

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA ‘

MARIANE ALVES DA FONSECA

**ANÁLISE DO PROCESSO DE LIXAMENTO COM LIXAS DE ÓXIDO
DE ALUMÍNIO**

Itapeva - SP

2012

MARIANE ALVES DA FONSECA

**ANÁLISE DO PROCESSO DE LIXAMENTO COM LIXAS DE ÓXIDO
DE ALUMÍNIO**

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^o. Dr^o. Manoel Cléber de Sampaio Alves.

Itapeva - SP

2012

FICHA CATALOGRÁFICA

Fonseca, Mariane Alves da

F676a Análise do processo de lixamento com lixas de óxido de alumínio/
Mariane Alves da Fonseca – – Itapeva, 2012

54 f.: il. 30 cm

Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial Madeireira
apresentado ao Campus Experimental de Itapeva – UNESP, 2012

Orientador: Profº. Drº. Manoel Cléber de Sampaio Alves

Banca examinadora: Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza; Prof.
Msc. Francisco Mateus de Almeida Varaquim

Inclui bibliografia

1. Usinagem. 2. Madeira. 3. Abrasivos. I. Título. II. Itapeva – Curso de
Engenharia Industrial Madeireira.

CDD 621.92

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da UNESP – Campus Experimental de Itapeva

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS EXPERIMENTAL DE ITAPEVA

ANÁLISE DO PROCESSO DE LIXAMENTO COM LIXAS DE ÓXIDO DE ALUMÍNIO

MARIANE ALVES DA FONSECA

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA
DE **GRADUADO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA**

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA INDUSTRIAL MADEIREIRA

Prof. Dr. José Cláudio Caraschi
Coordenador de Curso

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Manoel Cléber de Sampaio Alves
Orientador – Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Dr. Alexandre Jorge Duarte de Souza
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

Prof. Msc. Francisco Mateus Faria de Almeida Varasquim
Campus Experimental de Itapeva/UNESP

AGRADECIMENTOS

“Ele é como árvore plantada junto a corrente de águas, que no divino tempo, dá o seu fruto, e cuja folhagem não murcha; e tudo quanto ele faz será bem sucedido.” Salmos 1:3(A verdadeira felicidade)

Antes de tudo , a razão por estar aqui é pelo maior homem do mundo me dar o privilégio da vida, Deus me concedeu o prazer da mesma, quando por nós morreu, por isso a gratidão infinita à Deus nosso Senhor. Por me dar sabedoria para enfrentar as dificuldades durante todo o curso e o desenvolvimento deste trabalho, me iluminando para que com as pedras colocadas ao meu caminho, eu soubesse que apenas eram para construir minha fortaleza. Nos momentos de angustia e injustiça passou-me segurança e tranquilidade para tomar as decisões que eram cabíveis.

Amei, porque o senhor ouvirá a voz da minha oração. Porque inclinou para mim o seu ouvido e eu o invocarei todos os dias da minha vida. Salmos 114:1-2.(O verdadeiro Deus)

“E qual o pai dentre vós que, se o filho lhe pedir pão lhe dará uma pedra? Ou também, se lhe pedir peixe, lhe dará por peixe uma serpente? Ou também, se lhe pedir um ovo, lhe dará um escorpião?” S. Lucas 11:11-12.

Aos meus pais senhor Antonio e dona Ilda a quem depois de Deus amo incondicionalmente, sem medir esforços, que com muita luta me concederam a possibilidade de estar cursando em uma universidade. Onde em todos momentos me deram apoio, me incentivando e sempre me ensinando acima de tudo que as coisas são conquistadas com humildade e honestidade. Que mesmo com toda a simplicidade deles me ensinaram o essencial da vida, o respeito para com o próximo, para que eu pudesse conquistar meus objetivos. “Filho meu ouve a instrução de teu pai, e não deixes o ensino de tua mãe

Ao meu namorado Edi, a quem tanto amo, que durante todo o tempo do curso me motivou sem medir esforços me apoiando a todos os momentos. Muitas vezes me auxiliando diretamente em trabalhos desenvolvidos pela universidade, e acima de tudo meu melhor amigo.

“E o enchi do espírito de Deus, de sabedoria, e de entendimento, e de ciência, em todo o artifício” Êxodo 31:3.

Ao meu orientador Profº Drº Manoel Cléber de Sampaio Alves, que literalmente realizou seu papel, me apoiando, tendo muita paciência com minhas dificuldades ilustrando

muitas das vezes minhas ideias para que eu pudesse concluir mais este trabalho desenvolvido com ele. Com muita alegria sou aluna bolsista, deste mestre onde, aprendi a me dedicar a pesquisa, e que mesmo trabalhando voluntariamente juntos obtivemos ótimos resultados de tudo que foi realizado no decorrer da minha graduação.

Agradeço a minha cunhada Daniela que sempre me incentivou e me deu apoio, para que eu jamais desistisse e nas horas que eu mais precisei ela estava por perto. E a minha grande amiga Vandira que este presente nos momentos mais difíceis da minha vida e sempre me dando força para que eu continuasse e não desistisse. Que Deus abençoe nossa amizade para sempre, são estas pessoas que Deus colocou em minha vida para que eu pudesse me fortalecer e sempre caminhar pra frente e não me desanimar.

“O olhar de um amigo alegria ao coração, as boas-novas fortalecem até os ossos”. Provérbio 15, 30. Amigos que partilharam comigo todos os momentos deste curso dentro e fora desta universidade, momentos inesquecíveis que levarei comigo para o resto de minha vida. A minha amiga graduanda de 3º ano Larissa Ribas, que me ajudou praticamente em todos os níveis da minha graduação que estava presente, ao meu amigo Engº Bruno Santos que há mais de 15 anos me acompanha sem êxito para me ajudar. A minha amiga Fernanda Diniane que sem ela ficaria muito difícil nos momentos de angústia, pois ela estava presente para me confortar e me aconselhar. Aos meus amigos do Centro Acadêmico Gestão 2012, Renato Mello, Tiago Hendrigo, Renan Rangel, Rafael Dellani, Thierso Bortoloci, Lygia Saes, Emanoele Chiromito, Jorge Martins, Rodrigo Campos, Rodrigo Barros, Vinícius Barros, Rogério, Augusto Spelletta, Walter, Diego Rangel, Bruna Andrade, Guilherme, Daniel, que como Diretora Social, junto a esta equipe fizemos o possível para que a frente de alunos fossem reconhecidas dentro do campus e fora dele, promovendo a integração dentro da universidade e atividades sociais junto a comunidade itapevense. Aos meus amigos e companheiros de todas as horas Bruna Morita, Ana Clara Lancarovici, Karina Arakaki, Guilherme Caceragui, Gabriel Fogaça, Alexandre Castelhana.

Agradeço a Empresa Promad Jr. que contribuiu muito para minha vida acadêmica como suplente da Diretoria de Projetos na gestão 2012.

Agradeço ao Profº Drº Marcos Tadeu Tibúrcio Gonçalves que como coordenador executivo do campus, contribuiu muito para que o CA realizasse suas atividades, sem colocar impecílios para que pudéssemos transformar o nosso Centro Acadêmico.

A todos os funcionários e professores da Unesp Itapeva, que se disponibilizaram seu tempo para que hoje pudesse estar aqui realizando este trabalho.

Agradeço a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo(FAPESP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico(CNPq) pelos auxílios fornecidos durante os desenvolvimentos de pesquisas realizadas durante a minha graduação.

Aos meus amigos que realizam reuniões nos finais de semana, que são nestes momentos de alegria que eu tenho ânimo para continuar e não desistir, ao redor de pessoas que eu amo.

RESUMO

Os produtos madeireiros, como por exemplo, madeira serrada, painéis, laminas entre outros produtos constituídos de madeira, necessitam de acabamentos finais. Na maioria das vezes estes são dependentes do processo de lixamento. A finalidade deste procedimento é fazer correções superficiais, geradas no momento de produção das peças, por irregularidades da madeira ou por problemas na usinagem, facilitando assim a aplicação de vernizes, tintas e outros produtos, para melhoramento na qualidade da indústria madeireira. O processo de lixamento é influenciado por fatores como pressão sobre a lixa, granulometria da lixa, tempo de lixamento, velocidade de corte, entre outros. O presente trabalho estudou o lixamento plano em duas espécies de madeira, *Pinus elliottii* e *Eucalyptus* sp, verificando a influência da granulometria e do desgaste dos grãos abrasivos de óxido de alumínio. A análise foi realizada, tendo como parâmetro, força de corte e a potência explicitadas durante o procedimento. Também foram analisadas as rugosidades, para verificar se houve influência significativa, nestas diferentes condições. Verificou-se que houve influência significativa em relação as três granulometrias de lixas para a rugosidade com o pinus e eucalipto, o mesmo ocorreu para as três condições de desgaste.

Palavras-chave: Lixamento. Rugosidade. *Eucalyptus* sp. *Pinus elliottii*. Óxido de alumínio.

ABSTRACT

The wood products, such as lumber, panels, veneer and other products made from wood require finishing. Most often these are dependent on the sanding process. The purpose of this procedure is to make surface corrections generated at the time of production of parts by irregularities of the timber. Thereby facilitating the application of varnishes, paints and other products to improve the quality of products of the wood industry. The sanding process is influenced by factors such as specific cutting pressure, particle size of sandpaper, sanding time, cutting speed, among others. In this paper will be studied the influence of particle size of aluminum oxide sandpaper, analyzing the variability of the wear of abrasive grains, being applied in *Eucalyptus* sp and *Pinus elliottii*, held in plan sanding. The analysis will be performed, having as parameter, cutting force and power input during the procedure. Roughness will also be analyzed to see if there was a significant influence in these different conditions.

