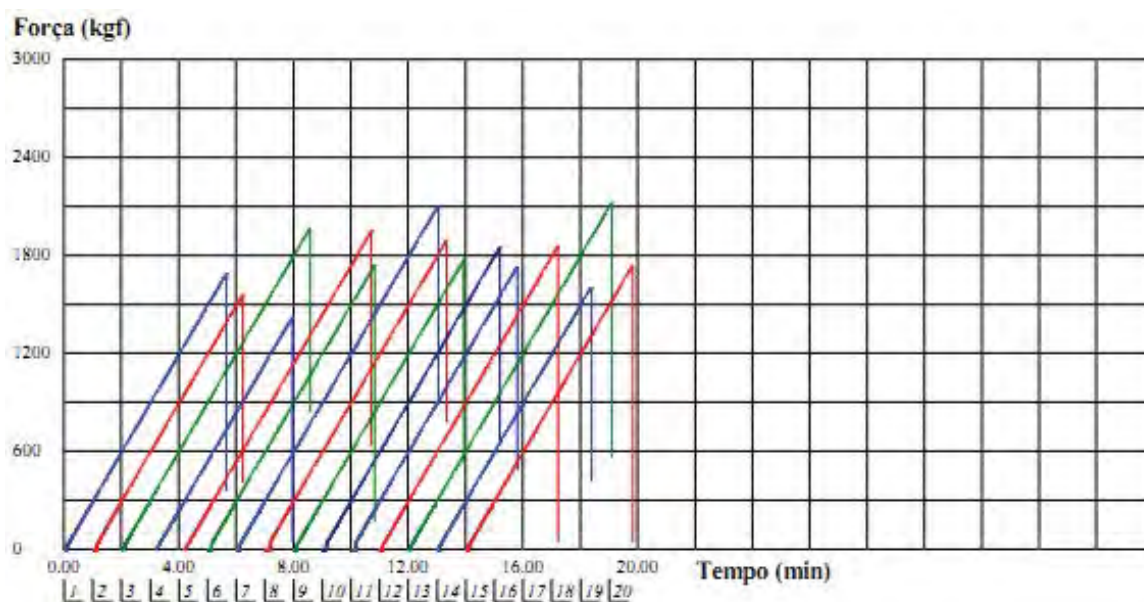


Figura B.4: Gráfico com o comportamento individual dos corpos de prova mostrando a resistência ao cisalhamento da madeira lixada com grana P150, de *Eucalyptus saligna* na linha de cola.

APÊNDICE C

Ensaio de tração normal na linha de cola.

Tabela C.1 - Resultados da resistência a tração normal da madeira de *Eucalyptus saligna* na linha de cola. (P80)

CPs	Largura a (mm)	Espessura (mm)	Seção (cm ²)	F _{t90, max} (Kgf)	F _{t90} (MPa)
CP 1	25,75	30,30	7,80	286,66	3,60
CP 2	25,66	30,58	7,85	381,57	4,77
CP 3	25,68	30,57	7,85	300,27	3,75
CP 4	25,01	30,51	7,63	434,40	5,58
CP 5	24,71	30,54	7,55	430,44	5,59
CP 6	25,75	30,51	7,86	220,08	2,75
CP 7	25,67	30,49	7,83	538,33	6,75
CP 8	25,31	30,50	7,72	482,58	6,13
CP 9	25,38	30,54	7,75	552,91	7,00
CP 10	24,84	30,49	7,57	325,05	4,21
CP 11	24,89	30,52	7,60	379,00	4,89
CP 12	24,87	30,52	7,59	471,13	6,09
CP 13	25,24	30,45	7,69	391,29	4,99
Média	25,29	30,50	7,71	399,5	5,085
Desvio Padrão	0,390	0,0696	0,12	99,22	1,270
C. V. (%)	1,54	0,228	1,51	24,84	24,98

