



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**“Julio de Mesquita Filho”**

Campus de Itapeva

Engenharia Industrial Madeireira

LARISSA RIBAS DE LIMA

**EFEITOS DA VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DA  
MADEIRA NO PROCESSO DE LIXAMENTO**

Itapeva, SP

2013

LARISSA RIBAS DE LIMA

**EFEITOS DA VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DA  
MADEIRA NO PROCESSO DE LIXAMENTO**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus Experimental de Itapeva - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a conclusão do curso de Engenharia Industrial Madeireira.

**Orientador:**

Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza.

Itapeva, SP  
2013

Lima, Larissa Ribas de

L732e Efeitos da variação do teor de umidade da madeira no processo de  
lixamento / Larissa Ribas de Lima. -- Itapeva, SP, 2013  
63 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia  
Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista, Câmpus de  
Itapeva, 2013

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza  
Banca examinadora: Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves;  
Prof. Msc. Paulo Roberto Gomes Alves  
Bibliografia

1. Usinagem. 2. Madeira -- Efeito da Umidade. 3. Trabalhos em  
madeira -- Ferramenta. I. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia  
Industrial Madeireira.

CDD 674.1

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar agradeço a Deus por estar sempre comigo, me amparando e cuidando de mim, me auxiliando nas escolhas e me concedendo discernimento e sabedoria nos momentos em que mais preciso.

Aos meus pais, João Calil e Loide, e irmãos, Rafael e Rodrigo, pelo amor que me dedicam e por eles serem uma referência para mim, me ensinando a valorizar o estudo e a buscar o conhecimento, sem deixar de lado, a vida pessoal.

Ao meu marido e amigo, Wildenson, por me incentivar a correr atrás dos meus objetivos e me amparar em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves, por ter me incentivado a entrar na área de pesquisa e a realizar este trabalho, bem como, pela paciência e dedicação.

Ao meu amigo Carlino pela imensa ajuda concedida neste trabalho, disponibilizando tempo e paciência. À Sarah David e ao Alexandre Camargo, pela amizade e também pela contribuição para a realização deste trabalho.

Aos meus amigos desde o início da graduação, Alexandre Castelhana, Gabriel, Mariane, Samuel e Sâmique, pelas risadas, “brigas” e momentos de estudo, que foram muito importantes para mim. Ao Maurício, Maria Angélica, Manuh, Pricila e Tiago, pela amizade criada durante a graduação.

E a Fapesp- Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela bolsa de iniciação científica concedida.

*“A coisa mais indispensável a um homem é reconhecer o uso que deve fazer do seu próprio conhecimento.”*

Platão

**RESUMO**

O processo de lixamento de madeiras é pouco conhecido e as indústrias o utilizam de forma prática sem ter estudado suas melhores condições. São raras as pesquisas envolvendo esta forma de usinagem. Com base nisto, o presente trabalho estudou os efeitos da variação do teor de umidade da madeira na qualidade superficial da mesma, após o processo de lixamento. Os ensaios foram realizados em uma lixadeira horizontal plana com corte paralelo às fibras, utilizando: 02 espécies diferentes (*Pinus elliottii* e *Corymbia citriodora*); 01 lixa com material abrasivo de óxido de alumínio e 03 diferentes granulometrias de lixas (P80, P100 e P120). Inicialmente, as peças foram climatizadas (7%  $\pm$ 2, 12%  $\pm$ 2 e 17%  $\pm$ 2) e posteriormente, passaram pelo processo de lixamento e verificou-se a rugosidade das mesmas. Para cada condição foram feitas 06 repetições totalizando 54 ensaios para cada espécie. Foram analisados os efeitos da umidade da madeira através da captação da potência de lixamento, rugosidade, emissão acústica e temperatura máxima durante o lixamento. A variação do teor de umidade produziu mudanças na qualidade superficial das peças acabadas sendo estas mudanças mais acentuadas no Pinus do que no Corymbia. Durante o processo lixamento dos corpos de prova com 7% e 12% de umidade, houve uma menor emissão acústica, potência consumida e aquecimento da superfície. Ao verificar a rugosidade destas peças após este processo, se observou que a qualidade superficial delas foram superiores as peças lixadas que continham 17 % de umidade.

Palavras-chave: Processo de Lixamento. Umidade da madeira. Qualidade Superficial.

## ABSTRACT

The process of sanding wood is little known and industries use it in a practical way without having studied their best conditions before. There are few studies involving this type of machining. On this basis, this paper studied the effects of varying moisture content of the wood surface quality after the sanding process. It was used a sanding machine with flat horizontal cut parallel to the fibers, using: 02 different species (*Pinus elliottii* and *Corymbia citriodora*); 01 sanding abrasive (aluminum oxide) and 03 different particle size abrasives ( P80 , P100 and P120 ) . Initially, the pieces were acclimatized (  $2 \pm 7\%$  , 12% and  $17\% \pm 2 \pm 2$  ) and subsequently passed by the sanding process, and therefore, the surface roughness was analyzed. For each condition, were performed 06 repetitions totaling 54 trials for each species. We analyzed the effects of wood moisture by capturing the power sanding, roughness, acoustic emission and maximum temperature during the sanding process. The variation of moisture content produced changes in the surface quality of the finished parts, and these changes were more marked in Pinus than Corymbia. During the sanding process of the specimens with 7 % and 12 % humidity, there was a lower noise emission, power consumption and heating surface. When checking the roughness of these parts after this process, it was observed that the surface quality of them were superior in the parts sanded containing 17 % moisture.

Key-words: Sanding Process. Wood Humidity. Surface Quality .

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	9
2	OBJETIVOS.....	11
2.1	Objetivos gerais .....	11
2.2	Objetivos específicos: .....	11
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
3.1	Madeira .....	12
3.2	Teor de umidade da madeira .....	13
3.3	Localização da água na Madeira .....	13
3.4	Movimento da Água na Madeira .....	13
3.5	Umidade de Equilíbrio da Madeira .....	14
3.6	Ponto de Saturação das Fibras.....	14
3.7	Contração e inchamento da madeira .....	14
3.8	Relação entre a umidade, densidade e tenacidade da madeira. ....	15
3.9	Pinus elliottii .....	15
3.10	Corymbia citriodora.....	16
3.11	Lixamento e lixas .....	17
3.11.1	Grão abrasivo: Óxido de Alumínio ( $Al_2O_3$ ).....	19
3.11.2	Lixadeira plana.....	20
3.12	Rugosidade.....	21
3.12.1	Sistema de medição da rugosidade superficial através da linha média 22	
3.12.2	Rugosidade Média ( $R_a$ ).....	23
3.13	Potências de lixamento.....	23
3.14	Emissão acústica .....	24
3.15	Transferência de calor por condução.....	24
4	MATERIAIS E MÉTODOS .....	25
4.1	Preparação dos corpos de prova .....	25
4.2	Variação de umidade e lixamento das amostras.....	25
4.3	Descrição do banco de ensaios .....	28
4.4	Variáveis do lixamento realizado.....	29
4.5	Análise das variáveis de saída.....	30



4.5.1	Aquisição da Potência de lixamento .....	30
4.5.2	Medição da Rugosidade Média (Ra) .....	31
4.5.3	Emissão acústica.....	32
4.5.4	Temperatura .....	33
4.5.5	Programa de aquisição de dados .....	33
4.5.6	Programa para tratamento dos dados .....	34
4.5.7	Tratamento estatístico dos resultados .....	34
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
5.1	Rugosidade .....	35
5.2	Emissão Acústica .....	39
5.3	Potência .....	44
5.4	Temperatura máxima durante o lixamento .....	50
5.5	Discussões em geral.....	55
5.5.1	Rugosidade .....	55
5.5.2	Emissão Acústica .....	56
5.5.3	Potência.....	56
5.5.4	Temperatura máxima no processo de lixamento .....	57
6	CONCLUSÃO.....	59
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60

## 1 INTRODUÇÃO

O Laboratório de Usinagem e Automação (LUA) localizado no Campus da Unesp de Itapeva vem investigando o processo de lixamento de madeiras. Estes estudos objetivam conhecer o processo de lixamento e a influência de suas variáveis e de seus parâmetros de corte na qualidade das peças produzidas e nos esforços gerados durante o lixamento. Os trabalhos realizados ou que estão em execução até o momento estão buscando conhecer a influência da velocidade de corte, pressão de lixamento, tipo de material abrasivo, tamanho de grão abrasivo (granulometria da lixa), desgaste das lixas, e velocidade de avanço.

Estes estudos estão sendo realizados com coníferas e folhosas, porém sempre mantendo o teor de umidade da madeira controlado em um único valor (12%). Entretanto é de conhecimento científico que o teor de umidade da madeira varia desde o abate da árvore até o momento que este entre em equilíbrio com a umidade do ambiente. Como consequência da variação do teor de umidade várias características e propriedades das madeiras são afetadas como resistência mecânica, massa, densidade, dimensões (retração e inchamento), entre outras.

Um exemplo das consequências das mudanças ocorridas na madeira devido à variação do teor de umidade está em um problema comum em indústrias de móveis que produzem suas peças com dimensões controladas em uma determinada umidade relativa. Quando estes móveis ou peças são vendidas e/ou exportadas para países/regiões com condições de umidade diferentes do local onde elas foram fabricadas, as dimensões não conferem com as originais (retração ou inchamento).

Outro efeito notado em madeiras ocorre quando estas recebem tintas, vernizes ou seladores. Estes produtos afetam a qualidade superficial devido ao “arrepimento” das fibras.

Também é percebido em indústrias que produzem painéis do tipo “sarrafeado colado” através de serramento, que a qualidade das bordas serradas

varia em função do teor de umidade da madeira proveniente do processo de secagem.

Portanto, sabendo que a variação do teor de umidade influencia em várias características da madeira, esta pesquisa estudou os efeitos da variação do teor de umidade na qualidade superficial e nos esforços de corte em peças lixadas.

Foram analisados os efeitos do teor de umidade da madeira através da captação da potência de lixamento, rugosidade, aquecimento e emissão acústica.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivos gerais**

Analisar os efeitos da variação do teor de umidade da madeira na qualidade superficial, na potência consumida, na emissão acústica e no aquecimento de peças processadas através do lixamento plano com diferentes granulometrias de lixas em duas diferentes espécies (*Pinus elliottii* e *Corymbia citriodora*).

### **2.2 Objetivos específicos:**

- Estudar o comportamento da potência de lixamento e da emissão acústica durante o processo de lixamento de madeiras com diferentes teores de umidade;
- Analisar o comportamento do aquecimento e da rugosidade das peças para as diferentes condições testadas;
- Comparar os efeitos em madeiras com diferentes densidades (coníferas e folhosas);

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica apresentada a seguir apresenta os conceitos técnicos utilizados neste trabalho, a fim de servir como embasamento teórico para a realização do mesmo.

#### 3.1 Madeira

Ao analisar a madeira, uma matéria-prima muito antiga, é possível observar, sem a ajuda de instrumentos ópticos, as diferenças não só entre folhosas e coníferas, como também, entre as inúmeras espécies existentes, e até mesmo, dentro da própria madeira (exemplo: cerne e alburno). As coníferas possuem uma estrutura relativamente simples, no qual, 90-95% desta estrutura, é constituída de traqueídes, tendo como característica, fibras longas. As folhosas são constituídas de fibras (mais curtas quando comparadas com as fibras das coníferas) e vasos (FENGEL & WEGENER, 1984).

Segundo Oliveira (2009), os constituintes químicos da madeira são:

- Os Extrativos: responsáveis pela durabilidade da madeira e influenciam nos processos de adesão e higroscopicidade da madeira, além de proporcionarem as características referentes à cor e odor do material.
- A Celulose: que possui estrutura ordenada e cristalina, proporcionando estabilidade térmica e baixa reatividade da madeira.
- A Lignina: constituída de estruturas fenólicas de variadas massas molares, possui estrutura amorfa, confere rigidez a madeira e promove as ligações entre os elementos da madeira.
- A Hemicelulose: Este constituinte se difere da celulose por apresentar ramificações, grau de polimerização menor e ser formado por várias unidades de açúcares.

### 3.2 Teor de umidade da madeira

Segundo a Forest Products Laboratory (1999), o teor de umidade da madeira é definido como a massa de água contida na mesma em relação à sua massa seca, geralmente, representada como porcentagem. Sendo a massa, a retração, a resistência e outras propriedades dependentes deste teor. Em coníferas (*softwoods*), o teor de umidade do alburno é maior do que no cerne, enquanto, em folhosas (*hardwoods*), a diferença entre o teor de umidade destes, depende da espécie.

Oliveira et al. (2005), analisaram a variação do teor de umidade na madeira de sete espécies de eucalipto (*Corymbia citriodora* – ex *Eucalyptus citriodora*, *E. tereticornis*, *E. paniculata*, *E. pilularis*, *E. cloeziana*, *E. urophyllae*, *E. grandis*), devido as altas variações de umidade causarem defeitos de secagem tais como: empenamento e fendilhamento. De acordo com os resultados obtidos, o *E. paniculata* e o *E. citriodora* foram mais homogêneos quanto à distribuição de umidade na madeira e o *E. urophyllae* o *E. grandis*, os mais heterogêneos. Madeiras mais homogênea, comportam-se melhor nas operações de processamento e possuem maior uniformidade.

### 3.3 Localização da água na Madeira

Na madeira, a água de capilaridade ou água livre encontra-se nos vasos, canais e lúmen das células. A água de adesão ou higroscópica está no interior das paredes celulares. Podendo também apresentar, água em forma de vapor nos seus capilares, porém, esta água pode ser desprezada por causa da sua baixa densidade quando comparada com a água capilar e higroscópica (GALVÃO; JANKOWSKY, 1985).

### 3.4 Movimento da Água na Madeira

A água se movimenta na madeira na forma de vapor ou líquido, e sempre, da área de alta umidade para a de baixa umidade. Portanto, para que ocorra a secagem da madeira, a parte externa deve estar mais seca do que a interna, onde, conforme vai diminuindo a umidade superficial há a movimentação da água do

interior para o exterior, através de passagens tais como, cavidades das fibras e vasos, células radiais, pontuações, aberturas, dutos de resina, entre outros, gerando um gradiente de umidade conforme a distância. Sendo este processo, acelerado em altas temperaturas (PONCE; WATAI, 1985).

### **3.5 Umidade de Equilíbrio da Madeira**

Após o abate da árvore, a madeira tende naturalmente a equilibrar-se com a umidade relativa do ambiente onde se encontra (GONÇALVES, 2000). Este material quando úmido tende a perder vapor d'água para a atmosfera, e quando seco, tende a absorver vapor d'água, até o momento em que este equilíbrio é alcançado (PONCE; WATAI, 1985).

### **3.6 Ponto de Saturação das Fibras**

Quando a madeira contém o mínimo de água livre e o máximo de água de impregnação, diz-se que ela atingiu o ponto de saturação das fibras (PSF), onde, a partir deste, a diminuição do teor de umidade deve ser feita de forma forçada e ocorre retração da madeira, sendo esta, maior no sentido tangencial (GONÇALVES, 2000). De acordo com Galvão e Jankowsky (1985), até o PSF, evapora-se a água de capilaridade (ou água livre). E, após este, permanece na madeira a água de adesão (ou higroscópica).