Keywords: Sanding. Particle size. *Eucalyptus grandis*. *Pinus elliottii*. Aluminum oxide sandpaper.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Disposição dos grãos.....	20
Figura 2 – Grãos abrasivos sinterizados e convencionais.....	21
Figura 3 – Distribuição da área cultivada e número de produtores 2007/2008 de (a) eucalipto e (b) pinus.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 4 – Processo de preparação dos corpos de prova.....	22
Figura 5 – Dimensões do corpo de prova.....	22
Figura 6 – Célula de carga de modelo TBSPLk.....	26
Figura 7 – Transdutor de corrente modelo TRX-I/U K.....	26
Figura 8 – Amplificador da célula de carga TCA500.....	27
Figura 9 – Banco de ensaio utilizado.....	28
Figura 10 – (a) encaixe do corpo de prova para realização do lixamento. (b) lixamento na condição 1(D1). (c) realizando o desgaste da lixa com material metálico. (d) desenvolvimento dos ensaios.....	31
Figura 11 – Medição de rugosidade através do rugosímetro.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 12 – Ao analisar o gráfico de barras pode se notar que houve uma maior remoção de material, após realizado os desgastes na condição 1(D2) e condição 2(D2).	34
Figura 13 – Com base no gráfico de barras pode-se relatar uma diminuição na rugosidade das amostras, entre as condições D1, D2 e D3 respectivamente.	35
Figura 14 – Observando o gráfico de barras, confirma-se que tem uma maior remoção de material quando a lixa de óxido de alumínio foi desgastada.k.....	35
Figura 15 – Realizado análise estatística verificou-se que a rugosidade nos corpos de prova lixados com a lixa de granulometria 100, obteve uma menor rugosidade. Erro! Indicador não definido.	
Figura 16 – Observando a figura verifica-se que a rugosidade em relação aos desgastes de lixa, teve-se uma diminuição.	36
Figura 17 – O gráfico representa a força aplicada nas três condições de lixamento para lixa de granulometria 80.	37
Figura 18 – Figura apresentando dados de força aplicada sobre o processo de lixamento na lixa de óxido de alumínio, quando a mesma sendo de granulometria 100.	38
Figura 19 – Dados referentes as forças aplicadas no lixamento da lixa de granulometria 120.	38

Figura 20 – Análise estatística de força para as lixas.	39
Figura 21 – Análise estatística de força para as condições de lixamento.	39
Figura 22 – Potência consumida na utilização na lixa de granulometria 80.k	40
Figura 23 – Potência consumida para o lixamento de lixa de granulometria 100, nota-se um aumento de consumo, conforme transcorridos os desgastes das lixas.	41
Figura 24 – No lixamento com a lixa de granulometria 120, pode-se notar também um aumento de consumo conforme os desgastes.	41
Figura 25 – Análise estatística realizada para potência em relação as granulometrias de lixas.	42
Figura 26 – Análise estatística para potência, em relação as condições de lixamento.	42
Figura 27 – Rugosidades obtidas durante o processo de lixamento, para a lixa de granulometria 80.	43
Figura 28 – Rugosidade do processo de lixamento, para lixa de granulometria 100. Pode-se notar que a rugosidade das amostras diminuem conforme mudam as condições de lixamento em D1,D2 e D3, respectivamente.	43
Figura 29 – O mesmo que ocorre para a lixa de granulometria 100, ocorre para a lixa de granulometria 120.	44
Figura 30 – Análise estatística para a rugosidade em relação as granulometrias de lixas.	45
Figura 31 – Análise estatística para a rugosidade em relação as condições de lixamento. Observando o gráfico nota-se que a rugosidade para a condição de lixamento D3 apresenta menor rugosidade.	45
Figura 33 – Forças aplicadas nas três condições de lixamento para a lixa de granulometria 80.	46
Figura 34 – Forças aplicadas no processo de lixamento na lixa de granulometria 100.	46
Figura 35 – Forças aplicadas no processo de lixamento para lixa de granulometria 120.	47
Figura 36 – Potência consumida durante o processo de lixamento para granulometria 80. Tem-se um consumo de potência maior na condição de desgaste D2 e D3, respectivamente em relação a D1.	48
Figura 37 – Potência consumida para lixa de granulometria 100.	48
Figura 38 – Consumo de potência para a lixa de granulometria 120.	49
Figura 39 – Análise estatística da força em relação a mudança de granulometrias de lixa.	49
Figura 40 – Análise estatística para força em relação as condições de lixamento.	50
Figura 41 – Análise estatística para potência consumida em relação as granulometrias de lixa.	50

Figura 42 – Análise estatística da potência consumida em relação as condições de lixamento. Há um aumento crescente em relação as condições de lixamento D1, D2 e D3. respectivamente. 51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área Plantada e Produção de Eucalipto e Pinus, Estado de São Paulo, 2008...**Erro!**

Indicador não definido.

Tabela 2 – Características técnicas da lixadeira plana.....	25
Tabela 3 – Características técnicas do transdutor de corrente TRX-I/U.....	26
Tabela 4 – Características técnicas do amplificador TCA500.	27
Tabela 5 – Níveis dos fatores variados no experimento.	30
Tabela 6 – Densidade média básica e aparente para o <i>Pinus elliottii</i>	34
Tabela 7 – Análise de variância da potência consumida.....	40
Tabela 8 – Análise de variância da potência consumida.....	42
Tabela 9 – Análise estatística da rugosidade do <i>Pinus elliotti</i>	44
Tabela 10 – Análise de variância da potência consumida.....	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1. Lixamento	18
3.2. Potência consumida no lixamento	19
3.4. Granulometria	19
3.5. Lixa de óxido de alumínio	20
3.5.1. Variações dos grãos de óxido de alumínio	20
4. MATERIAIS E MÉTODOS	21
4.1. Matéria-prima e preparação dos corpos de prova	21
4.2. Determinação do teor de umidade	23
4.3. Análise física da madeira	23
4.3.1. Determinação da densidade aparente	23
4.3.2. Determinação da densidade básica	24
4.4. Lixamento	25
4.4.1. Descrição do banco de ensaio	25
4.4.2. Acondicionamento dos abrasivos	28
4.4.3. Condições de lixamento pré-estabelecidas	29
4.4.4. Processo de lixamento realizado	31
4.4.5. Processo de lixamento realizado	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. Densidade básica e aparente	33
5.2. Rugosidade do <i>Pinus elliotti</i>	34
5.3. Força do <i>Pinus elliotti</i>	37
5.4. Potência do <i>Pinus elliotti</i>	40
5.5. Rugosidade do <i>Eucalyptus sp.</i>	43
5.6. Força do <i>Eucalyptus sp.</i>	46
5.7. Potência do <i>Eucalyptus sp.</i>	47
6. CONCLUSÃO	52
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1. INTRODUÇÃO

No Brasil a utilização da madeira para diversos fins, com o passar do tempo vem aumentando consideravelmente dentro dos resultados da economia obtida relacionadas aos reflorestamentos (ABRAF, 2006: p. 16). Este aumento deve-se em parte ao maior uso da produção de produtos de árvores.

Para o setor madeireiro obter seus distintos produtos, necessitam de diferentes tipos de aperfeiçoamento em suas finalidades, sendo inúmeros deles, procedimentos de usinagem.

O lixamento é um processo de usinagem não convencional, baseada na abrasão de grãos abrasivos sobre a peça e tem a função de melhorar o acabamento superficial.

Também o lixamento, por ser um processo subsequente às usinagens primárias, deve ser realizado somente quando os processos anteriores não forem capaz de assegurar a qualidade requerida da peça.

Na madeira é realizado devido a falhas geradas devido à anatomia da madeira ou devido a falhas de usinagem.

Indústrias madeireiras, principalmente indústrias de móveis e de painéis, utilizam-se lixamento na fabricação de seus produtos tornando esse estudo do lixamento fundamental para melhorar este processo tornando-o mais eficaz e mais eficiente.

O estudo desenvolvimento nesta pesquisa é direcionado ao processo de lixamento plano da madeira, de *Pinus elliotti* e *Eucaplyptus* sp. Realizado paralelamente às fibras, sendo mantidos velocidade de corte e o tipo de grão abrasivo, o grão abrasivo é o óxido de alumínio, no entanto havendo variações nas granulometrias de lixa, utilizando (80, 100 e 120 mesh), e no desgaste dos grãos. Estas condições foram estabelecidas, para que se pudesse verificar se estas variáveis influenciam a força de corte e potência consumida.

P. elliottii é uma gimnospermas pertencente à família Pinaceae, nativa do sudeste dos EUA, caracterizada pela produção de resina em todos os seus gêneros, sendo ela amplamente cultivada em plantações subtropicais do Brasil, Índia e China, utilizada principalmente na produção de resina e na indústria moveleira. (REMADE,2012)

A Madeira de *Pinus elliottii* possui cerne e alburno indistintos pela cor, branco-amarelado, brilho moderado, cheiro e gosto distintos, densidade baixa, macia ao corte, grã direita, textura fina. Sendo esta madeira fácil de desdobrar, aplainar, desenrolar, lixar, torneiar, furar, fixar, colar e permite bom acabamento, ou seja, é fácil de ser trabalhada. Através de

observações feitas pelo IPT permitem considerar esta madeira é susceptível ao ataque de fungos (emboloradores, manchadores e apodrecedores), cupins, brocas de madeira e perfuradores marinhos. Com densidade aparente a 15% de umidade de 480 Kg/cm³ e densidade básica igual a 400 Kg/cm³. (IPT,2012)

A madeira de pinus, como qualquer outro tipo de madeira, pode sofrer alterações, como por exemplo fissuras superficiais e variações nas tonalidades

O *Pinus elliottii*, madeira originária dos Estados Unidos, exótica, podendo atingir em cerca de 30 metros de altura, madeira marrom-avermelhada na idade adulta. Se plantio se permite em diversos ambientes. Cujas espécies tem rápido crescimento, podendo ter o seu corte com 8 anos de idade. Nos primeiros momentos que esta madeira teve participação no mercado de trabalho, inseriu-se como se fosse uma madeira de baixa durabilidade e resistência. Toda este preconceito, prende-se ao fato, da madeira inserida que se inseriu na indústria moveleira, não teve adequação no processo de usinagem, também a madeira estava sendo manejada para indústria de celulose.