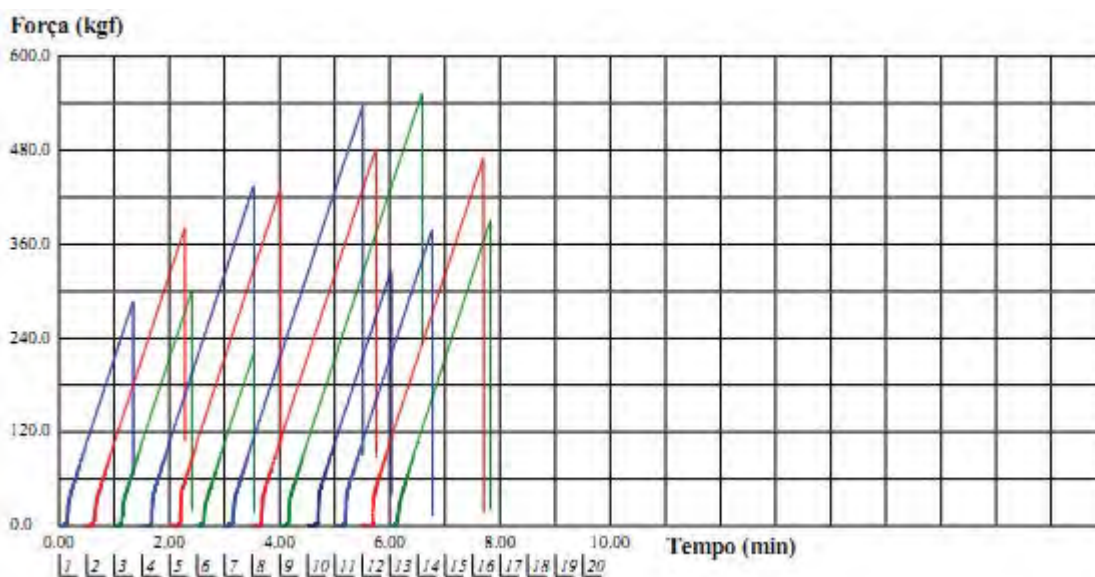


Figura C.1: Gráfico com o comportamento individual dos corpos de prova mostrando a resistência a Tração Normal da madeira lixada com grana P80, de *Eucalyptus saligna* na linha de cola.

Tabela C.2 - Resultados da resistência a tração normal da madeira de *Eucalyptus saligna* na linha de cola. (P100)

CPs	Largura a (mm)	Espessura (mm)	Seção (cm ²)	F _{t90, max} (Kgf)	F _{t90} (MPa)
CP 1	24,86	30,65	7,62	328,04	4,22
CP 2	25,06	30,67	7,69	327,62	4,18
CP 3	24,48	30,68	7,51	320,82	4,19
CP 4	23,16	30,66	7,10	279,51	3,86
CP 5	24,20	30,69	7,43	240,91	3,18
CP 6	24,22	30,65	7,42	354,42	4,68
CP 7	24,96	30,39	7,59	451,06	5,83
CP 8	25,17	30,30	7,63	451,97	5,81
CP 9	25,75	30,73	7,91	146,00	1,81
CP 10	25,49	30,64	7,81	62,21	0,78
CP 11	25,52	30,65	7,82	295,13	3,70
CP 12	24,19	30,47	7,37	374,35	4,98
CP 13	25,41	30,67	7,79	467,38	5,88
Média	24,81	30,60	7,59	315,3	4,085
Desvio Padrão	0,728	0,131	0,23	117,5	1,516
C. V. (%)	2,94	0,427	2,96	37,25	37,10

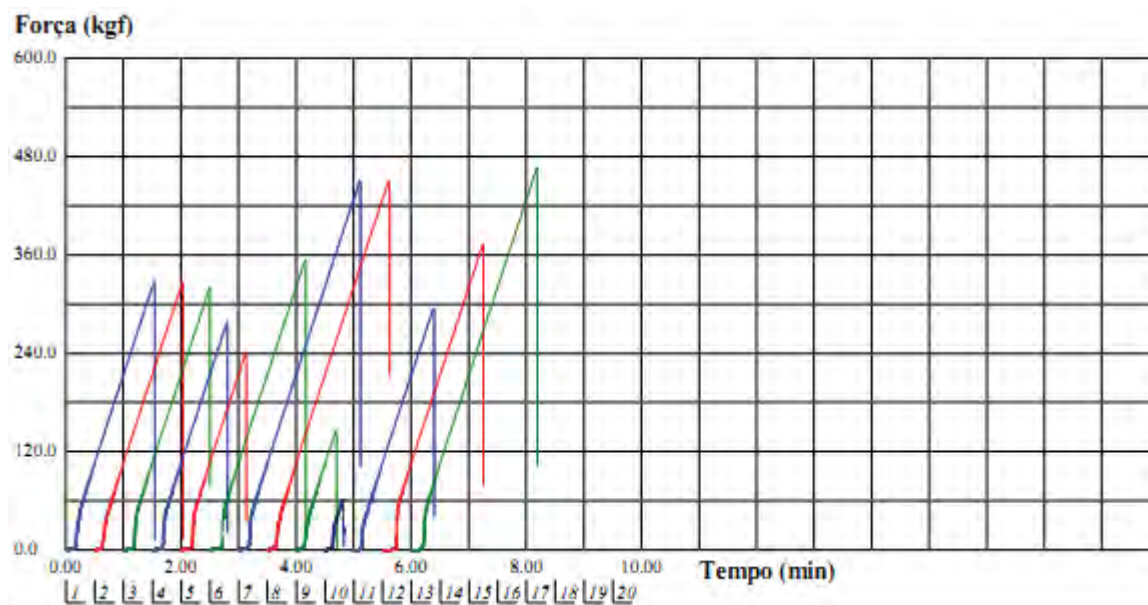
Figura C.2: Gráfico com o comportamento individual dos corpos de prova mostrando a resistência a Tração Normal da madeira lixada com grana P100, de *Eucalyptus saligna* na linha de cola.