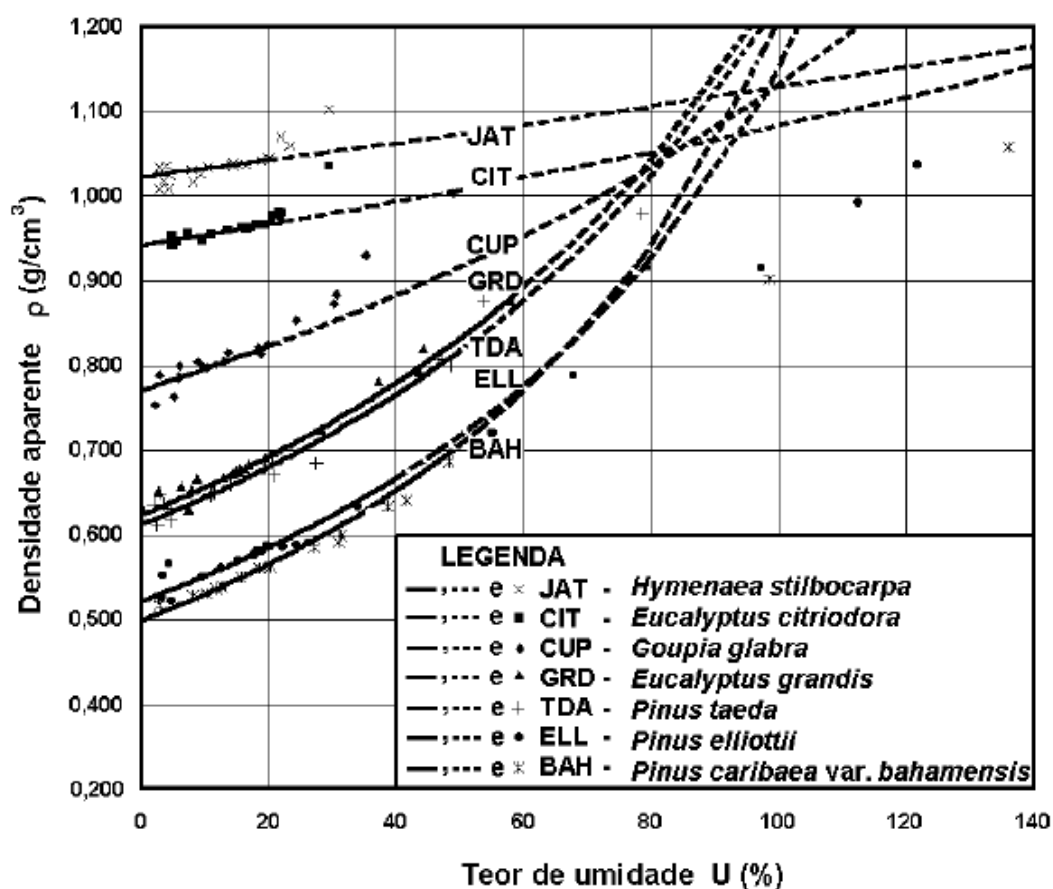
### **3.7 Contração e inchamento da madeira**

No momento em que a madeira perde umidade, os elementos da parede celular posicionam-se nos lugares onde havia água, diminuindo, portanto, o volume da parede celular (contraem-se). E quando, ela absorve umidade, a água faz com que aumente o volume das paredes celulares (incham-se) (PONCE; WATAI, 1985).

### 3.8 Relação entre a umidade, densidade e tenacidade da madeira.

Através do modelo de regressão apresentado por Logsdon e Júnior, (2002), observa-se que com o aumento do teor de umidade há um aumento da densidade aparente (Figura 1), sendo,  $R^2 = 0,9934$  para o *Pinus elliotii* e  $R^2 = 0,9325$  para o *Corymbia citriodora*, o que indica que o modelo apresenta um melhor ajuste para o Pinus.

Figura 1: Efeito da densidade aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) sobre a tenacidade ( $\text{Kgf cm/cm}^2$ )



Fonte: Logsdon e Júnior, (2002)

### 3.9 Pinus elliotii

O *Pinus elliotii* é muito utilizado em produtos de madeira maciça, mas é necessária a utilização de preservantes com frequência no material. Ele é muito útil na construção civil, molduras, em marcenarias, pisos, carrocerias, caixas,



brinquedos, barcos, madeira compensada etc. Usado também como lenha e para a extração da resina, que após a sua destilação, obtém-se o breu e a terebintina, muito utilizados na indústria de papel e tintas, respectivamente (LOUPPE *et al.*, 2008).

Serpa *et al.*, (2003) estudaram algumas propriedades das madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii* e observaram que a madeira de Pinus foi a que apresentou a menor densidade básica, contração volumétrica, resistência à flexão e à compressão.

De acordo com a norma ABNT NBR 7190/1997 o *Pinus Elliottii* apresenta as seguintes características físicas e mecânicas:  $\rho_{ap,12\%} = 560 \text{ Kg/m}^3$ ,  $E_{co} = 11\,889 \text{ MPa}$  e  $f_{co} = 40,4 \text{ MPa}$ .

### 3.10 *Corymbia citriodora*

O *Corymbia citriodora* (ex *Eucalyptus citriodora*) é uma espécie caracterizada por possuir porte médio a grande, com media de 50 metros de altura e 1,2 metros de DAP (diâmetro altura do peito), com pouca folhagem e uma ótima forma de tronco. Esta, no Estado de São Paulo, tem boa resistência à escassez de água e é suscetível à geadas. É comum a incidência de bifurcações nestas árvores devido às deficiências nutricionais em solos pobres. Esta folhosa, por sua vez, regenera-se bem através de brotações das cepas (INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISAS FLORESTAIS, 2012).

Lemos *et al.*,(2012) estudaram a variação das propriedades físicas da madeira de *Corymbia citriodora* e os resultados mostraram que a densidade básica da espécie em estudo apresentou pouca variação entre as posições cerne/alburno e no sentido longitudinal, obtendo no cerne valores entre (0,575 e 0,598 g.cm<sup>-3</sup>) e no alburno entre (0,600 e 0,634 g.cm<sup>-3</sup>). A contração volumétrica da madeira do cerne apresentou variações significativas no sentido longitudinal e entre o cerne/alburno.

De acordo com a norma ABNT NBR 7190/1997 o *Corymbia citriodora* apresenta as seguintes características físicas e mecânicas:  $\rho_{ap,12\%} = 999 \text{ Kg/m}^3$ ,  $E_{co} = 18421 \text{ MPa}$  e  $f_{co} = 62 \text{ MPa}$ .

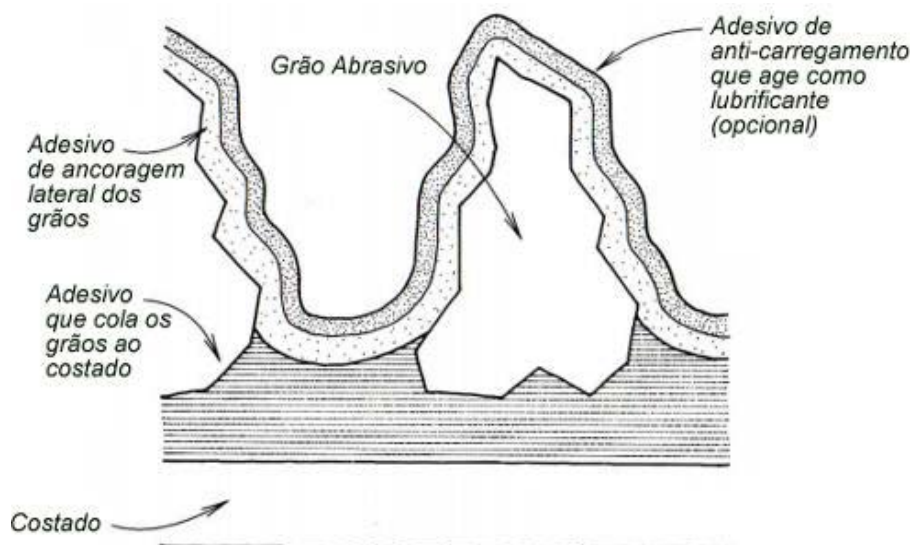
### 3.11 Lixamento e lixas

O lixamento (usinagem por grãos abrasivos) é um dos processos mais caros na indústria madeireira. Este processo é difícil de ser caracterizado e analisado por causa da natureza aleatória e distribuição dos grãos na lixa. No caso de lixamento de materiais heterogêneos como a madeira, a complexidade do processo aumenta e muitas variações devem ser consideradas (SALONI *et al.*, 2010).

No processo de lixamento a superfície da madeira é nivelada, eliminando danos provenientes do processamento mecânico realizado, tornando possível a aplicação de produtos químicos (tintas, seladores, etc.). A lixa utilizada neste processo é constituída de grãos abrasivos alicerçado em uma matriz (Figura 2). O lixamento pode ser finalizado no momento em que as cavidades deixadas pela lixa no material tornam-se invisíveis a olho nu, estas cavidades são proporcionais ao tamanho do grão usado (Figura 3).

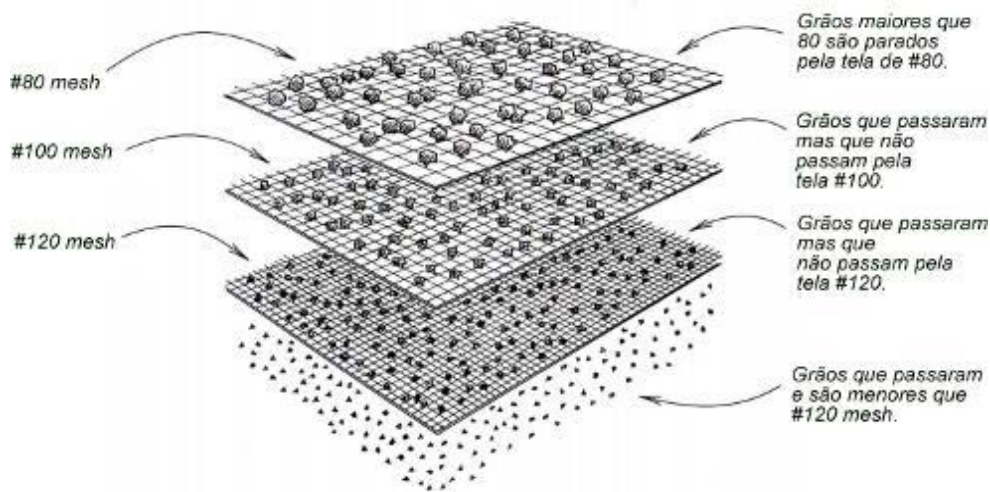
De acordo Gonçalves *et al.*, (2010), durante o processo de lixamento a formação de cavaco através do uso de abrasivo é efetuada em um primeiro instante, pelo contato grão-peça dando início a deformação elástica, posteriormente ocorre a deformação plástica e por fim, o corte e saída do cavaco (Figura 4).

Figura 2: Anatomia da lixa de papel



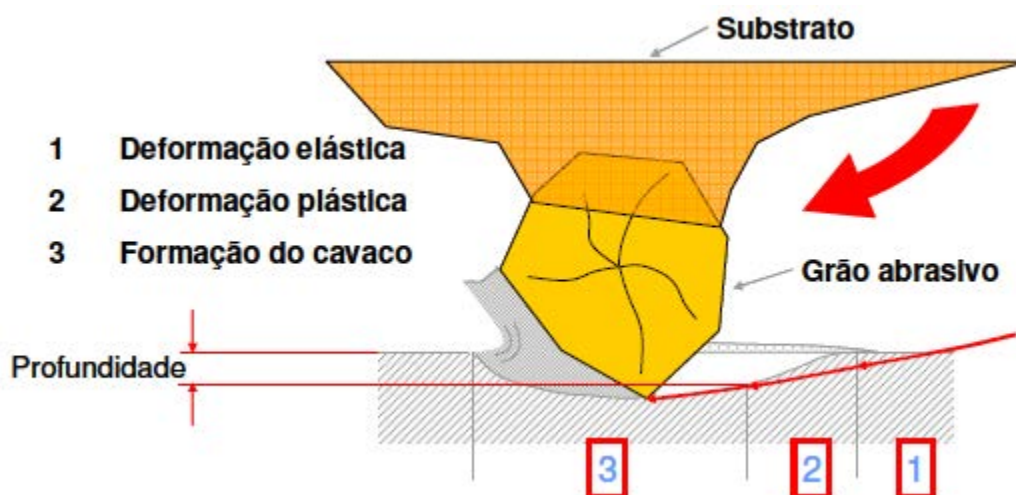
Fonte: Adaptado de Nagyszalanczy (1997)

Figura 3: Sistema de gradeação dos grãos abrasivos



Fonte: Adaptado de Nagyszalanczy (1997)

Figura 4: Representação esquemática da remoção do cavaco



Fonte: Gonçalves et al. (2010)

A usinagem por abrasão melhora a superfície da madeira, sendo este processo imprescindível quando este material for passar por uma posterior etapa de envernizamento ou pintura por exemplo. Um bom lixamento assegura uma melhor penetração e uniformidade do produto aplicado no material. No entanto, um problema intrínseco ao lixamento de madeira é o fato de existir heterogeneidade nesta matéria-prima (espécie, diferentes densidades, dureza, orientação das fibras, tamanhos de poros, divergência entre madeira jovem e velha), fazendo com que,

seja necessária a troca de lixas para diferentes tipos de madeira. Muitas indústrias de móveis não se atentam a esses fatores, e acabam utilizando o mesmo procedimento para todas as espécies de madeira usadas (HENDARTO, 2013).

### 3.11.1 Grão abrasivo: Óxido de Alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

O óxido de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) foi descoberto por Ernst Moyta em 1984, e dentro dos abrasivos este material tem uma importância que se compara de forma análoga, ao que o aço representa para o metalurgista. A industrialização de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se iniciou através da fundição de bauxita (minério com alto teor de alumina) (NUSSBAUM, 1988).

Segundo Zacarias (2012), este abrasivo é utilizado em lixas de folha, cinta e disco, sendo ele, o mais popular de todos os grãos abrasivos. Este material é comercializado em várias granulometrias, o qual possui como característica, um bom equilíbrio entre dureza, afiação, e resistência. E, devido a sua forma ser de cunha, permite-se que o grão penetre em madeiras densas sem que ocorra a ruptura do mesmo.

Para Juan (1992 *apud* MOURA; HERNÁNDEZ, 2006) e Taylor *et al.*, (1999 *apud* MOURA; HERNÁNDEZ, 2006), o óxido de alumínio, é o mais adequado para o lixamento da madeira devido a sua durabilidade e ao acabamento proporcionado a peça. Os grãos deste material são pontudos (Figura 5) e mais eficientes quando se trata da remoção de materiais (KWH MIRKA Ltda, 2013).