Dentro das diversas espécies diferentes de *Eucalyptus* há um grande uso de *Eucalyptus grandis*.

A espécie *Eucalyptus grandis* é uma angiosperma pertencente à família Myrtaceae, nativa da costa leste da Austrália, que apresenta excelente forma e rápido crescimento, variando de 43 a 55 m de altura e 122 a 180 cm de DAP. Ela é cultivada em mais de meio milhão de hectares plantados em áreas de clima tropical e subtropical nos quatro continentes, sendo uma das mais importantes espécies comerciais de eucalipto no Brasil.

A madeira de *Eucalyptus grandis* apresenta densidade básica média de 0,59 g/cm³ e fator de anisotropia compreendido entre 1,5 e 1,9. Ela comporta-se bem perante as máquinas e ferramentas, pois ela é uma madeira macia e não oferece resistência às serras e equipamentos de trabalho manuais. Sua grã direita é uma característica positiva quanto à facilidade de trabalhabilidade da espécie. Apresenta cor rosa avermelhada e o brilho moderado, fatores que contribuem para a apresentação de um móvel esteticamente agradável. Se esta for aplainada corretamente, terá uma superfície de acabamento muito boa.

Eucalyptus grandis, árvore de grande porte chegando até 55 m, casca fibrosa, tronco robusto, copa aberta. Sua madeira rosado-clara, moderadamente dura e resistente à decomposição natural. A Tabela 1 apresenta a área ocupada e a produção estimada de pinus e eucalipto no estado de São Paulo no ano de 2008, a partir dela pode-se perceber que no ano de 2008 a produção de eucalipto já foi aproximadamente nove vezes maior que a de pinus. A

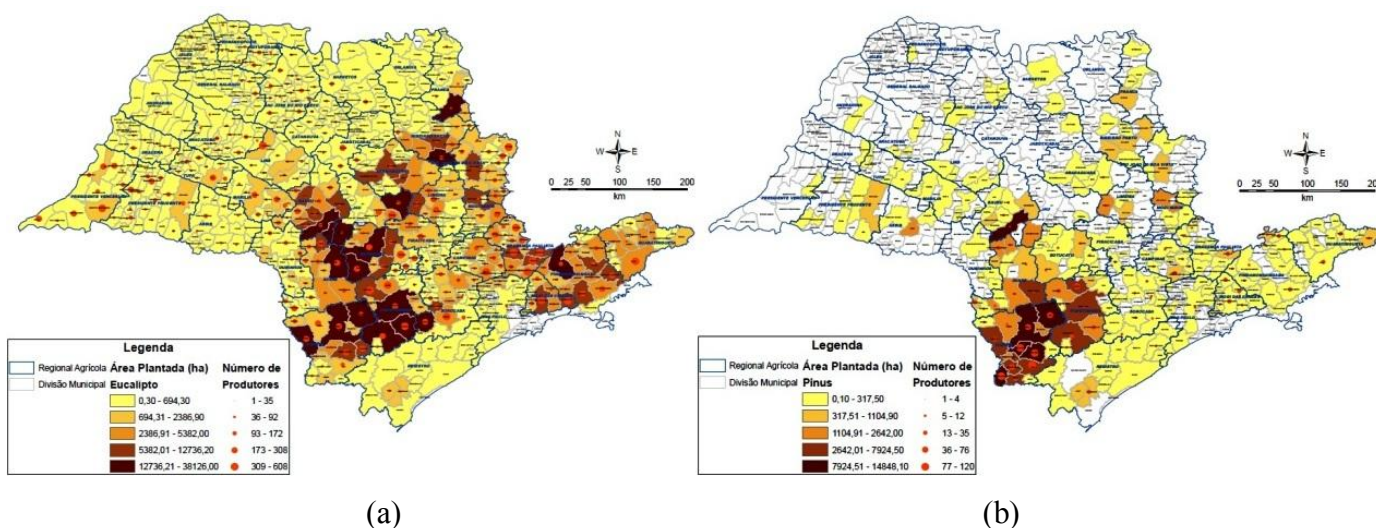
Figura 4 apresenta a distribuição da área cultivada e o número de produtores nos anos de 2007 e 2008 para o pinus e o eucalipto.

Tabela 1 – Área Plantada e Produção de Eucalipto e Pinus, Estado de São Paulo, 2008.

Tipo	Área ocupada (ha)	Produção estimada (m ³)
Eucalipto	862.504	37.346.445
Pinus	151.860	4.328.018
Total	-	41.674.463

Fonte: Projeto LUPA 2007/2008 (SÃO PAULO, 2009).

Figura 1 – Distribuição da área cultivada e número de produtores 2007/2008 de (a) eucalipto e (b) pinus.



Fonte: DISTRIBUIÇÃO 2009a, 2009b.

Nota-se que a produção de pinus (Figura 4a) no estado é muito menor que a produção de eucalipto, sendo que a maior concentração localiza-se no sudoeste paulista; a produção de eucalipto (Figura 4b) por sua vez alastra-se por praticamente todo o estado, ausente somente em pequenos pontos isolados, e as maiores produções, já não estão concentradas em somente uma região, mas há uma distribuição um pouco maior, que abrange principalmente o sudoeste paulista e a região de Botucatu.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi estudar a influência da granulometria e do desgaste do grão abrasivo na qualidade superficial e nos esforços de lixamento (força e potência).

Os objetivos específicos são:

- Estudar a influência da granulometria das lixas e processo no lixamento plano do *Pinus elliottii* e do *Eucalyptus grandis*, processados paralelamente às fibras;
- Com esse estudo, chegar a conclusões que possam contribuir com os conhecimentos das variáveis do processo de lixamento plano e otimiza-los, nos acabamentos dos setores industriais, desta forma melhorando o uso dos recursos e promovendo economia de material, tempo e dinheiro.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica realizada neste presente trabalho relatou algumas definições do processo de lixamento com a lixa de óxido de alumínio, e também as madeiras envolvidas.

3.1. Lixamento

Um dos processos de usinagem utilizado na indústria é o processo de lixamento, que é dividido em duas frentes, sendo uma delas a regularização de uma primeira usinagem para uma superfície mais lisa e plana, com isso realizando os devidos reparos da operação do desbaste. E a segunda frente consiste na preparação da superfície para a aplicação de elementos de acabamento para indústria moveleira entre outras, como por exemplo vernizes, tintas, seladores entre outros revestimentos. (KOCH,1964)

Os processos de lixamento proporcionam uma menor rugosidade das peças, como também a eliminação de sobras na superfície das peças, para que se tenha um melhor acabamento superficial. Segundo GONÇALVES(2000), o lixamento é de extrema importância em madeiras, quando o corte ocorre perpendicular as fibras, pois estas se rompem prejudicando o acabamento. As lixas tem por finalidade fazer correções dos processos de usinagem, que tenham surgido devido a madeira.

Segundo RATNASINGAM E SCHOLZ(2004), existem efeitos das características anatômicas da madeira sobre o processo de lixamento, de cerne e alborno, anéis de crescimento, texturas, extrativos, etc. Relatam ainda, que madeiras de poros menores, produzem uma baixa qualidade superficial, caso este que ocorre ao contrário com madeiras de poros maiores.

3.1.1. Problema no lixamento

Certo problema que ocorre com o processo de lixamento é o encrustamento do da geração de pó, durante o procedimento. A energia estática faz com que as partículas

empastem na superfície da lixa, causando o efeito tampão. O efeito antiestático faz com que aumente a vida útil da lixa.

3.2. Potência consumida no lixamento

A potência consumida no lixamento é um dos tipos de esforços de usinagem. Estudos indicam que a potência aumenta linearmente com a pressão exercida, também é influenciada pela direção de corte, velocidade do volante e força de corte (VARASQUIM *et al.*, 2011).

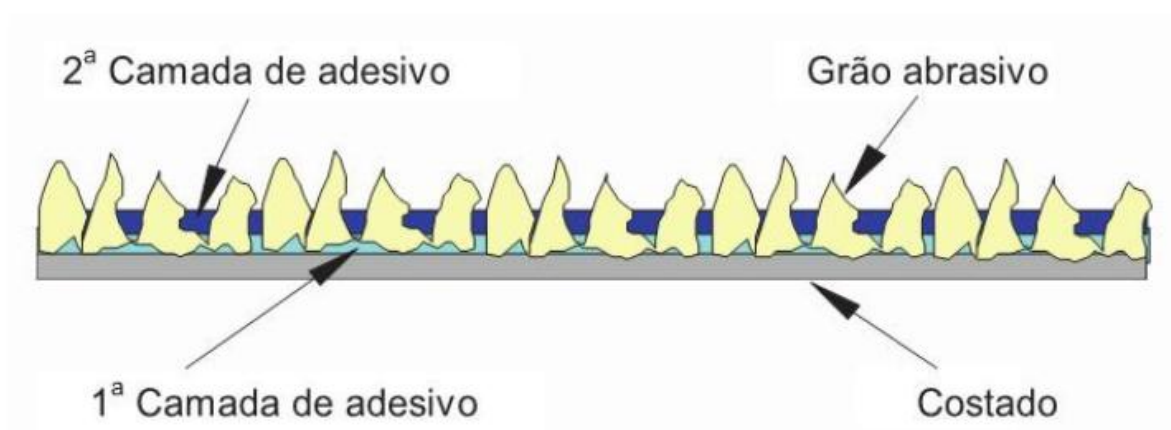
Segundo Jemielniak (1999), sensores de potência medem a potência de acionamento do fuso ou eixo em corrente contínua (C.C.) e corrente alternada (C.A.), ou então, a variação de frequência do motor, sendo esta medida referente à tensão e corrente.