Tabela C.3 - Resultados da resistência a tração normal da madeira de *Eucalyptus saligna* na linha de cola. (P150)

CPs	Largura a (mm)	Espessura (mm)	Seção (cm ²)	F _{t90, max} (Kgf)	F _{t90} (MPa)
CP 1	25,28	30,66	7,75	247,85	3,14
CP 2	25,17	30,61	7,70	397,26	5,06
CP 3	25,30	30,53	7,72	264,10	3,35
CP 4	24,91	30,72	7,65	136,35	1,75
CP 5	24,86	30,58	7,60	145,59	1,88
CP 6	25,33	30,64	7,76	81,92	1,04
CP 7	24,64	30,58	7,53	433,71	5,64
CP 8	25,33	30,64	7,76	222,72	2,81
CP 9	25,30	30,67	7,76	46,65	0,59
CP 10	25,93	30,62	7,94	331,23	4,09
CP 11	25,74	30,63	7,88	383,58	4,77
CP 12	24,04	30,71	7,38	426,63	5,67
Média	25,15	30,63	7,71	259,8	3,315
Desvio Padrão	0,497	0,054	0,15	136,3	1,762
C. V. (%)	1,98	0,178	1,94	52,45	53,14

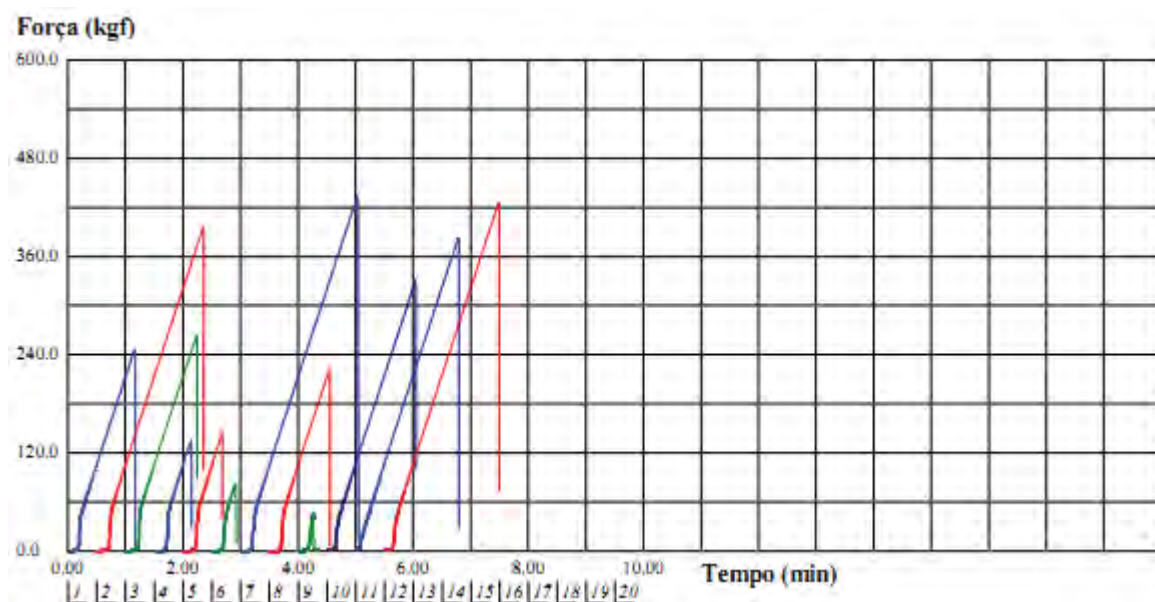
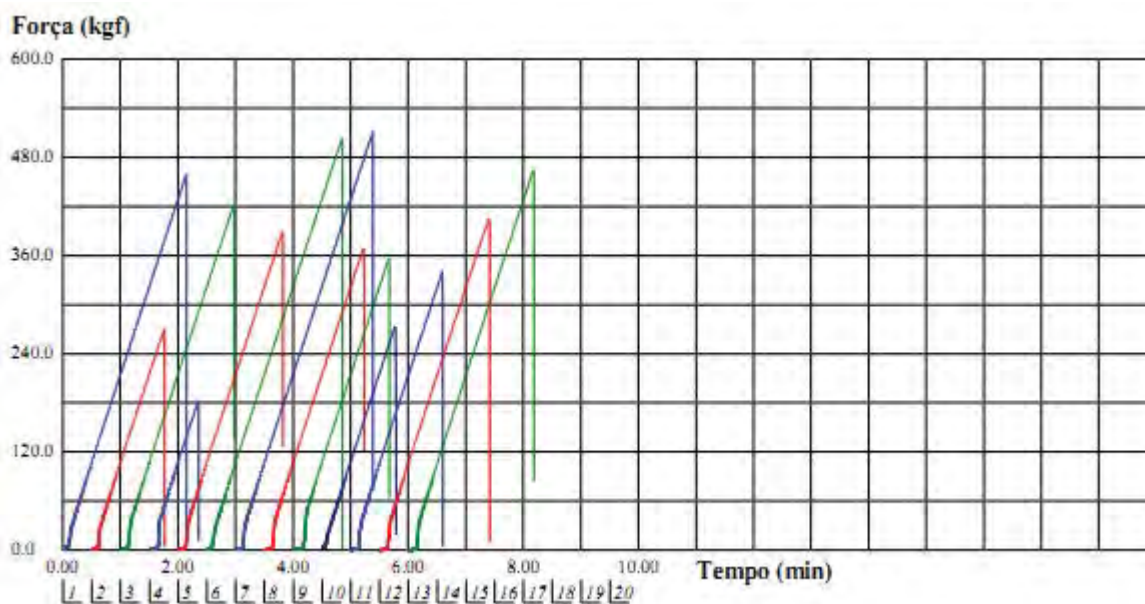
Figura C.3: Gráfico com o comportamento individual dos corpos de prova mostrando a resistência a Tração Normal da madeira lixada com grana P150, de *Eucalyptus saligna* na linha de cola.