Figura 5: Grãos de óxido de Alumínio

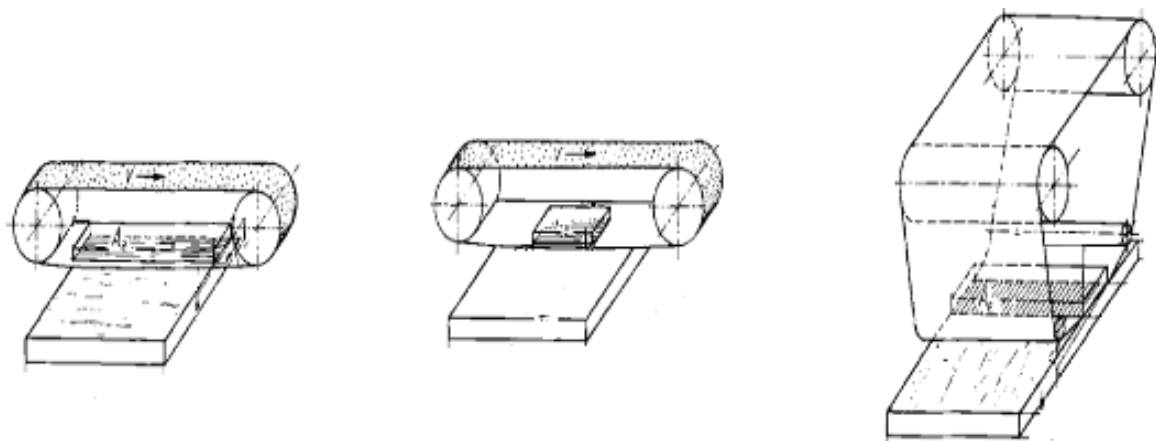


Fonte: KwhMirkaLtda (2013)

### 3.11.2 Lixadeira plana

Quando o lixamento é em uma área de contato plana (Figura 6) entre a cinta da lixa e da peça de trabalho, a lixa, passa na área de envolvimento plana ou membro de suporte da lixa. Elementos de apoio são usados nas chapas, de pressão, das vigas e nas sapatas com pressão. A pressão pode ser aplicada mecânica ou manualmente. A velocidade de corte para o processo de lixamento é uma variável operacional chave (PAHLITZSCH, 1970).

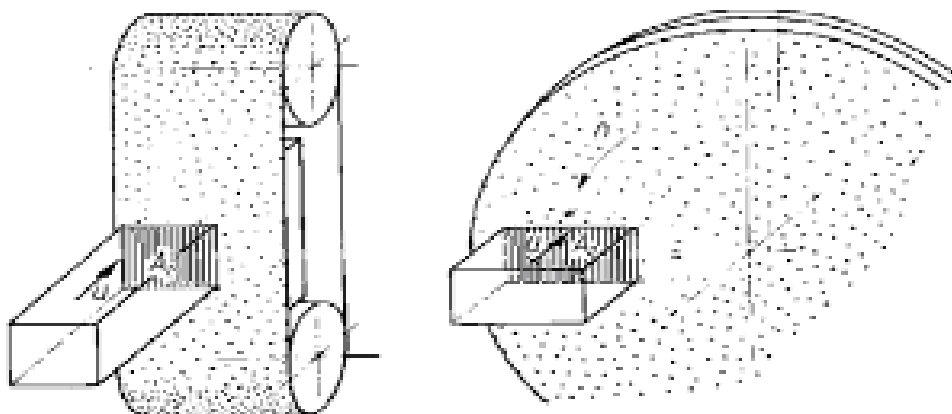
Figura 6: Lixamento com uma zona de contato plana



Fonte: Pahlitzsch (1970)

Para o caso de peças de lixamento menores, são usados como mostrados na Figura 7. Nessa, a alimentação da peça de trabalho é perpendicular ao plano da fita ou disco. Uma desvantagem da lixadeira de disco, é que a velocidade de corte do disco no centro muda, para as da velocidade da borda (PAHLITZSCH, 1970).

Figura 7: Lixamento com uma zona de contato plana: rotação  $n$



Fonte: Pahlitzsch (1970)

### 3.12 Rugosidade

A rugosidade é caracterizada pelas irregularidades existentes em uma superfície usinada. Estas irregularidades podem ser determinadas através das dimensões dos picos e vales, produzidos durante as operações de usinagem ou por propriedades estruturais anatômicas na superfície do material. Os parâmetros  $R_a$ ,  $R_z$  e  $R_{max}$  são os mais usuais para definir a qualidade superficial. Esta qualidade é influenciada por diversos fatores que podem estar relacionado tanto com as condições de usinagem (velocidade de corte e ângulo de inclinação da ferramenta) como com as propriedades da madeira (teor de umidade, densidade, número e distribuição do diâmetro interno de traqueídes e vasos) (MAGOSS, 2008).

De acordo com o sistema superfície-textura proposto por Marianet *al.*, (1958 apud BUDAKCI, 2007), a estrutura anatômica causa um primeiro grau de textura (diâmetro dos vasos e traqueídes e espessura as células). Um segundo grau é proporcionado devido ao processo de usinagem (marcas e dentes das serras e ondulações formadas por plainas). E um terceiro grau é devido aos resultados das variações no processo de usinagem (vibração, desalinhamento e ferramentas sem afiação adequada).

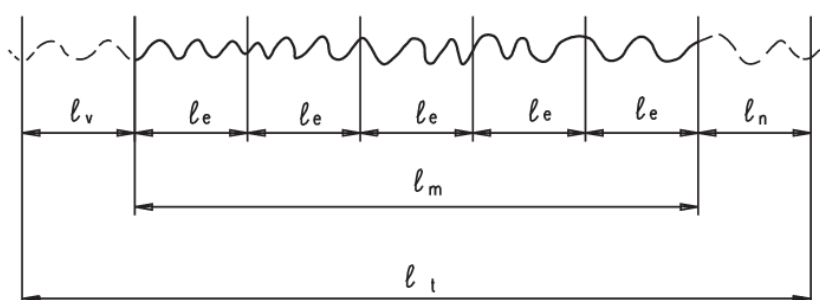
Há diversos instrumentos para medir a rugosidade de diferentes superfícies, tais como: o perfilômetro stylus, perfilômetro óptico, luz ultra-óptica e análise de imagens usando a câmera de vídeo. Estes equipamentos são

desenvolvidos para medição de materiais como plástico e metal. Porém, não há um dispositivo específico para medição de superfícies de madeira, devido à complexidade deste material, já que o mesmo, não possui uma estrutura anatômica homogênea. Os métodos tradicionais para medição de qualidade superficial incluem abordagens visuais e táteis. Entretanto, apenas a comparação bruta é possível, fazendo com que informações específicas sobre a superfície não sejam quantificadas. (HENDARTO, 2006).

### 3.12.1 Sistema de medição da rugosidade superficial através da linha média

De acordo com a norma NBR 4287/2002 o comprimento de amostragem ( $l_e$ ) é o comprimento em direção ao eixo X e o comprimento de avaliação ( $l_m$ ) é o comprimento em direção ao eixo X que pode conter um ou mais  $l_e$ . O  $l_e$  é utilizado para identificar as irregularidades do perfil avaliado. É recomendado que o  $l_m$  seja de cinco vezes o comprimento de amostragem, como é mostrado na Figura 8.

Figura 8: Comprimentos de amostragem ( $l_e$ )



Fonte: NBR 6405 (1988)

$l_e$ : comprimento de amostragem (“cut-off”);

$l_m$ : comprimento de avaliação;

$l_t$ : comprimento total de medição;

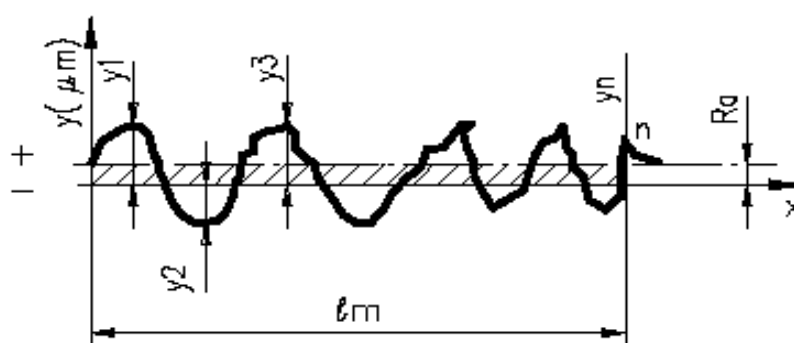
$l_v$ : comprimento para atingir a velocidade de medição do apalpador;

$l_n$ : comprimento para parada do apalpador.

### 3.12.2 Rugosidade Média (Ra)

A rugosidade média (Ra) é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas no comprimento da amostragem (Figura 9), ele é o mais utilizado pela indústria entre os parâmetros de amplitude, sendo ele, disponível em instrumentos mais simples, no entanto, para identificação de algumas características da superfície ele não é suficiente (MACHADO *et al.*, 2009).

Figura 9: Parâmetro de Rugosidade Ra



Fonte: Carpinettiet *al.*, (1996)

### 3.13 Potências de lixamento

Potência de corte é o produto da velocidade de corte com a força de corte (FERRARESI, 1977). Para calcular a potência de corte, é necessário determinar a pressão específica de corte, a qual representa a resistência da madeira à usinagem. Quando esta potência torna-se conhecida, é possível otimizar o processo, pois, possibilita a utilização do material até seu máximo rendimento. Ela varia de acordo com a espécie, densidade, teor de umidade, direção de corte, entre outros (GONÇALVES, 2000).

Experimentalmente, a potência de usinagem pode ser mensurada durante um processo, através da tensão e da corrente elétrica consumida. A tensão pode ser obtida através do uso de volímetros e para a corrente pode-se utilizar amperímetros em série, no entanto, pode haver problemas de intrusão em máquina-ferramenta. Os



dispositivos de Efeito Hall evitam este tipo de problema, colocados externamente aos cabos elétricos (MACHADO *et al.*, 2009).

### 3.14 Emissão acústica

Segundo Reddy (2010) a emissão acústica (EA) refere-se às ondas de tensão geradas por processos dinâmicos no material, onde, ondas transitórias elásticas são geradas pela rápida liberação de energia a partir de fontes localizadas dentro do mesmo. EA ocorre com a liberação de uma série de curtos impulsos de energia. A energia assim liberada se propaga como uma onda esférica e pode ser captada a partir da superfície de um material através de um transdutor de alta sensibilidade.

### 3.15 Transferência de calor por condução

A condução de calor se dá pela transferência de energia devido a um gradiente de temperatura, de partículas mais energéticas para as menos energéticas. No qual, a *lei de Fourier (Equação 1)* governa essa transferência de calor, e para o uso desta lei é necessário conhecer a condutividade térmica do material. Esta condutividade é uma propriedade de transporte, e a mesma, é dependente da estrutura física, molecular e anatômica do material, atrelado ao estado físico do mesmo (INCROPERA & DEWITT, 2002).

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

Onde:

A= área [m<sup>2</sup>];

K= condutividade térmica (constante de Boltzmann) [W/mK];

q= taxa de transferência de calor [W];

T= temperatura [K]

$x$  = coordenada retangular [m]

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nestes itens foram descritos todo o material e os métodos utilizados neste projeto. Foi descrito também o plano de trabalho e a forma de análise dos resultados.

### 4.1 Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova confeccionados pertencem às espécies de reflorestamento de *Corymbia citriodora* ( $D_{\text{apm}, 12\%} = 959,07 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $D_{\text{bm}} = 731,67 \text{ kg.m}^{-3}$ ) e *Pinus elliotii* ( $D_{\text{apm}, 12\%} = 554,47 \text{ kg.m}^{-3}$ ,  $D_{\text{bm}} = 449,17 \text{ kg.m}^{-3}$ ). O *Corymbia citriodora* foi adquirido em uma serraria no município de Bauru-SP. O *Pinus elliotii* tem origem na região Sudeste do Estado São Paulo. As madeiras que estavam no formato de pranchas, foram transformadas em unidades amostrais, com dimensões de 54 mm de comprimento, 30 mm de largura e 23 mm de espessura. Os corpos de prova foram fabricados no Laboratório de Processamento da Madeira no Campus Experimental da UNESP de Itapeva. As condições de preparação dos corpos de prova foram idênticas de maneira a não influenciar no processo de lixamento. Essas peças eram de árvores de grande porte, com diâmetro mínimo de 50 cm e com idade em torno de 35 anos.

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Usinagem e Automação (LUA) no campus de Itapeva da Unesp em uma lixadeira horizontal, instrumentada com sistema automático de ensaios. Foram utilizadas duas espécies de madeira com densidades diferentes (*Pinus elliotii* e *Corymbia citriodora*), sendo lixadas no sentido paralelo às fibras. Foi usado um material abrasivo (óxido de alumínio), três diferentes granulometrias de lixas (P80, P100 e P120), uma velocidade de corte (11 m/s) e uma pressão específica (1 kgf/cm<sup>2</sup>).

### 4.2 Variação de umidade e lixamento das amostras

Primeiro 18 corpos de prova por vez, de cada espécie foram acondicionados em estufa climatizadora modelo – 4001 marca Tecnal para que

estabilizassem em cada umidade ( $7\% \pm 2$ ,  $12\% \pm 2$  e  $17\% \pm 2$ ). Depois disto, as peças foram lixadas paralelamente às fibras (Figura 10b) em 03 diferentes granulometrias de lixas (P80, P100 e P120), e assim, cada superfície lixada foi avaliada seis vezes através da medição do parâmetro Ra com um rugosímetro (Figura 10a) Marca Taylor Hobson25+ modelo surtronic, usando cut-off 2,5mm, utilizando filtro gaussiano, medidos no sentido perpendicular às fibras.

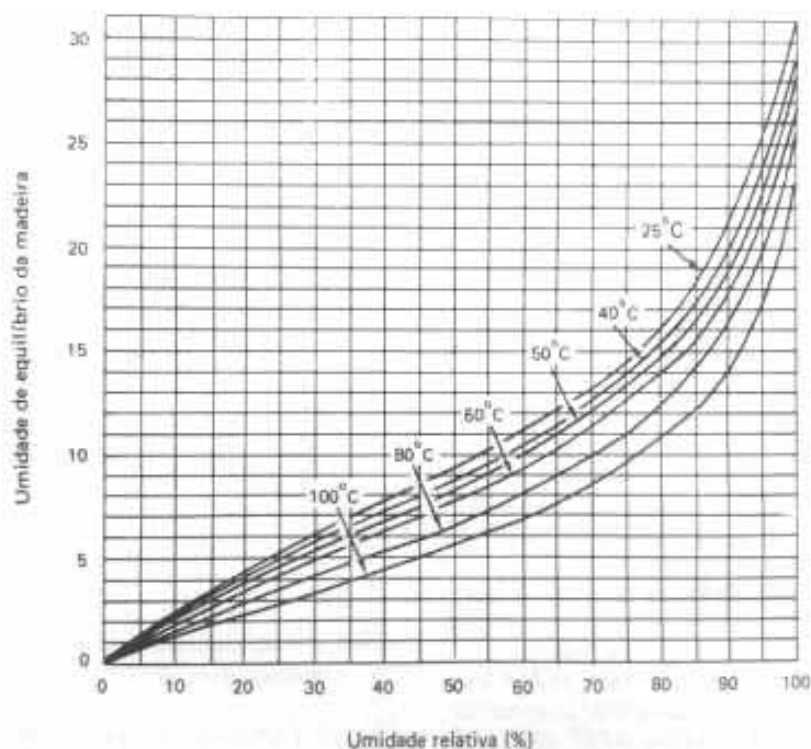
Figura 10: (a) Rugosímetro utilizado para determinar a rugosidade das superfícies lixadas de *Corymbia citriodora*. (b) Lixadeira plana Marca Baldan modelo LFH-2, com sistema automático de avanço



Fonte: Autoria própria

Para que os corpos de prova fossem climatizados na umidade desejada, foi necessário programar na estufa climatizadora na temperatura e na umidade relativa ideal, e para tanto, foi necessário o uso do gráfico proposto por Ponce & Watai (1985) (Figura 11).