O consumo de energia é uma questão de suma importância em diversas áreas por causa ao seu alto custo e ao esforço em âmbito mundial para reduzir o mesmo. De acordo com o estudo desenvolvido por Saloni *et al.* (2001), este consumo aumenta linearmente com o aumento da pressão da lixa.

3.4. Granulometria

Grãos abrasivos são obtidos através da trituração de minerais, onde formam partículas de diferentes números. De suas características são ressaltadas: Dureza, sendo esta definida pela resistência a ação do risco. Tenacidade, é a capacidade que os grãos abrasivos têm de absorver energia, resistir impactos sob ação dos esforços de choque sem perder o poder de corte. Grãos abrasivos, tem a característica da tenacidade são indicados para processos de altas pressões. Uma outra característica de grande importância é a friabilidade dos grãos abrasivos. A granulometria das lixas tem como identificação numerações, onde estas explicitam a capacidade de desbaste. As mais grossas, ou seja, onde, maiores os grãos abrasivos têm o menor número de lixa. A granulometrias das lixas tendo com as mais grossas à partir do número 20 e as mais finas 400. Para madeiras macias ou resinosas indica-se , grãos com maiores densidades. A Figura 1, representa a disposição dos grãos.

Figura 2 – Disposição dos grãos.



Fonte: NBR14960/2003

3.5. Lixa de óxido de alumínio

Lixas são abrasivos revestidos, sendo aplicados em diversos ramos industriais.

O óxido de alumínio é obtido da fusão da bauxita, triturada e calcinada, misturada com pequena porcentagem de coque, ferro, Ti e MgO_2 , com temperatura de 1900 à 2000 C, em forno elétrico a arco por aproximadamente 36hs, sendo que o resfriamento pode ocorrer em até uma semana. São feitos blocos e depois estes blocos são triturados e fraturados.

3.5.1. Variações dos grãos de óxido de alumínio

Óxido de alumínio convencionais, grãos extremamente robustos, cuja forma permite penetração rápida em materiais duros não desgastando excessivamente. É bastante utilizado em matérias de alta resistência a tração.

Óxido de alumínio marrom, com grãos robustos e com pouco desagregamento. Sua utilização para corte, desgaste e de retificação em aços de baixo carbono, facas alavancas, picaretas e talhadeiras. Indicado em aplicações em madeira dura e alumínio.

Óxido de alumínio branco, são utilizados em operações (acabamento) e afiação de ferramentas de aço rápido.

Óxido de alumínio cerâmicos. Grão este que é sinterizado à partir de um material alfa-alumina, de alto grau de pureza, dando origem a um grão com bilhões de partículas. Sua principal característica é a fratura em micropartículas e em consequência manutenção de aresta de corte, sendo este proporcionando uma maior vida útil do abrasivo. A Figura 2 apresenta os grãos abrasivos sinterizados e convencionais.

Figura 3 – Grãos abrasivos sinterizados e convencionais



4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste tópico estão apresentados os materiais utilizados, metodologias, e análise dos resultados no processo de lixamento do presente trabalho.

4.1. Matéria-prima e preparação dos corpos de prova

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. Após a preparação do desdobro inicial, as peças com dimensões de 1000 x 30 x 60 mm foram aplainadas em duas faces de referência em uma plaina da marca ROCCO modelo PMS 350,

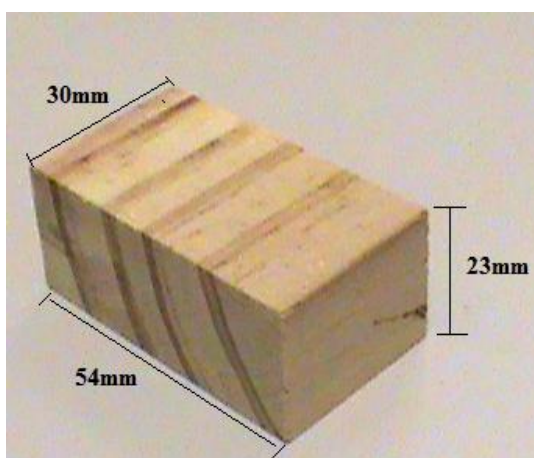
reduzidas nas dimensões (largura e espessura) em uma desgrossadeira da marca BALDAN modelo DGR4 e cortadas em uma esquadrejadeira da marca VERRY modelo LIFE nas dimensões finais, a Figura 8 mostra os processos de usinagem realizados na segunda etapa. Os corpos de prova foram preparados para que o lixamento procedesse na direção paralela às fibras com os planos de corte (tangencial e radial) aleatoriamente distribuídos. Preparou-se um total de 100 corpos de prova de *Pinus elliotti*, os quais foram escolhidos 54, com suas massas mais próximas, enumerados e devidamente climatizados de acordo com a norma NBR 07190/1997 para “classe de umidade 1 - 12%UE” em uma câmara climática da marca TECNAL modelo TE 4001. As dimensões finais dos corpos de prova foram 30 x 54 x 23 mm (Figura 4 e 5). Para o *Eucaliptus* sp também foram confeccionados 100 corpos de prova, onde também os 54 corpos de prova, foram escolhidos através de suas massas mais próximas.

Figura 4 – Processo de preparação dos corpos de prova



Fonte: Frezzatti/2011

Figura 5 – Dimensões do corpo de prova.



Após a climatização dos corpos de prova, os mesmos foram acondicionados em sacos de polietileno e lacrados para não ocorrer variação da umidade.

4.2. Determinação do teor de umidade

O teor de umidade foi realizado através do método gravimétrico da seguinte forma: determinou-se a massa inicial (m_i) do corpo de prova. Após a determinação da massa inicial, colocou-se o corpo de prova na câmara de secagem, com temperatura máxima de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Durante a secagem a massa do corpo de prova foi medida a cada 6 h, até que ocorreu uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5% da última massa medida. Esta massa foi considerada como a massa seca (m_s). Conhecida a massa seca (m_s) do corpo de prova, determinou-se a umidade à base seca de acordo com a Equação (2). Esta determinação foi realizada de acordo com a norma NBR 07190 para comprovação que a madeira entrou em equilíbrio com ambiente em aproximadamente 12% EU.

$$U_{(\%) } = \frac{(m_i - m_s)}{m_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde: $U_{(\%)}$ = porcentagem de umidade base seca;

m_i = massa de amostra úmida, em gramas;

m_s = massa de amostra seca, em gramas.

4.3. Análise física da madeira

4.3.1. Determinação da densidade aparente

A densidade aparente foi determinada segundo a norma NBR 07190. O procedimento consiste em pesar a massa do corpo de prova em uma balança com precisão de 0,01 g e medir o seu volume. Para medição do volume do corpo de prova utilizou-se um paquímetro

mecânico da marca Mitutoyo com precisão de 0,05mm. A densidade aparente (D_{ap}) é uma massa específica convencional, definida pela razão entre a massa e o volume do corpo de prova com teor de umidade de 12% (UE), sendo dada pela Equação (3).

$$D_{ap(12\%)} = \frac{m_{12\%}}{V_{12\%}} \quad (3)$$

Onde: $D_{ap(12\%)}$ = densidade da madeira a 12% de umidade, kg.m^{-3} ;

$m_{12\%}$ = massa de amostra a 12% de umidade, em kg;

$V_{12\%}$ = volume da amostra a 12% de umidade, em m^3 .

4.3.2. Determinação da densidade básica

A densidade básica da madeira é definida como a relação entre o peso de uma amostra seca em estufa e o seu volume verde ou saturado de água. Essa determinação seguiu o método da balança hidrostática, segundo norma NBR 07190. Os corpos de prova foram acondicionados em uma caixa com água até a sua saturação completa. Após a saturação, pesaram-se as amostras imersas (m_i) em uma balança hidrostática. Removeu-se a água superficial dos corpos de prova, e pesaram-se as amostras saturadas (m_v) na mesma balança. Em seguida, secaram-se os corpos de prova com temperatura máxima de $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, até que ocorreu uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5% da última massa medida, obtendo-se a massa seca (m_s). A densidade básica foi determinada através da Equação (4).

$$D_b = \frac{m_s}{m_v - m_i} \quad (4)$$

Onde: D_b = densidade básica, kg.m^{-3} ;

m_s = massa de amostra seca, em kg;

m_v = massa de amostra saturada em água, em kg;

m_i = massa de amostra saturada imersa em água, em kg.

4.4. Lixamento

A seguir serão descritos os componentes do banco de ensaio de lixamento, os valores das variáveis predefinidas do processo de lixamento, os métodos de cálculo empregados para obtenção dos valores das variáveis mensuradas, a forma de acondicionamento dos abrasivos e o planejamento experimental estabelecido para execução do experimento.

4.4.1. Descrição do banco de ensaio

O banco de ensaio é composto por uma lixadeira plana com um suporte adaptado para fixação do corpo de prova e adição de massas para pressão, exaustor para captação do pó, sistema de monitoramento e aquisição de dados composto por um painel de controle, sensores, transdutores, microcomputadores, placas, conectores, cabos e software para aquisição e manipulação dos dados.

Lixadeira plana da marca BALDAN[®], modelo LFH-2. A Tabela 2 descreve as características técnicas da lixadeira plana.