Tabela C.4 - Resultados da resistência a tração normal da madeira de *Eucalyptus saligna* na linha de cola. (P220)

CPs	Largura a (mm)	Espessura (mm)	Seção (cm ²)	F _{t90, max} (Kgf)	F _{t90} (MPa)
CP 1	25,43	30,63	7,79	460,23	5,79
CP 2	25,33	30,78	7,80	270,76	3,41
CP 3	25,10	30,60	7,68	421,84	5,39
CP 4	24,96	30,71	7,67	181,20	2,32
CP 5	24,04	30,59	7,35	389,27	5,19
CP 6	25,17	30,62	7,71	504,38	6,42
CP 7	25,20	30,64	7,72	512,02	6,50
CP 8	25,42	30,45	7,74	369,14	4,68
CP 9	23,68	30,81	7,30	357,20	4,80
CP 10	25,90	30,76	7,97	273,68	3,37
CP 11	25,69	30,57	7,85	342,13	4,27
CP 12	25,72	30,80	7,92	405,94	5,03
CP 13	25,41	30,60	7,78	464,74	5,86
Média	25,16	30,66	7,71	381,0	4,85
Desvio Padrão	0,637	0,107	0,19	97,40	1,25
C. V. (%)	2,53	0,35	2,52	25,57	25,68

Figura C.4: Gráfico com o comportamento individual dos corpos de prova mostrando a resistência a Tração Normal da madeira lixada com grana P220, de *Eucalyptus saligna* na linha de cola.