Figura 11: Relação entre a umidade de equilíbrio da madeira e a umidade relativa do ar para várias temperaturas



Fonte: Ponce; Watai (1985)

Foram realizadas seis repetições para cada condição em cada espécie estudada. Em todo o projeto foram realizados 216 ensaios (108 para cada espécie de madeira).

Os efeitos da variação da umidade na madeira foram observados através da captação da potência consumida no processo, rugosidade, emissão acústica e temperatura máxima durante o processo.

Neste trabalho foi utilizado um banco de ensaios capaz de adquirir em tempo real as condições de processamento da madeira. Os dados foram adquiridos por programas desenvolvidos em Labview 7.1 e tratados primeiro através de programas desenvolvidos no software Matlab 6.5, depois, utilizou-se o programa estatístico R, versão 2.11.1, no qual foram feitas análises de variância (Anova) e teste de comparação múltipla de Tukey, com nível de significância de 5% ( $\alpha = 0,05$ ).

### 4.3 Descrição do banco de ensaios

O banco de ensaio (Figura 12) era composto por uma lixadeira plana com sistema de fixação e avanço automático do corpo de prova através de sistemas pneumáticos, exaustor para captação do pó, sistema de monitoramento e aquisição de dados composto por um painel de controle, sensores, transdutores, microcomputador, placas, conectores, cabos e software para aquisição e manipulação dos dados.

Figura 12: Banco de Ensaio



Fonte: Alves (2012)

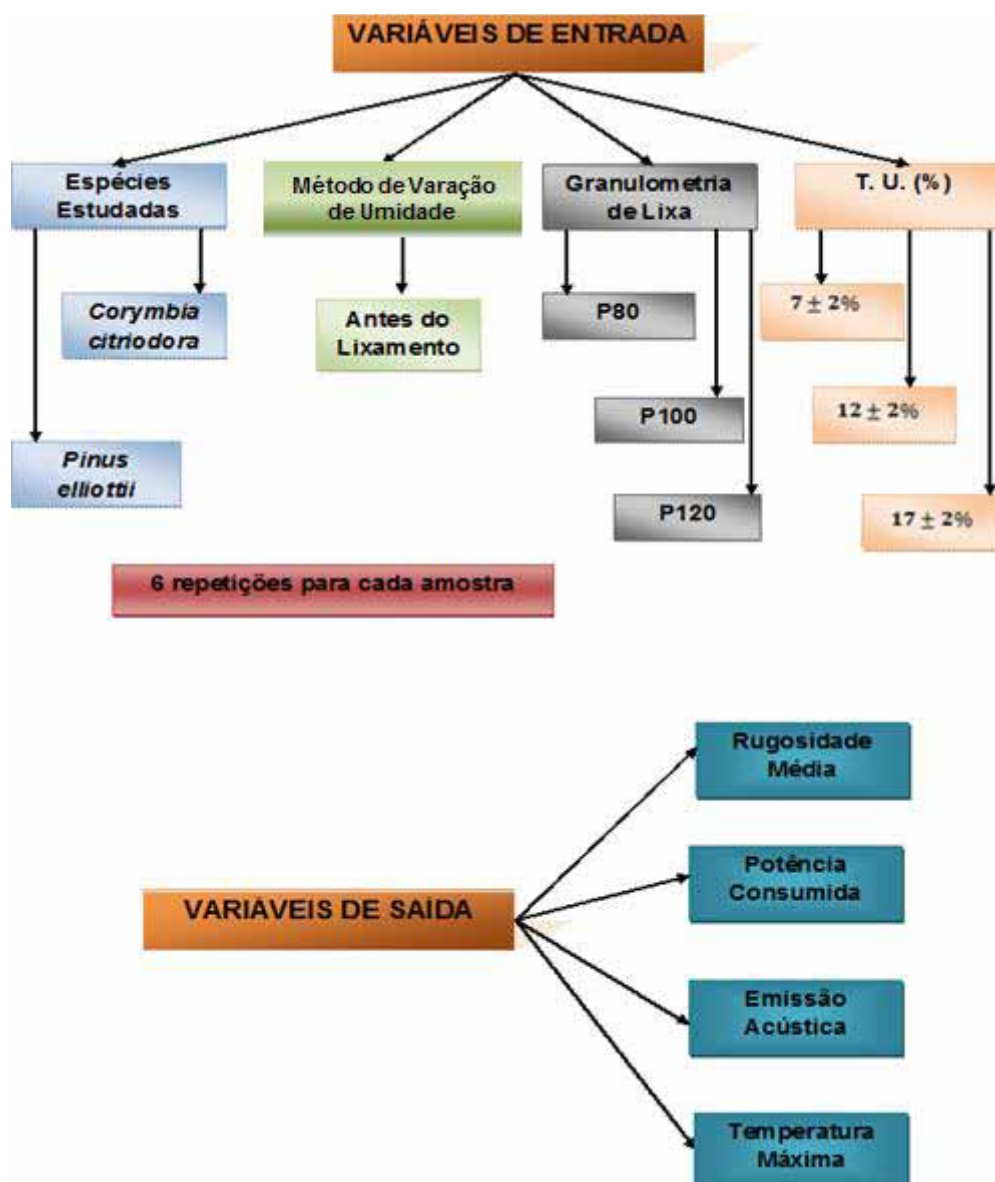
Além dos componentes citados acima, o sistema de monitoramento e aquisição de dados possuía um computador para processamento e armazenamento dos dados, uma fonte variável 0 - 30 VCC, com três saídas independentes da marca MINIPA, modelo MPL3303 para alimentação do módulo de emissão acústica, e um painel elétrico para acionamento da lixadeira e controle do sistema de aquisição, onde nesse painel existe um inversor de frequência da marca WEG<sup>®</sup> modelo  $\mu$ line com tensão de alimentação de 220 V e 3A, para o controle da velocidade da

lixadeira, além disso, o painel possui uma fonte de alimentação da marca Siemens com entrada 110-220 VAC com saída de 24 VCC para alimentação do transdutor de corrente.

#### 4.4 Variáveis do lixamento realizado

Na Figura 13 é ilustra as variáveis de entrada e saída envolvidas no processo de lixamento.

Figura 13: Variáveis do processo de lixamento



Fonte: Autoria própria

## 4.5 Análise das variáveis de saída

### 4.5.1 Aquisição da Potência de lixamento

Utilizou-se um transdutor da marca WARD modelo TRX-I/U para a aquisição da potência consumida do motor durante o lixamento (Figura 14).

Figura 14: Transdutor de corrente modelo TRX-I/U



Fonte: Autoria própria

O transdutor em função da corrente elétrica alternada utilizada no motor gera uma saída proporcional contínua de 0 a 10 Volts (VCC) que é armazenada pelo sistema de aquisição de dados, onde através da Equação 2 o sinal adquirido (em VCC) a uma taxa de 400 pontos por segundo foi transformado na unidade de potência (Watts).

$$P_c = I \times U_f \times F_p \times \sqrt{3} \quad (2)$$

$P_c$  = potência consumida, em Watts;

$I$  = corrente alternada, em Ampéres;

$U_f$  = Tensão de uma das fases, em Volts;

$F_p$  = Fator de potência.

Como o sinal adquirido pelo sistema tem uma saída proporcional em Volts é necessário converter o valor de Volts para Ampères para que se possa aplicar esse valor na Equação 4. O fabricante do transdutor de corrente alternada fornece essa equação para a transformação do dado adquirido em Volts para Ampères de acordo com a Equação 3.

$$I = \frac{U_{cc}}{2} \quad (3)$$

$I$  = corrente de uma das fases, em Ampères;

$U_{cc}$  = Tensão de corrente contínua, em Volts.

Substituindo o valor da corrente, o valor da tensão de fase do motor da lixadeira (220 V) e o fator de potência (0,92) do motor, têm-se a Equação 4, que foi utilizada para transformar o sinal adquirido em Volts para potência consumida em Watts.

$$P_c = \frac{U_{cc} \cdot 0,92 \cdot 220 \cdot \sqrt{3}}{2} \quad (4)$$

#### 4.5.2 Medição da Rugosidade Média (Ra)

O parâmetro de rugosidade utilizado foi o valor médio “Ra”, por ser o parâmetro mais utilizado pela indústria de acordo com a literatura (MACHADO *et al.*, 2009). O comprimento de amostragem adotado foi de 2,5 mm (cut-off), segundo valor baseado na ABNT 6405/1988. 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* (máxima diferença entre picos e vales durante a medição) adotado no rugosímetro foi de 300 µm e o filtro utilizado foi o Gaussiano Robusto.

Para a medição da rugosidade superficial utilizou-se um rugosímetro da marca TAYLOR HOBSON, modelo Surtronic 25+, de haste de medição com ponta apalpadora cone-esférico de diamante, raio de ponta de 2 µm (Figura 15).



Figura 15: Rugosímetro da marca TAYLOR HOBSON, modelo Surtronic 25+



Fonte: Autoria própria

#### 4.5.3 Emissão acústica

Utilizou-se um sistema de captação de emissão acústica da marca PHYSICAL ACOUSTICS CORPORATION, com sensor R15A e amplificador de sinal 1272-1000 com saída retificada em RMS (valor quadrático médio) (Figura 16).

Figura 16: um sistema de captação de emissão acústica da marca PHYSICAL ACOUSTICS CORPORATION



Fonte: Autoria própria

Esse sinal elétrico retificado corresponde à unidade VCC (volts corrente contínua) e é amplamente empregado nessa grandeza para expressar a emissão acústica, não havendo transformações para outras unidades

#### 4.5.4 Temperatura

Foi utilizada uma câmera termovisora da marca FLIR SYSTEMS® Modelo FLIR i5 para avaliar a temperatura entre a face da madeira e a lixa (Figura 17). A temperatura máxima decorrente da combinação dos fatores estabelecidos foi coletada através do Software do equipamento.

Figura 17: Câmera infravermelha utilizada na medição da temperatura.

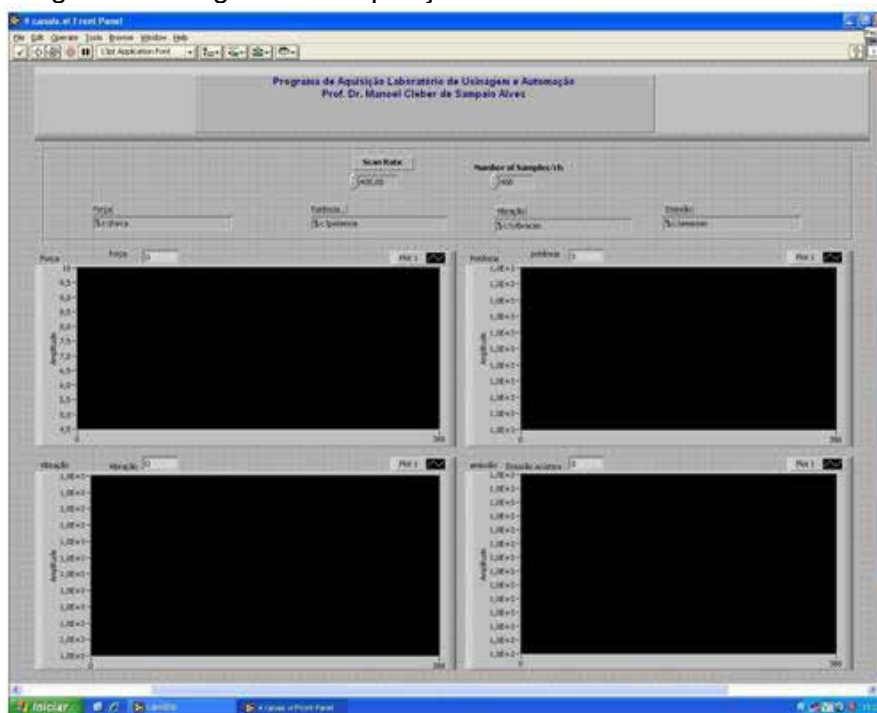


Fonte: Flir (2012)

#### 4.5.5 Programa de aquisição de dados

O programa de aquisição de dados utilizado teve a função de adquirir em tempo real os valores de potência de corte, emissão acústica e vibração. Para isso, utilizou-se a placa de aquisição de dados, marca National Instruments, modelo NI PCI 6220. A placa de aquisição de dados teve a função de receber os sinais analógicos dos sensores e transformá-los em sinais digitais para serem interpretados pelo software no microcomputador. O software utilizado para captação dos dados adquiridos pelos sensores foi feito no programa LabView® 7.1 da National Instruments, onde foi elaborado um programa para adquirir os dados com uma taxa de aquisição de 400 pontos por segundo. A tela do programa de aquisição feito no software LabView® 7.1 pode ser observada na Figura 18.

Figura 18: Programa de aquisição feito no software LabView® 7



Fonte: Autoria própria

#### 4.5.6 Programa para tratamento dos dados

Devido ao grande número de dados que foram adquiridos em ensaios de aquisições de dados, foram necessários tratamentos nestes arquivos de forma a filtrá-los, tornando-os capazes de serem analisados. Foram confeccionados programas em Matlab 6.5 para filtragem dos sinais.

#### 4.5.7 Tratamento estatístico dos resultados

Este trabalho possui um delineamento fatorial, com três fatores: granulometria, com três níveis; teor de umidade, com três níveis; e espécie, com dois níveis. Resultando num total de 18 níveis

Para a análise estatística dos dados foram realizadas análises de variância (Anova), testes de comparações múltiplas de Tukey (com nível de significância de 5%) e análises de regressão linear.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

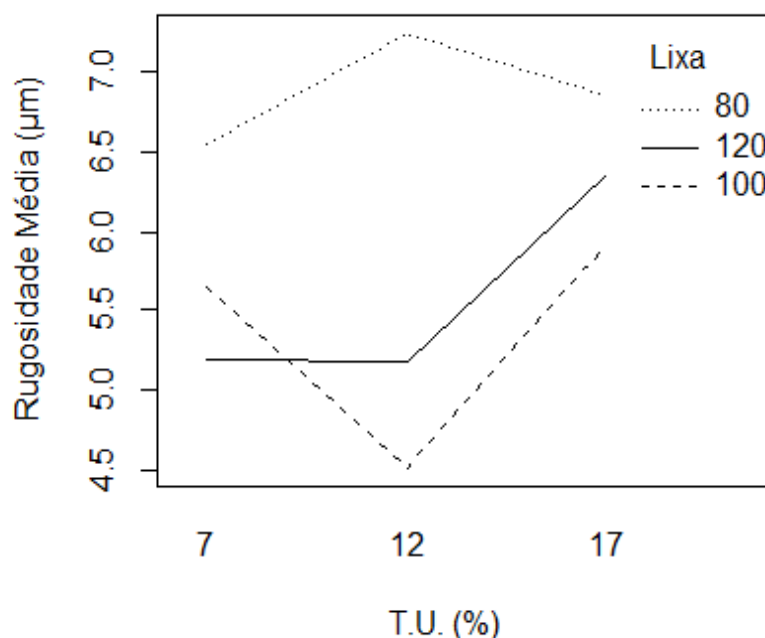
Com o intuito de facilitar a compreensão dos resultados e discussões, inicialmente estão apresentados os resultados obtidos com os ensaios de lixamento para as variáveis: rugosidade média, emissão acústica, potência e temperatura máxima durante o processo, juntamente com a análise estatística dos mesmos. E depois, a discussão geral dos resultados obtidos e a comparação com a literatura.