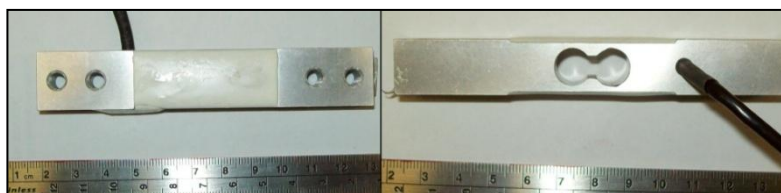
Tabela 2 – Características técnicas da lixadeira plana.

Características técnicas do equipamento	
Potência do motor	1 CV
Peso líquido aproximado	78 kg

O sistema de monitoramento e aquisição de dados é composto pelos seguintes componentes:

- Célula de carga para captação da força de lixamento da marca BERMAN load cells[®], modelo TBSPL com capacidade de 25 kg. A Figura 7 mostra o formato da célula.

Figura 6 – Célula de carga de modelo TBSPLk



Transdutor de corrente alternada monofásico para captação da potência consumida do motor durante o lixamento, marca WARD modelo TRX-I/U. A Tabela 3 apresenta algumas características técnicas do transdutor de corrente alternada. Figura 8 mostra o transdutor de corrente

Tabela 3 – Características técnicas do transdutor de corrente TRX-I/U.

Características técnicas	
Tensão de alimentação	24 VCC
Corrente de saída	0 – 20 mA
Tensão de saída	0 – 10VCC

Figura 7 – Transdutor de corrente modelo TRX-I/U K



- Amplificador da célula de carga, tem a função de receber o sinal elétrico da célula de carga e amplificá-lo para um valor em voltagem proporcional a deformação da célula, marca BITEC, modelo TCA500. A Tabela 4 apresenta algumas características técnicas do amplificador da célula. Figura 9 mostra o amplificador da célula de carga.

Tabela 4 – Características técnicas do amplificador TCA500.

Características técnicas	
Dimensões	23 x 110 x75 mm
Tensão de alimentação	24 VCC
Tensão de entrada	0 – 100 mV
Tensão de saída	0 – 10 VCC

Figura 8 – Amplificador da célula de carga TCA500

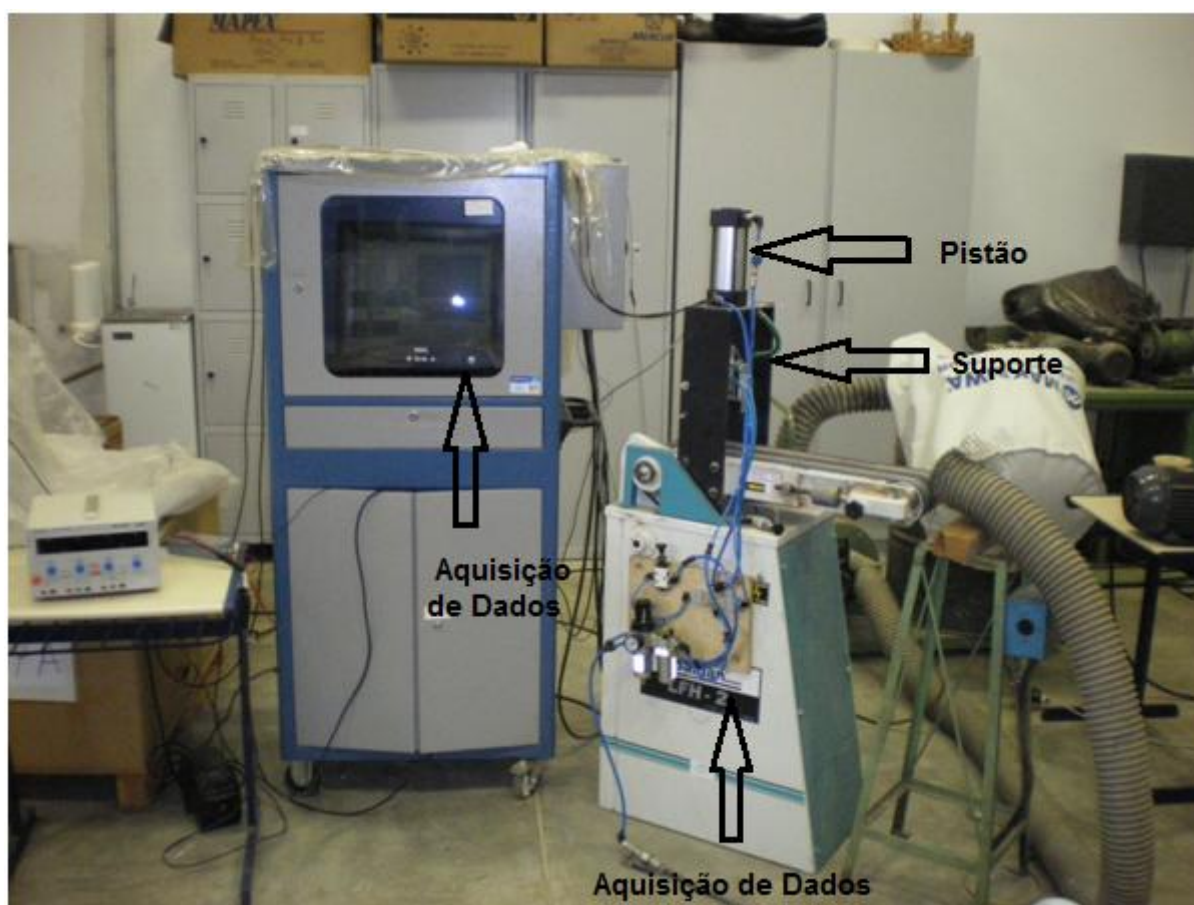


Placa de aquisição de dados, marca National Instruments, modelo NI PCI 6220. A placa de aquisição de dados tem a função de receber os sinais analógicos dos sensores e transformá-los em sinais digitais para ser interpretado pelo software no microcomputador. O software utilizado para captação dos dados 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 em forma de matriz salvando em arquivo de texto.

Além dos componentes citados acima, o sistema de monitoramento e aquisição de dados possui dois microcomputadores para processamento e armazenamento dos dados, uma fonte variável 0 - 30 VCC, com três saídas independentes da marca MINIPA, modelo MPL3303 para alimentação dos módulos de vibração e 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® modelo μ line com tensão de alimentação de 380 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 amplificador da célula de carga e do transdutor de corrente. Figura 10 mostra o banco de ensaio com todos os componentes citados nesse tópico.

Figura 9 – Banco de ensaio utilizado.



4.4.2. Acondicionamento dos abrasivos

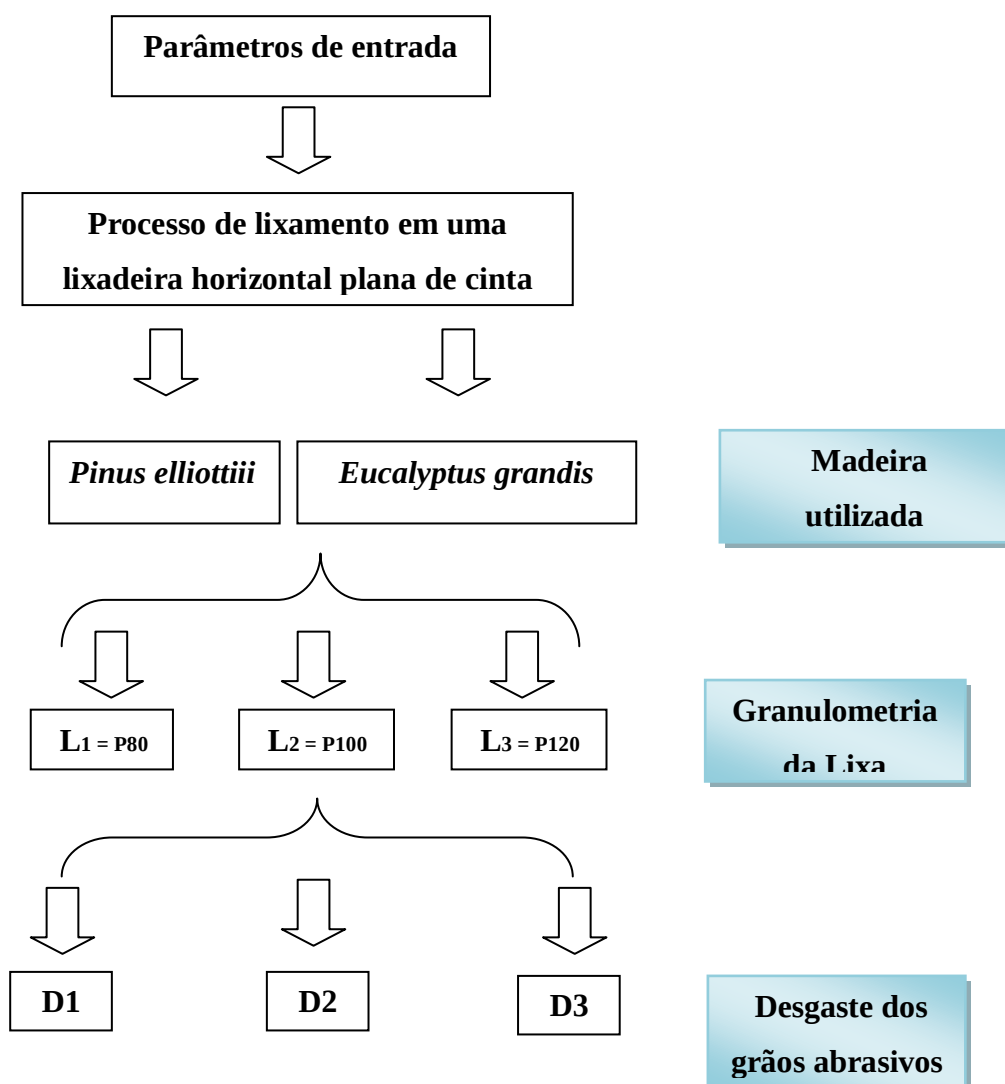
As lixas utilizadas no experimento foram climatizadas e acondicionadas de acordo com a norma NBR 14960/2003. Colocaram-se as lixas em um armário devidamente climatizado para que se pudessem atender as condições ideais que correspondem: 40 – 50%

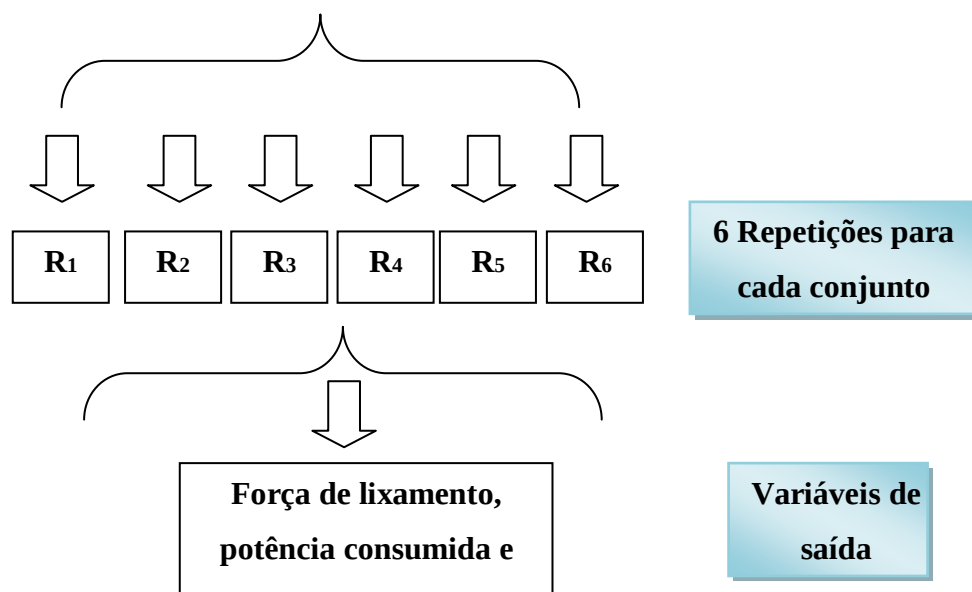
de umidade relativa com 15 – 29°C de temperatura ambiente. O abrasivo utilizado no experimento foi o óxido de alumínio. As granulometrias aplicadas foram P80, P100 e P120 e o fabricante da lixa corresponde à empresa NORTON abrasivos.

4.4.3. Condições de lixamento pré-estabelecidas

Foram realizados ensaios preliminares de modo a serem verificadas as condições de usinagem que o experimento seria submetido. Nestes ensaios foram definidos os fatores e níveis, como pode ser observado na Figura 11.

Figura 11: Procedimentos dos ensaios.





O restante dos fatores testados foram fixados em um único nível, como direção do lixamento (paralelo às fibras), pressão específica, velocidade de corte e material abrasivo (carbeto de silício).

Na Tabela 5 são apresentados os níveis dos fatores variados no experimento.

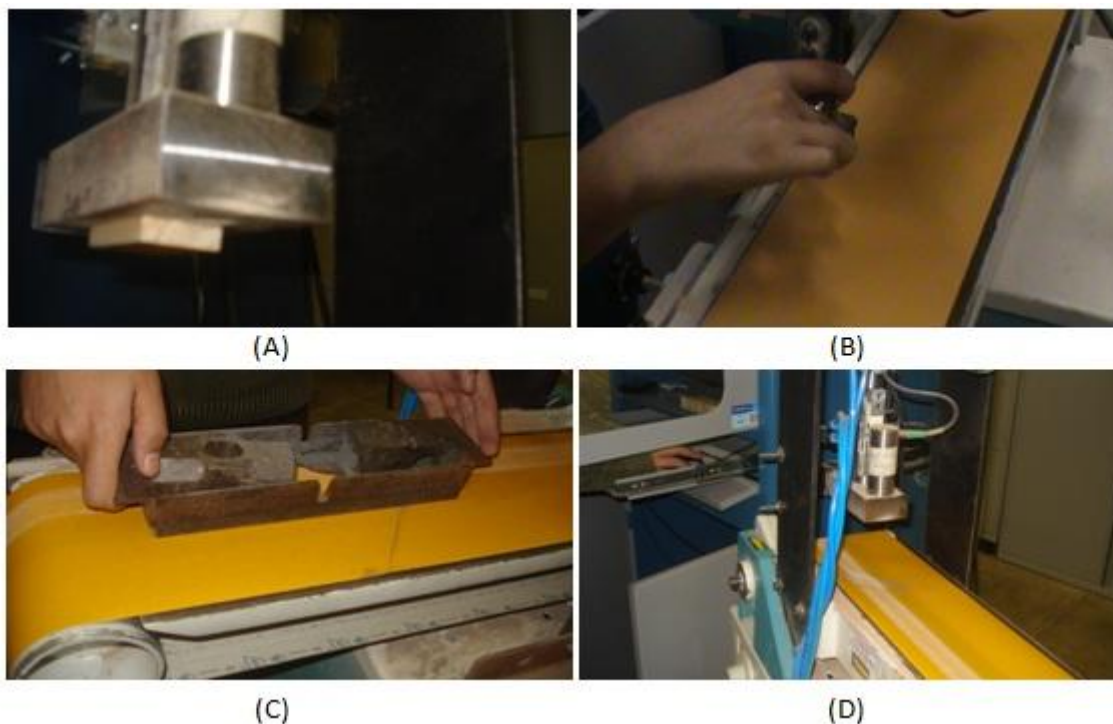
Tabela 5 – Níveis dos fatores variados no experimento.

Desgaste Granulometria	Lixa em condição 1	Lixa em condição 2	Lixa em condição 3
P80	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3
P100	Tratamento 4	Tratamento 5	Tratamento 6
P120	Tratamento 7	Tratamento 8	Tratamento 9

Sendo que a condição 1(D1) da lixa, para desgaste corresponde a uma lixa nova, sem uso a condição 2(D2), representa a lixa desgastada por 4 minutos com uma barra de ferro e a condição 3(D3), uma lixa desgastada por 8 minutos. O processo de desgaste das lixas foi feito manualmente, porém com a mesma barra de ferro, de modo que o operador somente tinha que direcionar a barra na lixadeira durante o tempo previsto.

4.4.4. Processo de lixamento realizado

Figura 10 – Procedimentos dos ensaios.



Procedimentos dos ensaios (a) encaixe do corpo de prova para realização do lixamento. (b) lixamento na condição 1(D1). (c) realizando o desgaste da lixa com material metálico. (d) desenvolvimento dos ensaios.

4.4.5. Processo de lixamento realizado

A potência consumida foi calculada através de um transdutor de corrente alternada conforme já descrito, que em função da corrente elétrica alternada de uma das fases do motor gera uma saída proporcional de 0 a 10 Volts correntes continua (VCC) que é armazenada pelo microcomputador, onde através da Equação (5) o sinal adquirido (em VCC) a uma taxa de 400 pontos por segundo foi transformado na unidade de potência (Watts).

$$P_c = I \times U_f \times F_p \times \sqrt{3} \quad (5)$$

Onde: P_c = potência consumida, em Watts;

I = corrente alternada de uma das fases, 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 Ampéres para que se possa aplicar esse valor na Equação (5). O fabricante do transdutor de corrente alternada fornece essa equação para a transformação do dado adquirido em Volts para Ampéres de acordo coma Equação (6).

$$I = \frac{U_{cc}}{2} \quad (6)$$

Onde: I = corrente de uma das fases, em Ampéres;

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

Substituindo o valor da corrente Equação (6), o valor da tensão de fase do motor da lixadeira (220 V) e o fator de potência (0,92) do motor na Equação (5), têm-se a Equação (7), que foi utilizada para transformar o sinal adquirido em Volts para potência consumida em Watts.

$$P_c = (U_{cc}/2) * 220 * 0,92 * 3^{1/2} \quad (7)$$

A força de lixamento foi adquirida através do sinal elétrico gerado por uma célula de carga conforme já descrito. A deformação da célula na zona elástica produz um sinal elétrico proporcional à carga aplicada que corresponde à força de lixamento. Para que fosse possível transformar a grandeza física adquirida em Volts para força em Newton foi necessário realizar uma calibração da célula para obtenção de uma equação que relaciona o sinal elétrico com a carga aplicada.

Encontrou-se uma correlação linear entre a carga aplicada e o sinal elétrico gerado proporcional, onde através de uma regressão linear calculou-se a equação para conversão do sinal elétrico em unidade de força.

$$F = ((97,43 + 9156,10 \times U_{cc})/1000) \times 9,8 \quad (8)$$

Onde: F = força de lixamento, em Newton;

U_{cc} = Tensão corrente continua, em Volts.

Para medição da rugosidade superficial utilizar-se-á 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 (Figuras 11).

Figura 11 – Medição de rugosidade através do rugosímetro.



5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Densidade básica e aparente

A densidade aparente média dos 30 corpos de prova foi 959 kg.m^{-3} , com teor de umidade de equilíbrio (UE) de 12,49 %. Depois da saturação dos corpos de prova, foram coletados por amostragem, 30 corpos de prova, e calculado a média das densidades básicas, que foi de 731 kg.m^{-3} . A Tabela 7 apresenta os valores médios de densidade básica (D_{bm}) e aparente ($D_{apm, 12\%}$), com coeficiente de variação (CV) e o número de amostras (N).

Tabela 7 – Densidade média básica e aparente para o *Corymbia citriodora*.