### 5.1 Rugosidade

#### Corymbia Citriodora

A Figura 19 mostra o comportamento da rugosidade média em função do teor de umidade (T.U.) para cada granulometria de lixa, no lixamento da madeira de *Corymbia Citriodora*.

Figura 19: Gráfico da rugosidade média em função da umidade para cada granulometria de lixa, no lixamento do *Corymbia Citriodora*



A análise de variância mostrou diferença significativa entre as granulometrias de lixa ( $F_{2,49} = 38,858$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ) e entre os teores de umidade (T.U.) ( $F_{2,49} = 8.693$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ), no lixamento de *Corymbia citriodora* (Tabela 1).

As peças lixadas com a P80 e as com  $17 \pm 2\%$  de teor de umidade obtiveram maiores valores de rugosidade.

Tabela 1: Médias das Rugosidades Médias ( $\mu\text{m}$ ) para as três lixas utilizadas

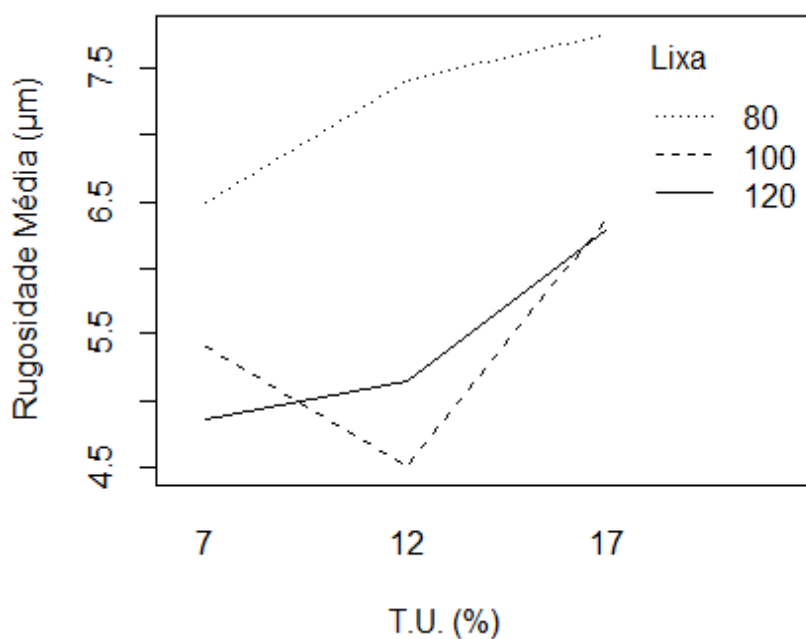
	T.U. = 7%	T.U. = 12%	T.U. = 17%	Média por lixa
P80	6,55	7,24	6,86	6,88 a
P100	5,64	4,51	5,92	5,36 b
P120	5,20	5,17	6,36	5,58 b
Média por T.U.	5,80 B*	5,64 B	6,38 A	

\*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).

### Pinus elliottii:

A Figura 20 mostra o comportamento da rugosidade média em função da umidade para cada granulometria de lixa, no lixamento da madeira de *Pinus elliottii*.

Figura 20: Gráfico da rugosidade média em função da umidade para cada granulometria de lixa, no lixamento do *Pinus elliottii*



A análise de variância mostrou diferença significativa entre as granulometrias de lixa ( $F_{2,49} = 41,80$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ) e entre os teores de umidade ( $F_{2,49} = 18,36$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ), no lixamento de *Pinus elliottii* (Tabela 2). E assim como ocorreu no lixamento de *Corymbia citriodora*, os maiores valores de rugosidade foram os das peças lixadas com a P80 e as com  $17 \pm 2\%$  de teor de umidade.

Tabela 2: Médias das Rugosidades Médias ( $\mu\text{m}$ ) para as três lixas utilizadas

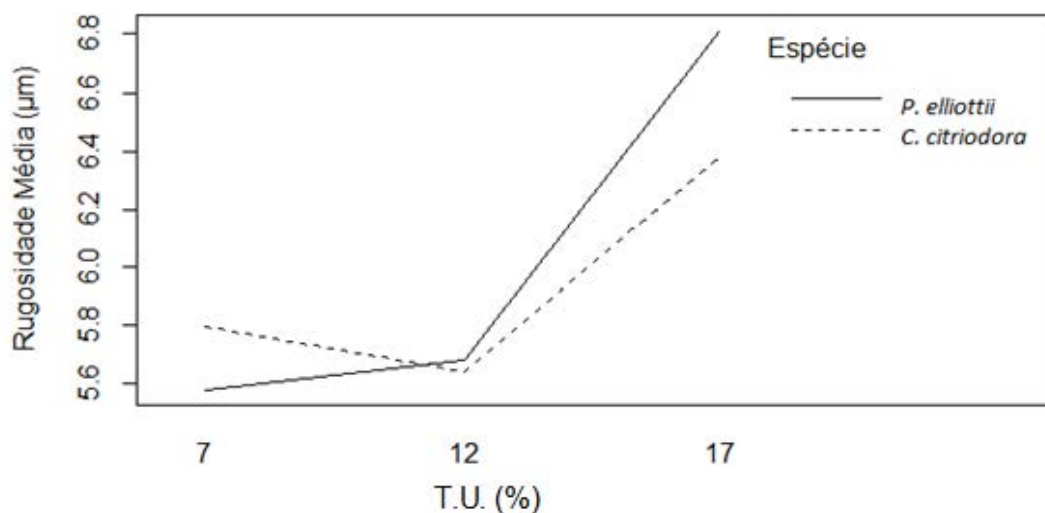
	T.U. = 7%	T.U. = 12%	T.U. = 17%	Média por lixa
P80	6,49	7,41	7,76	7,22 a
P100	5,39	4,5	6,38	5,42 b
P120	4,86	5,14	6,31	5,44 b
Média por T.U.	5,58 B*	5,68 B	6,81 A	

\*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

### **Corymbia citriodora X Pinus elliottii**

O comportamento da rugosidade média ( $R_a$ ) em função dos teores de umidade, para cada espécie de madeira lixada está ilustrado na Figura 21.

Figura 21: Gráfico da rugosidade média em função do teor de umidade, para cada espécie de madeira lixada



A análise de variância mostrou que não houve diferença significativa da rugosidade média entre as espécies em estudo ( $F_{1,104} = 0,211$ ;  $P\text{-value} > 5\%$ ). Entretanto, houve diferença entre os teores de umidade ( $F_{2,104} = 10,334$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ) (Tabela 3).

Tabela 3: Médias das rugosidades médias (Ra) para as duas espécies de madeira

	T. U. = 7%	T. U. = 12%	T. U. = 17%	Média por Espécie
Pinus	5,58	5,68	6,81	6,02 a
Corymbia	5,80	5,64	6,38	5,94 a
Média por T. U.	5,69 B*	5,66 B	6,60 A	

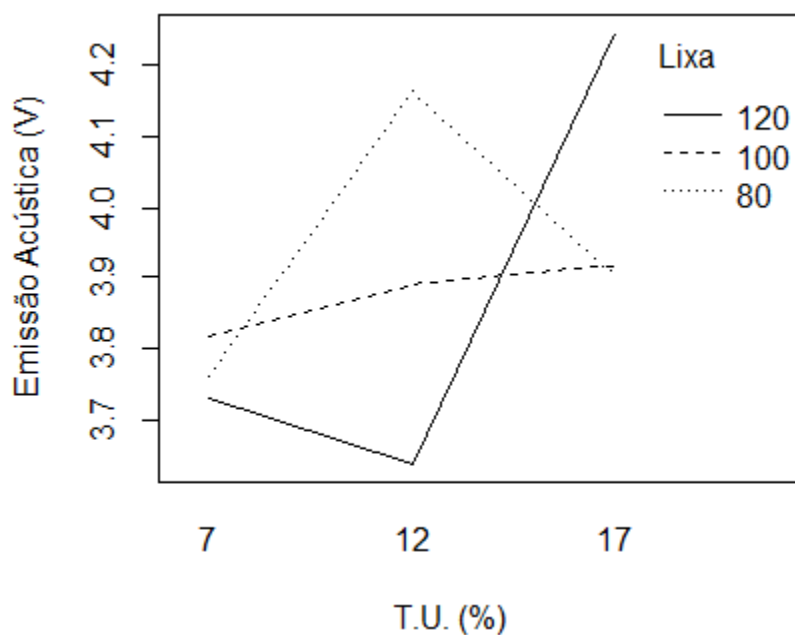
\*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey,  $\alpha = 0,05$ )

## 5.2 Emissão Acústica

### Corymbia Citriodora

O comportamento da emissão acústica em função da umidade para cada granulometria de lixa, no lixamento da madeira de *Corymbia Citriodora*, encontra-se ilustrado na Figura 22.

Figura 22: Gráfico da Emissão acústica em função da umidade para cada granulometria de lixa, no lixamento do Corymbia Citriodora



A análise de variância mostrou que não houve diferença significativa entre as granulometrias de lixa ( $F_{2,49} = 0,090$  ; P-value > 5%) e entre os teores de umidade ( $F_{2,49} = 0,875$  ; P-value > 5%), no lixamento de *Corymbia citriodora* (Tabela 4).



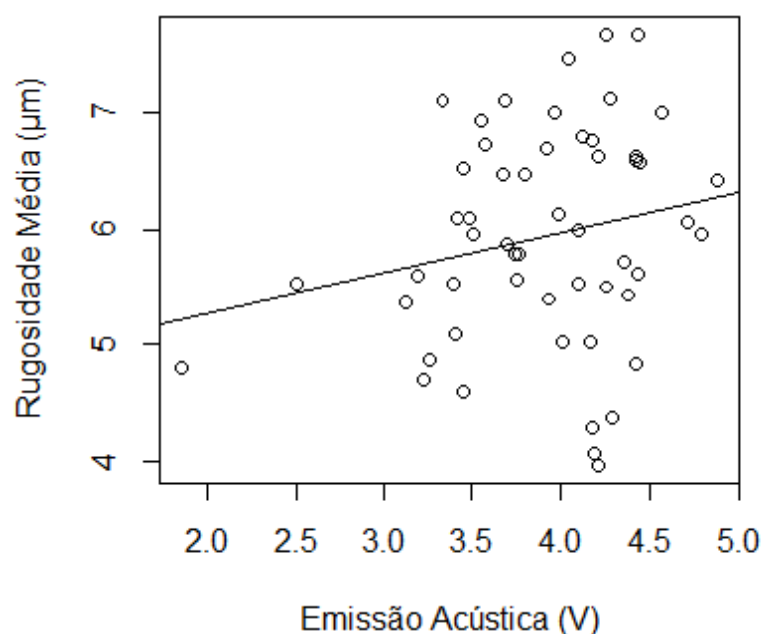
Tabela 4: Média da Emissão Acústica (V) para as três lixas utilizadas

	T.U. = 7%	T.U. = 12%	T.U. = 17%	Média por lixa
P80	3,76	4,16	3,90	3,94 a
P100	3,82	3,89	3,92	3,87 a
P120	3,73	3,64	4,25	3,87 a
Média por T.U.	3,77 A*	3,90 A	4,02 A	

\*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).

No gráfico da Figura 23 é apresentada a reta ajustada da regressão linear referente aos resultados da relação entre a rugosidade média e a emissão acústica, no lixamento do *Corymbia citriodora*.

Figura 23: Gráfico da regressão linear para a rugosidade média (Ra) em função da emissão acústica, no lixamento do *Corymbia citriodora*

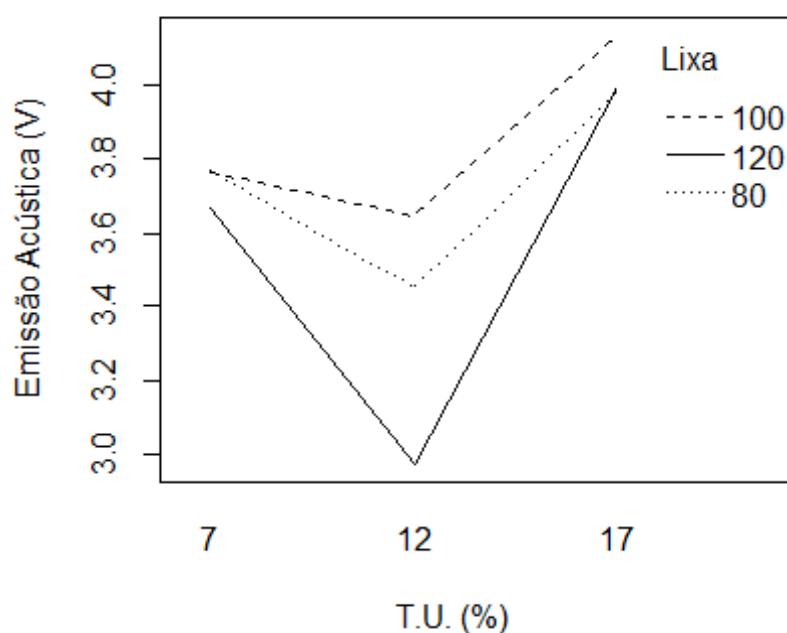


A análise de variância da regressão ( $F_{1,52} = 2,417$ ; P-value > 5%) a um nível de significância de 5%, mostrou que não houve relação entre a rugosidade média e a emissão acústica, no lixamento do *Corymbia citriodora*.

### Pinus elliottii:

A Figura 24 mostra o comportamento da emissão acústica em função da umidade para cada granulometria de lixa, no lixamento da madeira de *Pinus elliottii*.

Figura 24: Gráfico da emissão acústica em função da umidade para cada granulometria de lixa, no lixamento do *Pinus elliottii*



A análise de variância mostrou que não houve diferença significativa entre as granulometrias de lixa ( $F_{2,49} = 2,005$ ; P-value < > 5%), no entanto, o mesmo não ocorreu entre os teores de umidade ( $F_{2,49} = 9,947$ ; P-value < 5%), no lixamento de *Pinus elliottii* (Tabela 5). A emissão acústica durante o processo foi menor quando foi lixado as peças de *Pinus elliottii* com  $12 \pm 2\%$  de umidade

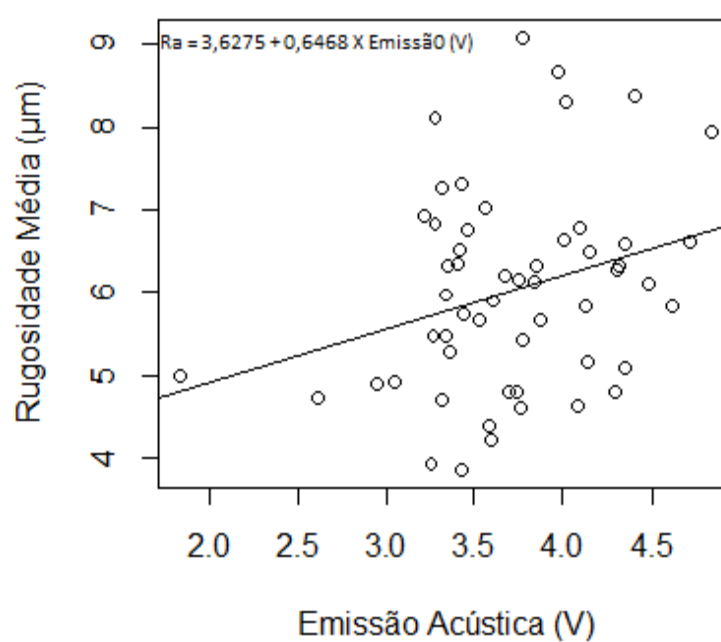
Tabela 5: Média da Emissão Acústica (V) para as três lixas utilizadas

	T.U. = 7%	T.U. = 12%	T.U. = 17%	Média por lixa
P80	3,77	3,45	3,98	3,73 a
P100	3,77	3,65	4,14	3,85 a
P120	3,67	2,97	3,99	3,55 a
Média por T.U.	3,73 A*	3,36 B	4,04 A	

\*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).

O gráfico da Figura 25 apresenta a reta ajustada da regressão linear referente aos resultados da relação entre a rugosidade média e a emissão acústica, no lixamento do *Pinus elliottii*.

Figura 25: Gráfico da regressão linear para a rugosidade média (Ra) em função da emissão acústica, no lixamento do *Pinus elliottii*

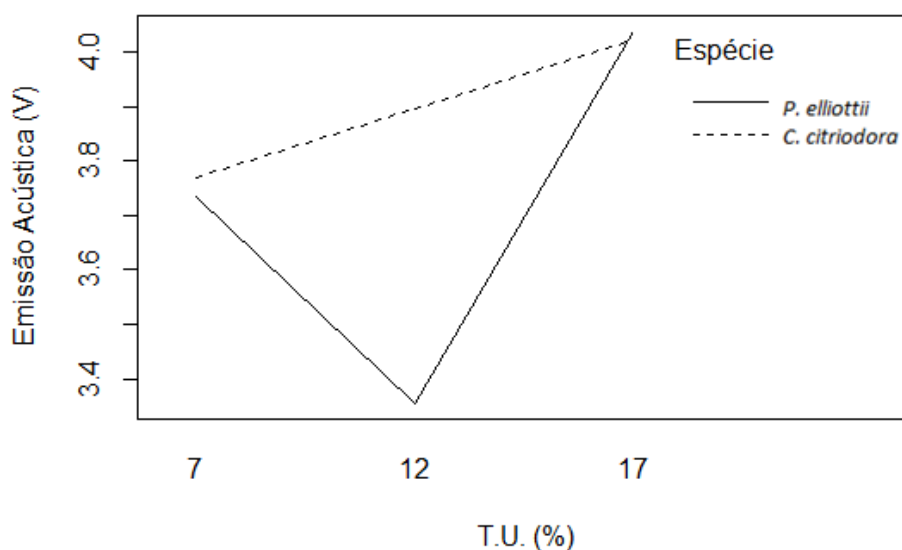


A análise de variância da regressão ( $F_{1,52} = 4,694$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ) a um nível de significância de 5%, mostrou que houve relação entre a rugosidade média e a emissão acústica, no lixamento do *Pinus elliottii*. No entanto, o modelo da Figura 25 apresentou um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,06516$ , portanto, pode-se notar que ele não foi preciso.

### Corymbia citriodora X Pinus elliottii:

A Figura 26 demonstra a Emissão acústica (V) em função dos teores de umidade, para cada espécie de madeira lixada.

Figura 26: Gráfico da Emissão acústica rugosidade em função do teor de umidade, para cada espécie de madeira lixada



A análise de variância mostrou que não houve diferença significativa da emissão acústica entre as espécies em estudo ( $F_{1,104} = 3,42$ ;  $P\text{-value} > 5\%$ ). No entanto, houve diferença entre os teores de umidade ( $F_{2,104} = 5,527$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ) (Tabela 6).

Tabela 6: Médias das Emissões Acústicas (V) para as duas espécies de madeira

	T. U. = 7%	T. U. = 12%	T. U. = 17%	Média por Espécie
Pinus	3,73	3,36	4,04	3,71 a
Corymbia	3,77	3,90	4,02	3,90 a
Média por T. U.	3,75 AB*	3,63 B	4,03 A	

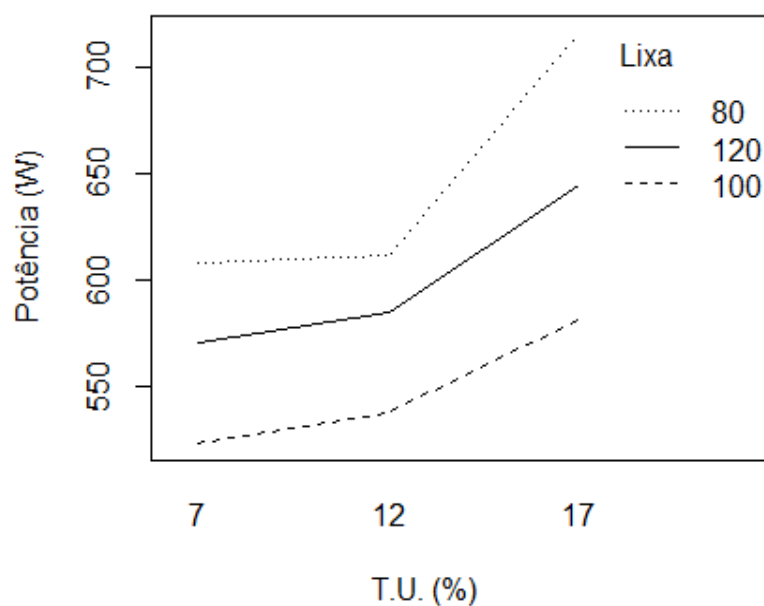
\*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).

### 5.3 Potência

#### Corymbia Citriodora

O comportamento da potência em função da umidade para cada granulometria de lixa, no lixamento da madeira de *Corymbia Citriodora*, encontra-se ilustrado na Figura 27.

Figura 27: Gráfico da potência em função da umidade para cada granulometria de lixa, no lixamento do Corymbia Citriodora



A análise de variância mostrou diferença significativa entre as granulometrias de lixa ( $F_{2,49} = 36,69$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ) e entre os teores de umidade ( $F_{2,49} = 29,11$  ;  $P\text{-value} < 5\%$ ), no lixamento de *Corymbia citriodora* (Tabela 7).

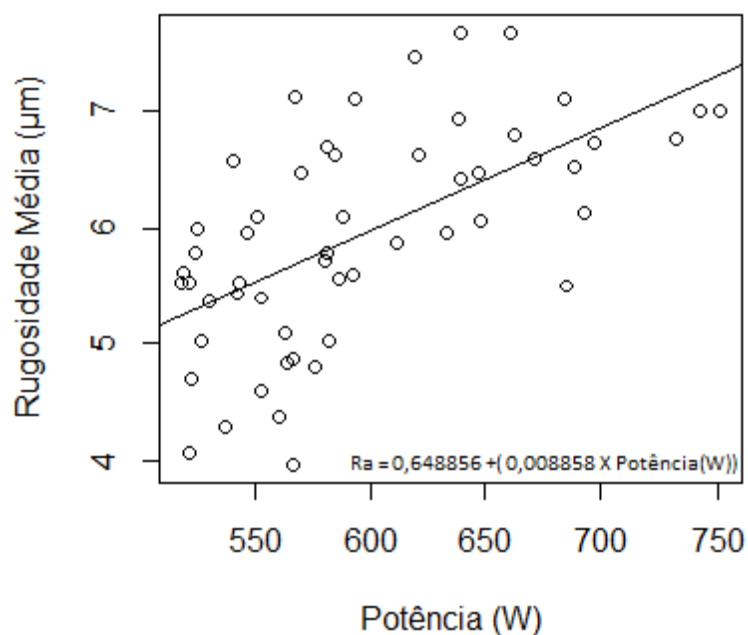
Tabela 7: Média da Potência (W) para as três lixas utilizadas

	T.U. = 7%	T.U. = 12%	T.U. = 17%	Média por lixa
P80	607,22	611,05	716,06	644,78 a
P100	523,28	537,11	580,59	546,99 c
P120	570,44	584,12	644,88	599,81 b
Média por T.U.	566,98 B*	577,43 B	647,18 A	

\*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).

O gráfico da Figura 28 apresenta a reta ajustada da regressão linear referente aos resultados da relação entre a rugosidade média e a potência, no lixamento do *Corymbia citriodora*.

Figura 28: Gráfico da regressão linear para a rugosidade média (Ra) em função da potência, no lixamento do *Corymbia citriodora*

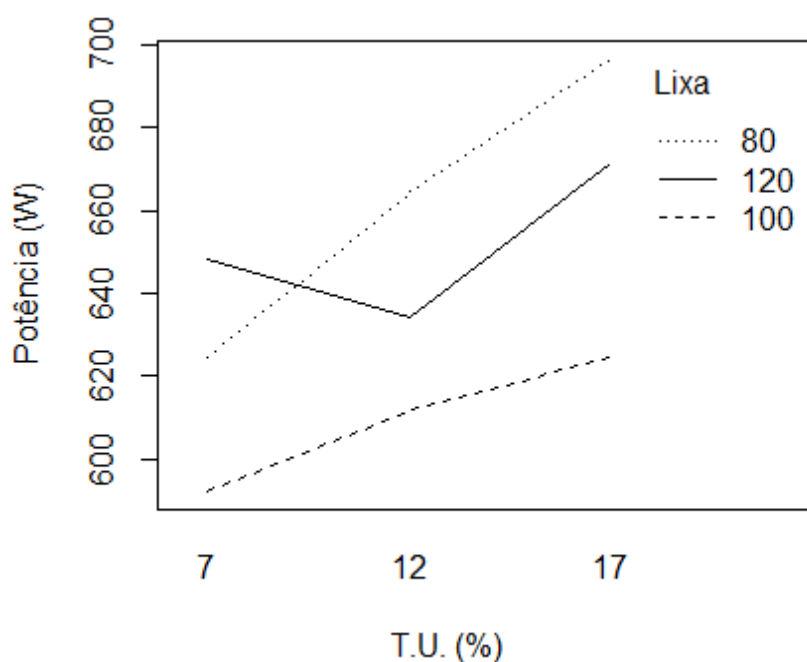


A análise de variância da regressão ( $F_{1,52} = 30,29$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ) a um nível de significância de 5%, mostrou que houve relação entre a rugosidade média e a potência, no lixamento do *Corymbia citriodora*. No entanto, o modelo da Figura 28 apresentou um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,3559$ , portanto, pode-se notar que ele não foi preciso.

### **Pinus elliottii:**

A Figura 29 mostra o comportamento da potência em função da umidade para cada granulometria de lixa, no lixamento da madeira de *Pinus elliottii*.

Figura 29: Gráfico da potência em função da umidade para cada granulometria de lixa, no lixamento do *Pinus elliottii*



A análise de variância mostrou diferença significativa entre as granulometrias de lixa ( $F_{2,49} = 8,794$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ) e entre os teores de umidade ( $F_{2,49} = 5,300$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ), no lixamento de *Pinus elliottii* (Tabela 8).

Tabela 8: Média da Potência (W) para as três lixas utilizadas

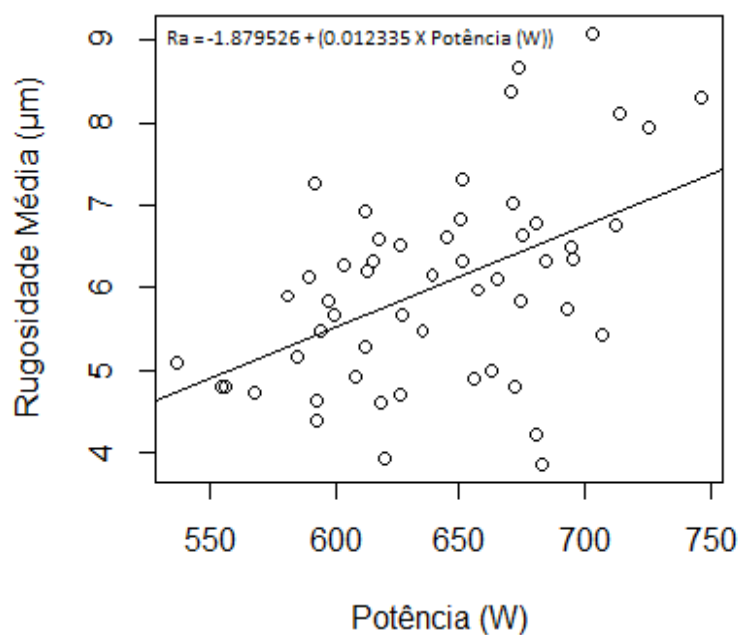
	T.U. = 7%	T.U. = 12%	T.U. = 17%	Média por lixa
P80	624,57	664,35	696,52	661,81 a
P100	592,46	611,5	624,54	609,50 b
P120	648,63	634,07	671,71	651,47 a
Média por T.U.	621,89 B*	636,64 AB	664,26 A	

\*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).



O gráfico da Figura 30 apresenta a reta ajustada da regressão linear referente aos resultados da relação entre a rugosidade média e a potência, no lixamento do *Pinus elliottii*.

Figura 30: Gráfico da regressão linear para a rugosidade média (Ra) em função da potência, no lixamento do *Pinus elliottii*

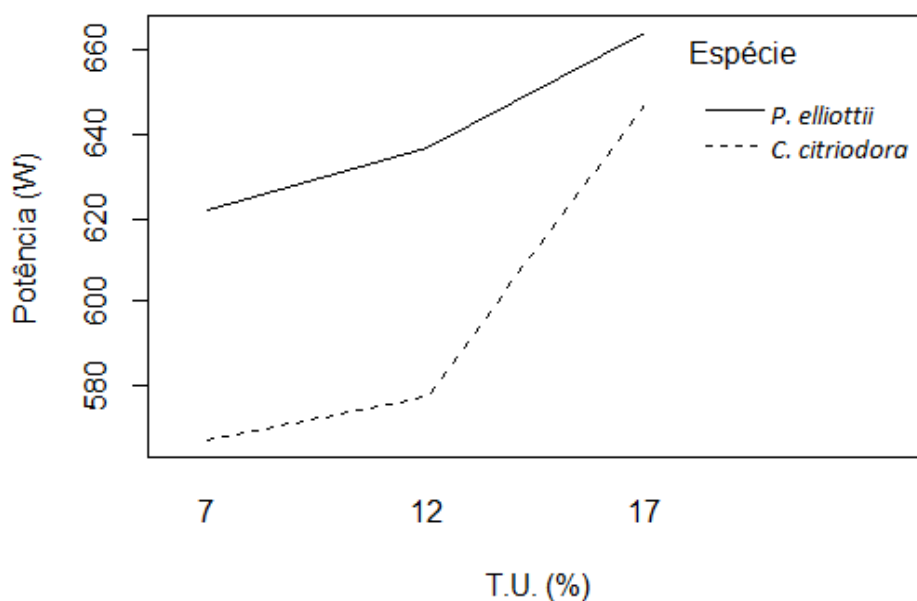


A análise de variância da regressão ( $F_{1,52} = 16,18$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ) a um nível de significância de 5%, mostrou que não houve relação entre a rugosidade média e a potência, no lixamento do *Pinus elliotti*. No entanto, o modelo da Figura 30 apresentou um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,2226$ , portanto, pode-se notar que ele não foi preciso.