	D (kg.m^{-3})	CV (%)	N
$D_{apm, 12\%}$	959,07	14,26	30

D_{bm}	731,67	8,94	30
----------	--------	------	----

De acordo com Pereira *et al.* (2000), a densidade média básica da madeira de eucalipto citriodora se encontra aproximadamente em 730 kg.m^{-3} .

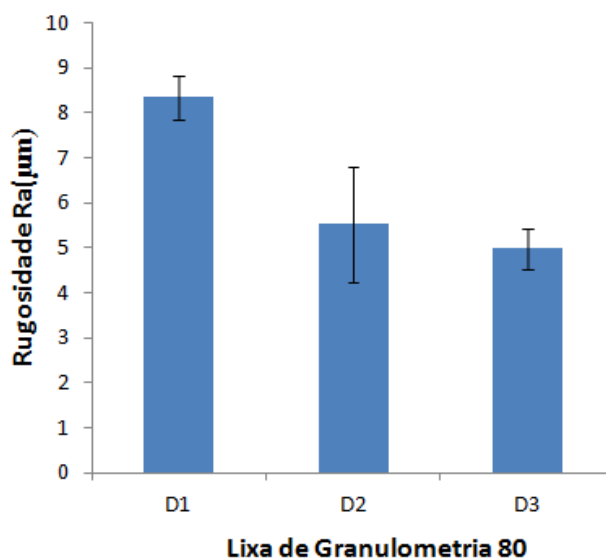
Tabela 6 – Densidade média básica e aparente para o *Pinus elliottii*.

	D (kg.m^{-3})	CV (%)	N	IC
$D_{apm, 12\%}$	554,47	11,92	20	(523,54; 585,40)
D_{bm}	449,17	14,31	30	(425,17; 473,17)

5.2. Rugosidade do *Pinus elliotti*

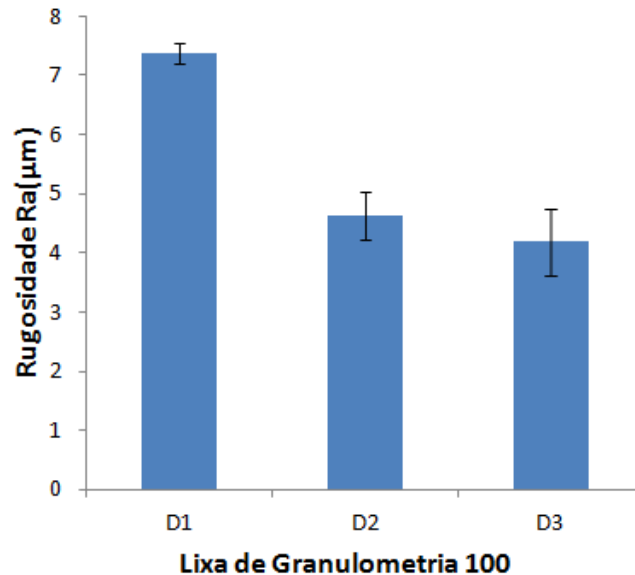
As rugosidades obtidas durante o processo de lixamento no ensaio estão apresentadas nas figuras a seguir.

Figura 12 – Rugosidade para lixa de granulometria 80.



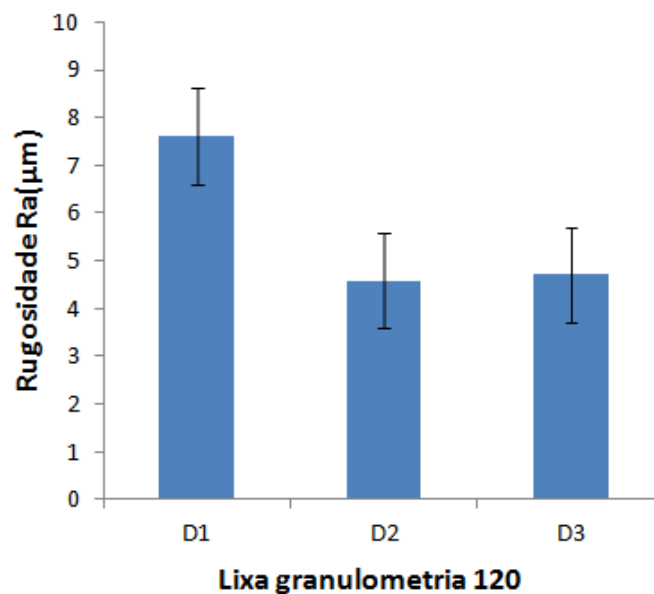
Ao analisar o gráfico de barras pode se notar que houve uma tendência na diminuição da rugosidade, após realizado os desgaste na condição 1(D1) e condição 2(D2).

Figura 13 – Rugosidade para lixa de granulometria de lixa 100.



Com base no gráfico de barras pode-se relatar uma diminuição na rugosidade das amostras, entre as condições D1, D2 e D3 respectivamente. A mesma tendência da Figura 12 pode ser observada na Figura 13.

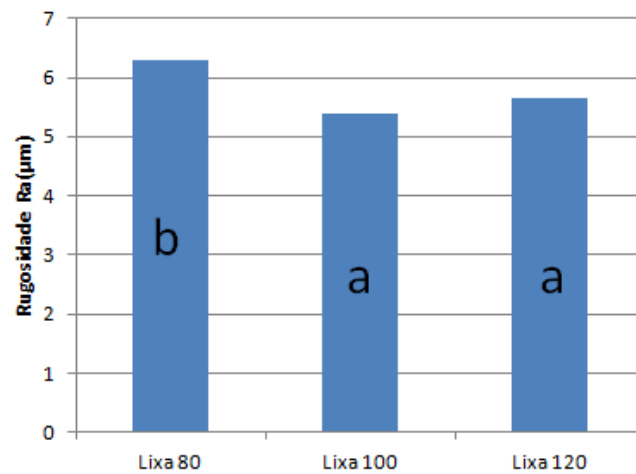
Figura 14 – Rugosidade de granulometria 120.



Observando o gráfico de barras, confirma-se que tem uma menor remoção de material quando a lixa de óxido de alumínio foi desgastada. As tendências de diminuição da rugosidade pode serem notadas nas três granulometrias de lixa.

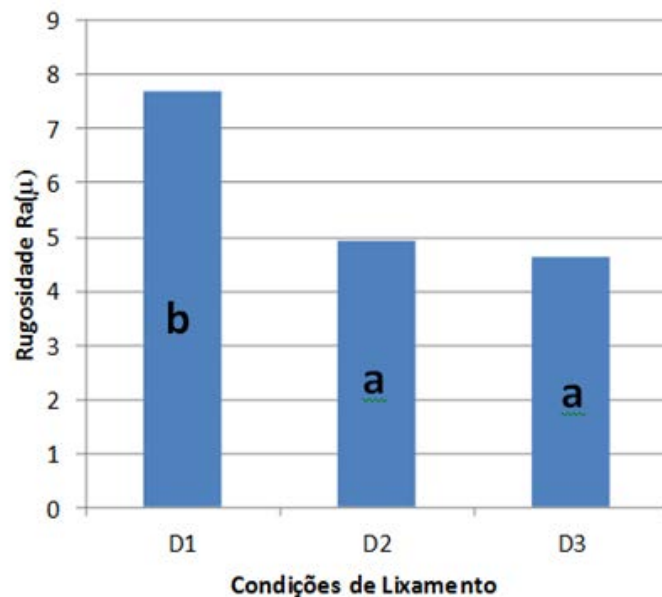
O teste de Tukey foi realizado para as variáveis estudadas, onde as letras a e b, fazem a relação de diferenças nas médias, sendo as letras iguais as médias não se diferem, e as letras diferentes as médias se diferem.

Figura 15 – Gráfico de análise de Tukey para as granulometrias de lixas.



Pela análise teste Tukey realizada constatou-se que as lixas de granulometrias 100 e 120, não apresentaram diferença significativas entre si. No entanto, a lixa de granulometria 80 apresentou maior rugosidade.

Figura 15 – Gráfico de análise de Tukey para as condições de lixamento.

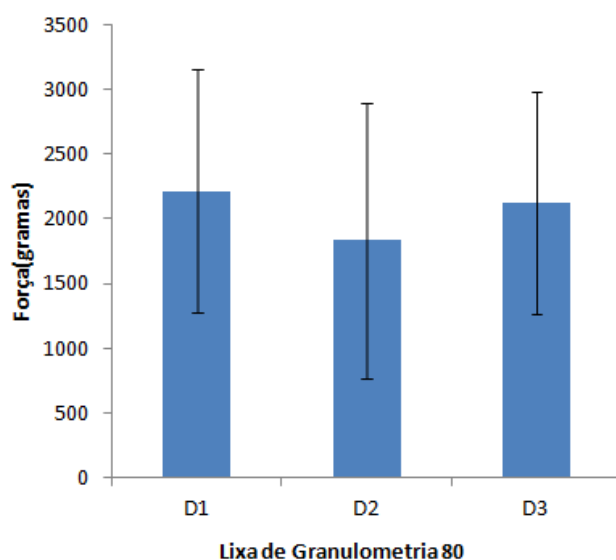


Com análise estatística realizada verificou-se que não houve diferença significativa entre os desgastes D2 e D3, entretanto, a rugosidade D1 apresentou-se maior que as demais.

5.3. Força do *Pinus elliotti*

As forças aplicadas no processo de lixamento do ensaio para lixa de óxido de alumínio estão apresentados abaixo:

Figura 16 – Força aplicada para lixa de granulometria 80.



Como pode-se observar a influência do desgaste na força de corte aparentemente não obedece um padrão, o que pode ser uma referência para se concluir que esta variável não foi significativa no experimento.

Figura 17 – Força de lixamento para lixa de granulometria 100.