### **Corymbia citriodora X Pinus elliottii:**

A Figura 31 demonstra a Potência (W) em função dos teores de umidade, para cada espécie de madeira lixada.

Figura 31: Gráfico da Potência em função do teor de umidade, para cada espécie de madeira lixada



A análise de variância mostrou que houve diferença significativa da emissão acústica entre as espécies em estudo ( $F_{1,104} = 30,81$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ). O mesmo ocorreu entre os teores de umidade ( $F_{2,104} = 15,19$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ) (Tabela 9).

Tabela 9: Média da Potência (W) para as duas espécies de madeira

	T. U. = 7%	T. U. = 12%	T. U. = 17%	Média por Espécie
Pinus	621,89	636,64	664,26	640,26 a
Corymbia	566,98	577,43	647,18	597,20 b
Média por T. U.	594,44 B*	607,04 B	655,72 A	

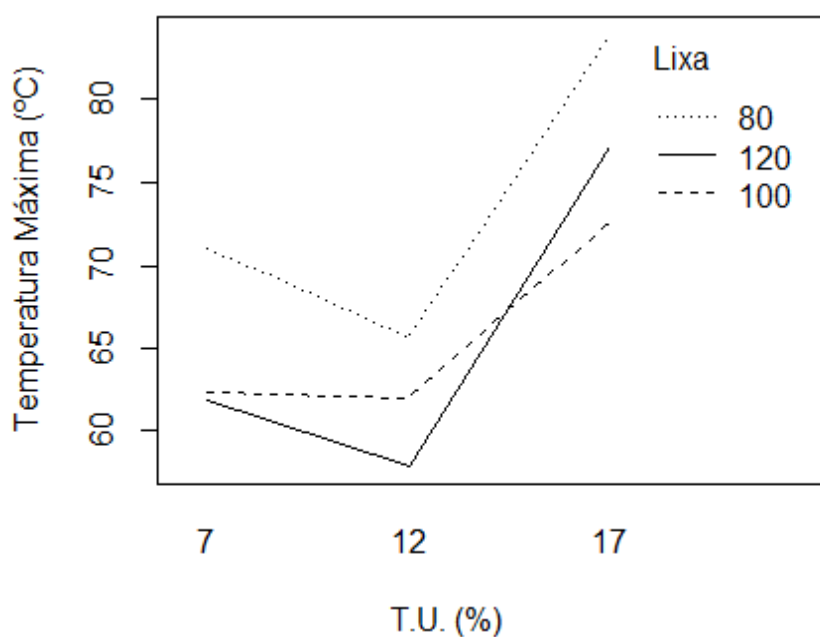
\*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).

#### 5.4 Temperatura máxima durante o lixamento

##### *Corymbia Citriodora*:

A Figura 32 mostra a Temperatura Máxima em função da umidade para cada lixa, durante o lixamento da madeira de *Corymbia Citriodora*.

Figura 32: Gráfico da temperatura máxima em função da umidade para cada lixa, durante o processo de lixamento do *Corymbia Citriodora*



Observou-se através da análise de variância que houve diferença significativa entre os teores de umidade ( $F_{2,102} = 26,570$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ) e entre as lixas ( $F_{2,102} = 7,581$  ;  $P\text{-value} < 5\%$ ), de acordo com a análise de variância realizada (Tabela 10). Onde, a temperatura foi maior na lixa P80.

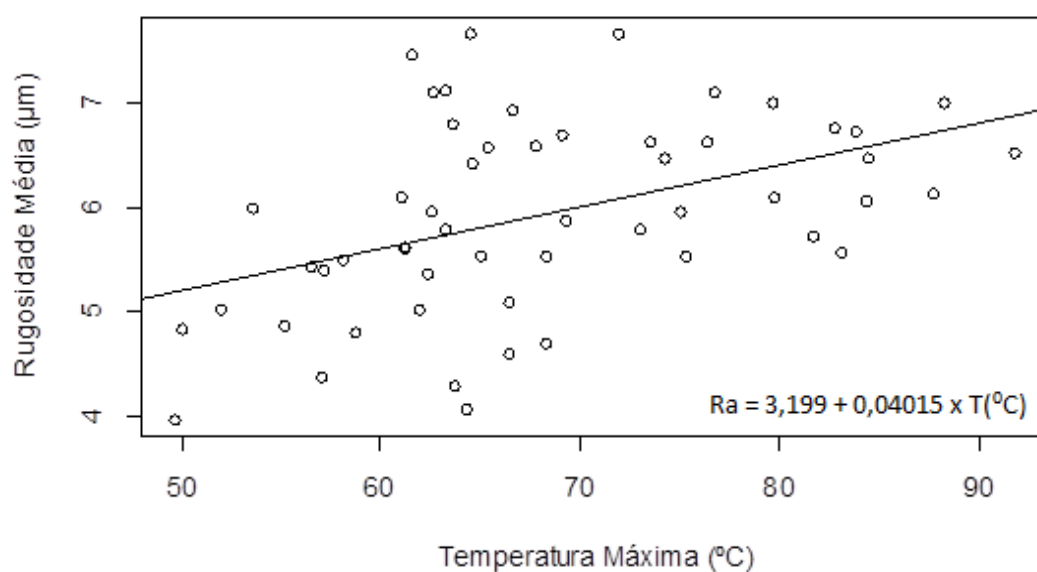
Tabela 10: Média da Temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ) para as três lixas utilizadas

	T.U. = 7%	T.U. = 12%	T.U. = 17%	Média por lixa
P80	71,07	65,53	83,80	73,47 a
P100	62,28	61,95	72,55	65,59 b
P120	61,90	57,92	77,17	65,66 b
Média por T.U.	65,08 B*	61,80 B	77,84 A	

\*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).

O gráfico da Figura 33 apresenta a reta ajustada da regressão linear referente aos resultados da relação entre a rugosidade média com a temperatura máxima, no lixamento do *Corymbia citriodora*.

Figura 33: Gráfico da regressão linear para a rugosidade média ( $R_a$ ) em função da temperatura máxima, no lixamento do *Corymbia citriodora*

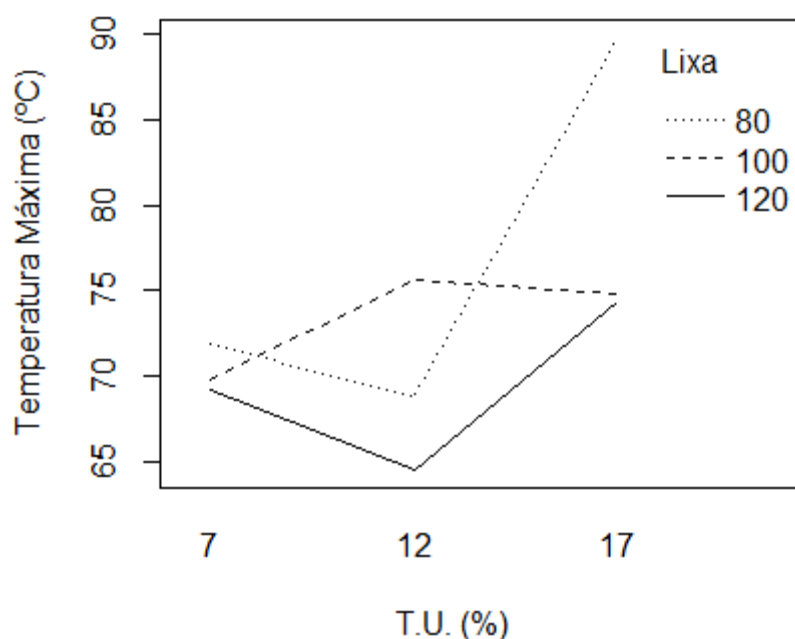


A análise de variância da regressão ( $F_{1,52} = 13,26$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ) a um nível de significância de 5%, mostrou que houve relação entre a rugosidade média e a temperatura máxima, no lixamento do *Corymbia citriodora*. No entanto, o modelo da Figura 33 apresentou um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,1879$ , portanto, ele não representa precisamente os dados.

### **Pinus elliottii:**

A Figura 34 mostra a Temperatura máxima em função da umidade para cada lixa, durante o lixamento da madeira de *Pinus elliottii*.

Figura 34: Gráfico da temperatura máxima em função da umidade para cada lixa, durante o processo de lixamento do *Pinus elliottii*



Observou-se através da análise de variância que houve diferença significativa entre os teores de umidade ( $F_{2,102} = 10,973$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ) e entre as lixas ( $F_{2,102} = 4,803$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ), de acordo com a análise de variância realizada (Tabela 11). Onde, a temperatura foi maior na lixa P80.

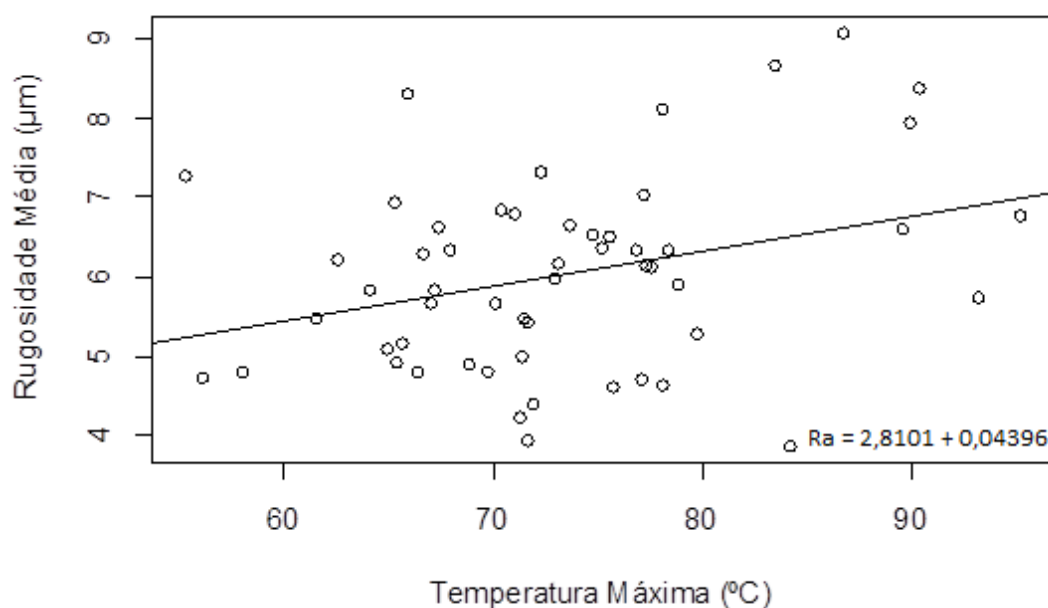
Tabela 11: Média da Temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ) para as três lixas utilizadas

	T.U. = 7%	T.U. = 12%	T.U. = 17%	Média por lixa
P80	71,82	68,70	89,75	76,76 a
P100	69,82	75,57	74,77	73,38 ab
P120	69,18	64,57	74,33	69,36 b
Média por T.U.	70,27 B*	69,91 B	79,62 A	

\*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).

No gráfico da Figura 35 está apresentada a reta ajustada da regressão linear referente aos resultados da relação entre a rugosidade média com a temperatura máxima, no lixamento do *Pinus elliottii*.

Figura 35: Gráfico da regressão linear para a rugosidade média ( $R_a$ ) em função da temperatura máxima, no lixamento do *Pinus elliottii*

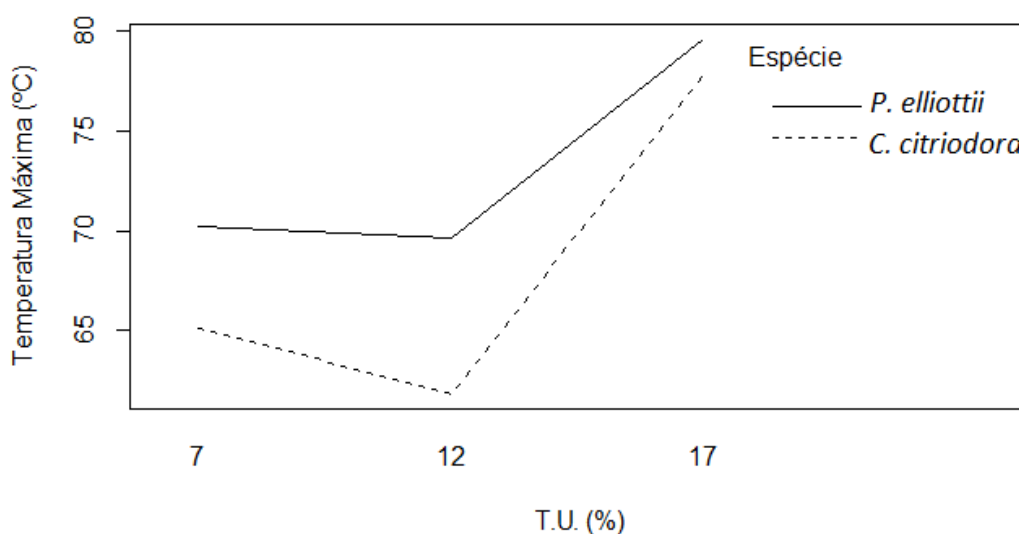


A análise de variância da regressão ( $F_{1,52} = 5,959$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ) a um nível de significância de 5%, mostrou que houve relação entre a rugosidade média e a temperatura máxima, no lixamento do *Pinus elliottii*. No entanto, o modelo da Figura 35 apresentou um coeficiente de determinação  $R^2 = 0,08557$ , portanto, pode-se notar que ele não foi preciso.

### **Corymbia citriodora X Pinus elliottii:**

A Figura 36 demonstra a Temperatura máxima ( $^{\circ}\text{C}$ ) em função dos teores de umidade, para cada espécie de madeira lixada com variação de umidade antes do lixamento.

Figura 36: Gráfico da temperatura máxima em função do teor de umidade, para cada espécie de madeira lixada com variação de umidade antes do lixamento



A análise de variância mostrou que houve diferença significativa da temperatura máxima entre os teores de umidade ( $F_{2,104} = 34,95$ ;  $P\text{-value} > 5\%$ ) (Tabela 12) e entre as espécies em estudo ( $F_{1,104} = 12,91$ ;  $P\text{-value} < 5\%$ ), onde, o *Pinus elliottii* foi o que apresentou maiores valores de temperatura.

Tabela 12: Média da Temperatura máxima (°C) para as duas espécies de madeira

	T. U. = 7%	T. U. = 12%	T. U. = 17%	Média por Espécie
Pinus	70,27	69,61	79,62	73,17 a
Corymbia	65,08	61,8	77,84	68,24 b
Média por T. U.	67,68 B*	65,71 B	78,73 A	

\*Médias seguidas pelas mesmas letras (minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas) não apresentam diferença estatística (Tukey,  $\alpha = 0,05$ ).

## 5.5 Discussões em geral

### 5.5.1 Rugosidade

Ao analisar a rugosidade, observou-se que para ambas as espécies, a lixa P80 e a umidade de 17% proporcionaram maiores médias de rugosidade. E a umidade de 12% não diferiu de 7%, portanto, não é necessário que as peças sejam secas até 7% para obter melhores resultados, economizando assim, energia e tempo.

A qualidade superficial do Pinus e do Corymbia foi inversamente proporcional ao teor de umidade da peça, ou seja, quanto maior o teor de umidade maior foi a rugosidade da peça. Isso pode ter ocorrido porque as peças com 17% de umidade, ao saírem do processo de lixamento, continuaram a perder umidade até se equilibrar ao ambiente em que se encontravam (em torno de 12 %) e, portanto, a madeira ao se contrair tendeu a diminuir o nivelamento superficial proporcionado pelo lixamento.

Embora não tenha havido diferença significativa entre as espécies, o *Pinus elliottii* apresentou maior média de rugosidade em relação ao *Corymbia citriodora*.

Em seus estudos, Oliveira *et al.*, (2005), ao analisar a variação do teor de umidade na madeira de sete espécies de eucalipto, concluiu que, o *Corymbia*



*citriodora* – *exEucalyptus citriodora* e a *E. paniculatae* foram mais homogêneos quanto à distribuição de umidade na madeira, e portanto, comportam-se melhor nas operações de processamento e possuem maior uniformidade.

As variáveis que correlacionaram com a rugosidade foram: a potência e temperatura para ambas as espécies em estudo, e a emissão acústica para a espécie *Corymbia citriodora*.

### 5.5.2 Emissão Acústica

A emissão acústica produzida durante o processo de lixamento de *Corymbia citriodora* não diferiu entre as espécies e tampouco entre as lixas. E no lixamento de *Pinus elliotii* também não houve diferença entre as lixas. No entanto, quando comparada em relação às umidades, para ambas as espécies, as peças lixadas com 7%, bem como, as lixadas com 12% de umidade, apresentaram menores valores de emissão acústica, e não diferiram significativamente entre si. A emissão acústica produzida no lixamento de peças com 17% de umidade pode ter sido maior porque com o aumento da umidade há também o aumento da densidade aparente do material, e este fator, é diretamente proporcional à emissão produzida.

A análise de variância da regressão mostrou que houve relação entre a rugosidade média com a emissão acústica para o Pinus, entretanto, o mesmo não ocorreu com o *Corymbia*. Souto *et al.*, (2004), encontraram resultados semelhantes aos obtidos para a espécie *Corymbia citriodora*, pois, no trabalho eles observaram que o parâmetro  $R_a$  não tem correlação direta com a emissão acústica, entretanto o parâmetro  $R_{ku}$  ( Fator de achatamento do perfil) teve correlação com os níveis de emissões acústicas produzidos durante o processo de usinagem das peças.

### 5.5.3 Potência

É possível observar ao comparar as duas espécies em estudo, que o *Pinus elliotii* apresentou maiores médias de potência consumida, como a densidade do Pinus em estudo é menor do que a densidade do *Corymbia citriodora*. Uma

hipótese para o ocorrido seja de que, a resina contida na madeira desta espécie tenha contribuído para este resultado.

Referente à umidade e lixa, a 17% e na P80 a potência atingiu maiores valores. Para ambas as espécies, houve relação entre a rugosidade e a potência consumida, no entanto, o modelo encontrado não foi preciso. Entretanto, Saloni *et al.*, (2005), encontraram resultados diferentes ao variarem a velocidade no lixamento da espécie *Acer saccharum* (folhosa) e do *Pinus strobus* (conífera), pois, uma das observações efetuadas foi que a pressão não afetou o acabamento superficial.

Com o aumento do teor de umidade da madeira, o desempenho mecânico do material é prejudicado. No entanto, de acordo com Gerhards, (1968) *apud* Stolf(2000), esse aumento de umidade proporciona ao material uma maior tenacidade, portanto, ele absorve maior quantidade de energia até a sua fratura. Isso pode explicar o porquê das peças com 17% de umidade terem apresentado uma maior média de potência consumida durante o seu lixamento.

#### **5.5.4 Temperatura máxima no processo de lixamento**

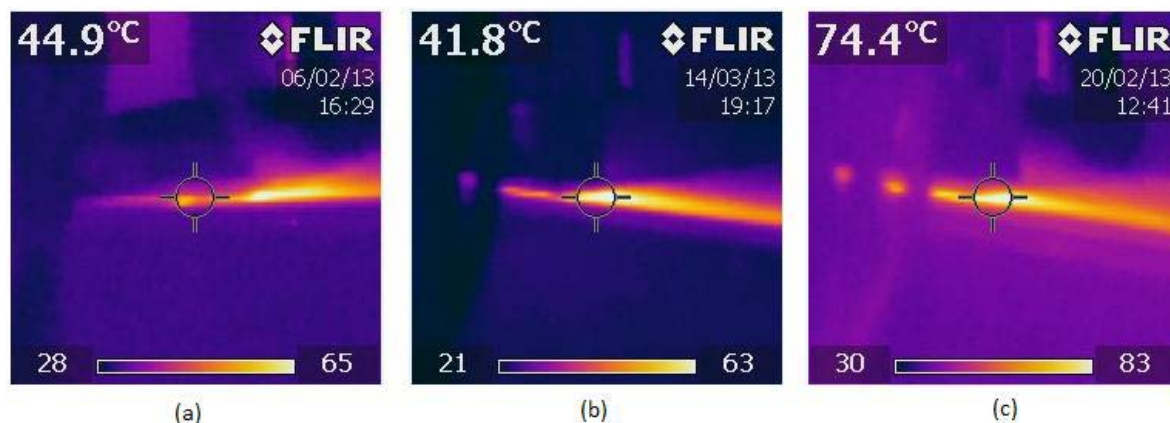
Para ambas as espécies em estudo, a temperatura máxima de aquecimento das peças foi maior quando utilizado no processo a lixa P80, isso pode ter ocorrido devido à granulometria da lixa, pois ela é maior em relação às outras (P100 e P120), e, portanto, retira uma mesma quantidade de material em um menor tempo, ou seja, a sua taxa de remoção de material é maior, exigindo mais da peça, e como consequência, aumenta o atrito entre a peça e a lixa, provocando um maior aquecimento da superfície da peça.

Em relação às umidades em estudo, a temperatura durante o lixamento foi maior em peças com 17% de umidade, devido à maior condutividade térmica da madeira úmida em relação a mais seca, pois, a água ocupa os espaços vazios da madeira (lúmen) que continham inicialmente ar.

Embora a temperatura durante o lixamento de peças com 7% e 12% de umidade não tenha diferido significativamente, nota-se que a média obtida para as peças com 7% foi maior, isso pode ter ocorrido porque a água também atua como

um refrigerante para a ferramenta, no qual, durante o atrito, a ferramenta subtrai a água superficial da madeira (evapora-se), e como a peça estava com baixa umidade, acabou proporcionando um maior aquecimento da ferramenta (Figura 37).

Figura 37: Corpos de prova lixados com granulometria P80: (a) *Pinus elliottii* com TU(%) =  $7 \pm 2$  . (b) *Pinus elliottii* com TU(%) =  $12 \pm 2$  . (c) *Pinus elliottii* com TU(%) =  $17 \pm 2$



Fonte: Autoria própria

Houve relação entre a rugosidade e temperatura, sendo esta relação inversamente proporcional a qualidade superficial.

No lixamento do *Pinus elliottii* a temperatura foi superior ao do *Corymbia citriodora*. Segundo Hendartoet *al.*,(2013), coníferas (softwoods) tendem a soltar resina sobre a lixa durante o processo de lixamento, e esse material fica impregnado entre os grãos abrasivos, aumentando o atrito e proporcionando uma maior transferência de calor.

## 6 CONCLUSÃO

As conclusões obtidas em função das análises realizadas entre as espécies lixadas no sentido paralelo às fibras (*Corymbia citriodora* e *Pinus elliottii*) e as variáveis de saída (rugosidade, emissão acústica, potência e temperatura máxima durante o lixamento) são:

- A qualidade da superfície de ambas as espécies foi inversamente proporcional ao teor de umidade da peça. Como não houve diferença significativa entre as umidades de 7 e 12 %, não se torna interessante para o processo de lixamento que as peças sejam secas até uma umidade mais baixa, já que isto provoca um maior gasto de energia e tempo.

- Durante o processo, a emissão acústica não foi influenciada pelas diferentes espécies e pelas lixas utilizadas. No entanto, de forma geral, peças lixadas com 7 e 12 % de umidade conferiram uma menor emissão.

- No lixamento do *Pinus elliottii* houve um maior consumo de potência. E para ambas as espécies a lixa P80 e teor de umidade da peça igual a  $17 \pm 2\%$  conferiram maior consumo de potência.

- A temperatura máxima durante o processo de lixamento foi maior para o *Pinus elliottii* quando comparado com o lixamento do *Corymbia citriodora*. Para ambas as espécies em estudo, houve relação entre a temperatura máxima e a rugosidade das peças, sendo elas diretamente proporcionais, ou seja, o aumento da temperatura foi indesejável para a qualidade superficial dos corpos de prova.

Em suma, a umidade que apresentou maiores vantagens no lixamento das duas espécies em estudo, levando em consideração a energia gasta e o tempo necessário para secar as peças, foi a de  $12 \pm 2\%$ , pois ela não diferiu significativamente da umidade de  $7 \pm 2\%$  em todos os quesitos analisados (rugosidade superficial, emissão acústica, potência consumida e temperatura máxima).

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M.C.S. Foto da lixadeira plana com sistema de aquisição de dados. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por larissa.ribas@grad.itapeva.unesp.br em 18 junho 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 4287**: Especificações geométricas do produto (GPS)- Rugosidade: Método do perfil-Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6405**: rugosidade das superfícies. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

BUDAKCI, M.; GURLEYEN, L.; CINAR, H.; KORKUT, S. Effect of wood finishing and planning on surface smoothness of finished wood. **Journal of Applied Sciences**, v.7, n.16, p.2300-2306, 2007.

CARPINETTI, L. C. R.; GONÇALVES FILHO, E. V.; PORTO, A. J. V.; JASINEVICIUS, R. G. **Rugosidade Superficial**: Conceitos e Princípios de Medição. São Carlos: Apostila, pp. 51, Seção de Publicações da EESC-USP, 1996.

FENGEL, D.; WEGENER, G. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. New York: Ed. Walter de Gruyter & Co., 1984. 613 p.

FERRARESI, D. Fundamentos da usinagem dos metais. São Paulo: Ed. EdgardBlücherLtda, 1977. p. 485.

FOREST PRODUCTS LABORATORY (United States). Wood handbook: Wood as an engineering material. Madison: General Technical Report Fpl-grt-113, 1999. 463 p.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P.; Secagem Racional da Madeira. São Paulo: Nobel, 1985. 111 p

GOLÇALVES, F.B.; SASAKI, M.Y.; SALOMÃO, R. **Novos desafios e oportunidades nos processos de abrasão por lixamento**. Trabalho apresentado à 6ª edição da Feira e Congresso Usinagem, São Paulo, 2010.

GONÇALVES, M. T. T., Processamento da Madeira, 1.ed. Bauru: Document Center Xerox - USC, 2000. 242p.

HENDARTO, B.; SHAYAN, E.; OZARSKA, B. **Characterisation of Surface Finishing Processes in Wood Furniture Manufacturing**. Disponível em: <<http://www.swinburne.edu.au/engineering/iris/pdf/profiles/BennyHendarto.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2013.

HENDARTO, B.; SHAYAN, E.; OZARSKA, B.; CARR, R. Analysis of roughness of a sanded wood surface. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 28, p. 775–780. 2006.

INCROPERA, F. P; DEWITT, D.P **Introduction to conduction**. In: INCROPERA, F. P. *et al.*, Introduction to heat transfer. 5. ed. 2007. Cap. 2. p. 1-2.

INSTITUTO DE ESTUDOS E PESQUISAS FLORESTAIS. *Corymbia citriodora* Hill & Johnson (*Eucalyptuscitriodora*Hook). Disponível em: <[http://www.dermatologia.net/novo/base/estetica/implante\\_fibroblastos.shtml](http://www.dermatologia.net/novo/base/estetica/implante_fibroblastos.shtml)>. Acesso em: 16 abr. 2012.

KWH Mirka Ltd. (Scandinávia). **Effective wood sanding**. Catalogo. Disponível em: <[http://www.mirka.com/SharePoint/MSF Printed material/Wood Sanding/Wood Sanding brochure English.pdf](http://www.mirka.com/SharePoint/MSF%20Printed%20material/Wood%20Sanding/Wood%20Sanding%20brochure%20English.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2013. (KWH MIRKA Ltd, 2013)

Lemos, A. L. F.; Garcia, R. A.; Lopes, J. O.; Carvalho, A. M.; Latorraca, J. V. F. Madeira de *Corymbia citriodora*(Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson sob Aspectos Físicos e Anatômicos como Fatores Qualitativos. *Floresta e Ambiente*.v.19, n.1, p.1-8,2012.

LOGSDON, N.B; CALIL JUNIOR, C. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, n. 18, p. 77-107, 2002.

LOUPPE, D., OTENG-AMOAKO, A.A. & BRINK, M. (EDITORS); Plant Resources of Tropical Africa 7(1). Timbers 1. PROTA Foundation, Wageningen, Netherlands / Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands/ CTA, Wageningen, Netherlands. 704 pp. 2008.

MACHADO, Alisson Rocha *et al.*, **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Blucher, 2009.

MOURA, F. L.; HERNANDEZ, 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.

NAGYSZALANCY, S. **The wood sanding book**: A guide to abrasives, machines, and methods. Tauton Press, New York, 1997. 213p.

NUSSBAUM, Ch. N. **Rebolos & Abrasivos**: tecnologia básica. São Paulo: Ed. Ícone, 1988. 503 p.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMMEISTER, J. C.; FILHO, Mário Tomazello. Variação do Teor de Umidade e da Densidade Básica na Madeira de Sete Espécies de Eucalipto. *R. Árvore*.Viçosa-MG, v.29, n.1, p.115-127, 2005.

OLIVEIRA, R M. **Utilização técnica de caracterização de superfície em madeiras tratadas termicamente**. 2009. 127 f. Tese (Doutorado) - Curso de Física, Departamento de Física Aplicada, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. (OLIVEIRA, 2009).

PAHLITZSCH, G. The International state of research in the field of wood sanding. *HolzalsRoh-undWerstoff*. v.18, p.330-343, 1970.

PONCE, R. H.; WATAI, L. T. *Secagem da Madeira*.Brasília: Secretaria de Tecnologia Industrial, São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1985, p.70.

REDDY, T. S.; REDDY, C. E. Real Time Monitoring of Surface Roughness by Acoustic Emission in CNC Turning. *Journal of Engineering Science and Technology Review*, Kavala Institute of Technology. n.3, v.1, p.111-115, 2010.

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.

SALONI, D. E.; LEMASTER, R. L.; JACKSON, S. D. Process Monitoring Evaluation and Implementation for the Wood Abrasive Machining Process. *Sensors. Basel*, v.10, n.11, p.10401-10412, nov., 2010.

SOUTO, U. B. *et al.*, **Avaliação do Perfil de Rugosidade Através do Sinal de Emissão Acústica**, In: Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 14 st, 2004, Brasil. Anais... Brasil, 2004.

STOLF, D O. **Tenacidade da madeira**. 2000. 101 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000. (STOLF, 2000)

ZACARIAS, D. **Análise do Processo de Lixamento Tubular da Madeira de *Corymbia citriodora***, 2012. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.