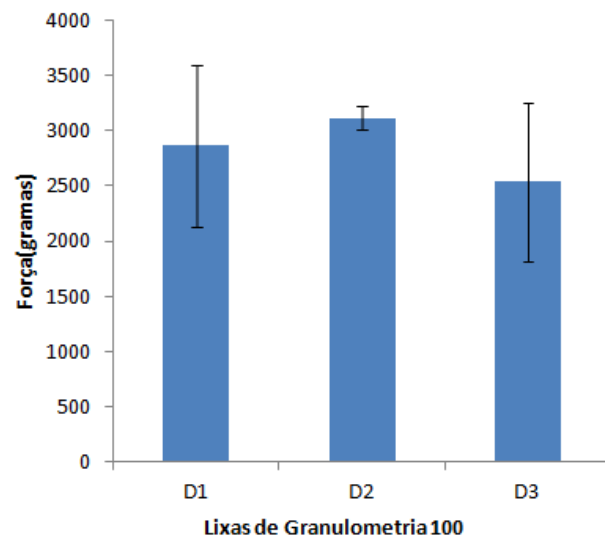


Gráfico apresentando dados de força aplicada sobre o processo de lixamento na lixa de óxido de alumínio, quando a mesma sendo de granulometria 100.

O mesmo que ocorre para a lixa de granulometria 80 acontece com a granulometria 100.

Figura 18 – Força aplicada na granulometria 120.

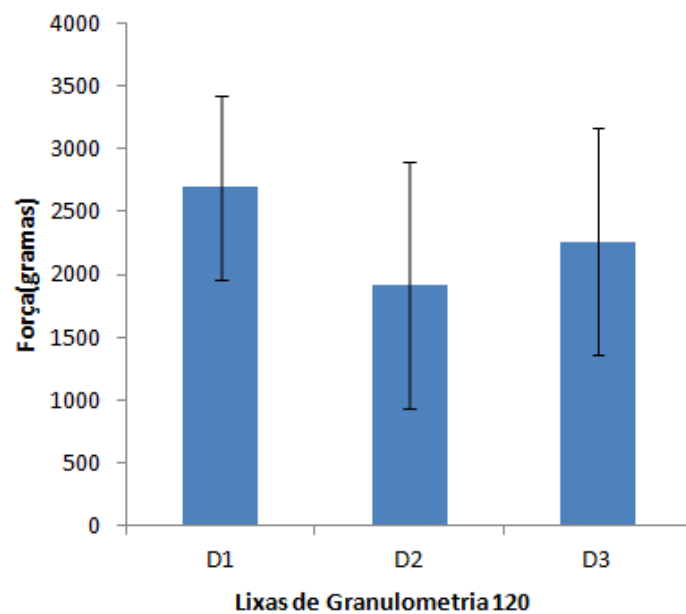
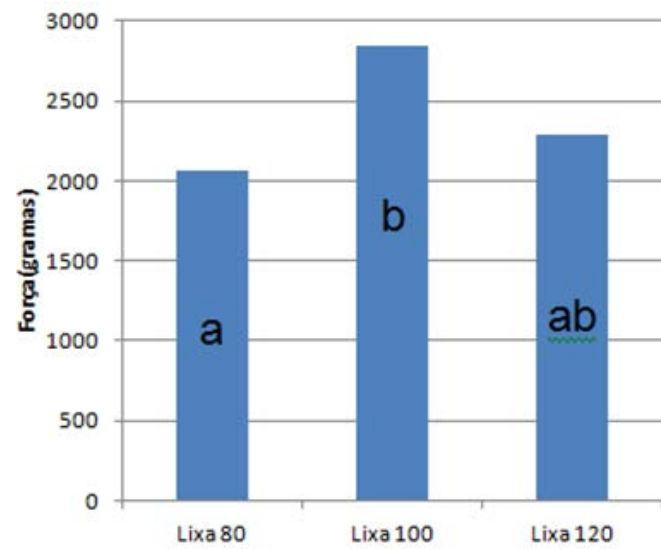
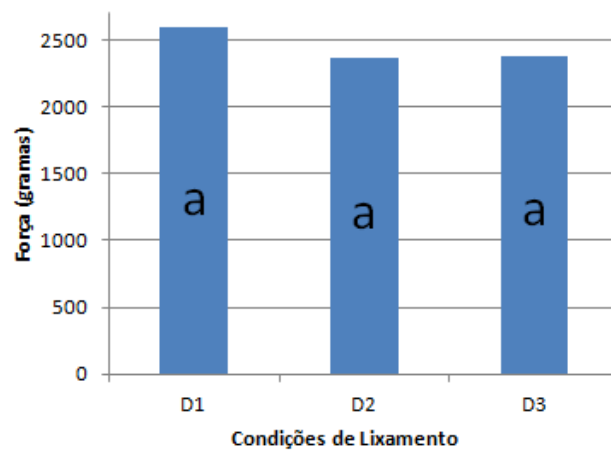


Figura 19 – Teste de Tukey de força para as lixas.



As médias das lixas 80 e 100 se diferem, no entanto as lixa 120 não se diferem das lixas 80 e 100.

Figura 20 – Análise estatística de força para as condições de lixamento.



As médias dos desgastes não se diferem entre as três condições.

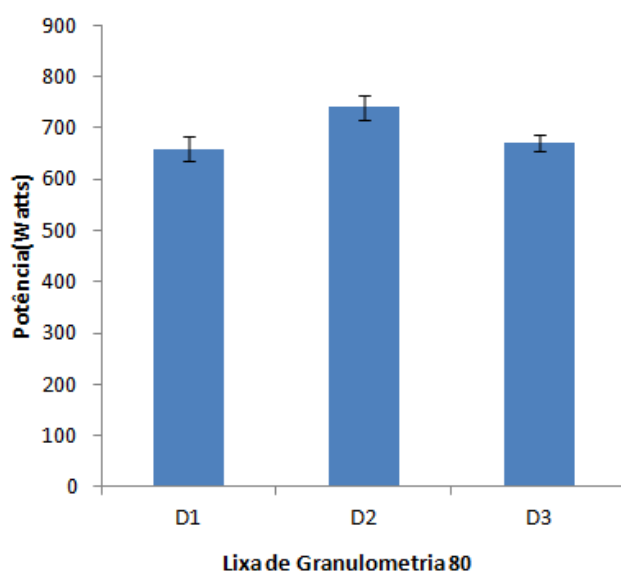
5.4. Potência do *Pinus elliotti*

A análise de variância realizada para influência estão apresentados na Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 – Análise de variância da potência consumida.

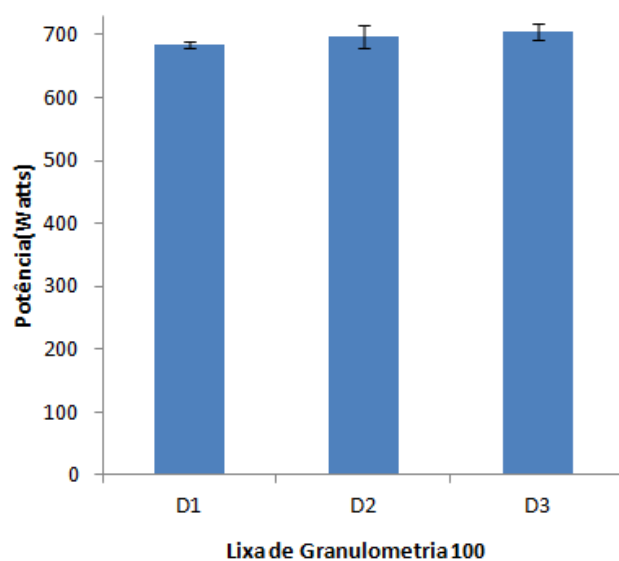
Fatores	gl	F	valor-P
Granulometria	2	20,55	4,58E-07
Desgaste	2	10,45	1,87E-04
Granulo x Desg	4	6,49	3,26E-04

Figura 21 – Potência consumida na lixa 80.



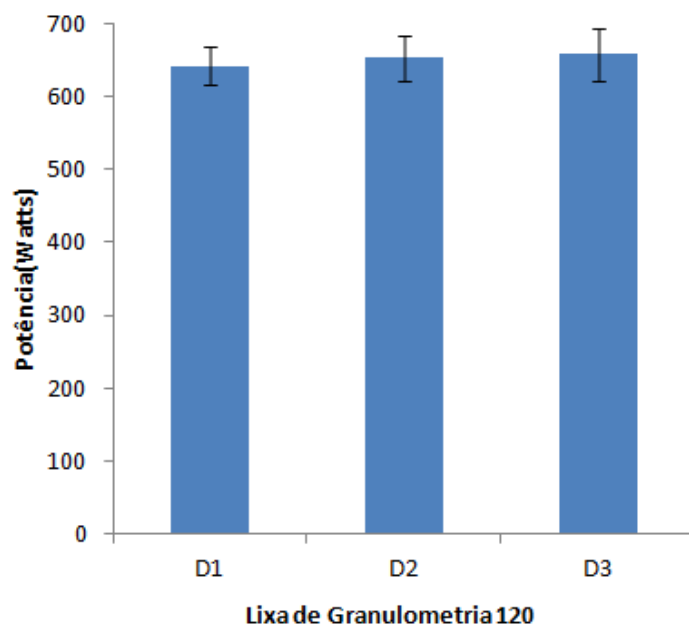
Observando-se o gráfico de barras, relata-se que não se obtém um padrão das médias em relação aos desgastes para se seguir com relação à variável potência.

Figura 22 – Potência consumida na lixa 100.



Potência consumida para o lixamento de lixa de granulometria 100 nota-se um aumento de consumo, conforme transcorridos os desgastes das lixas.

Figura 23 – Potência consumida na lixa 120.



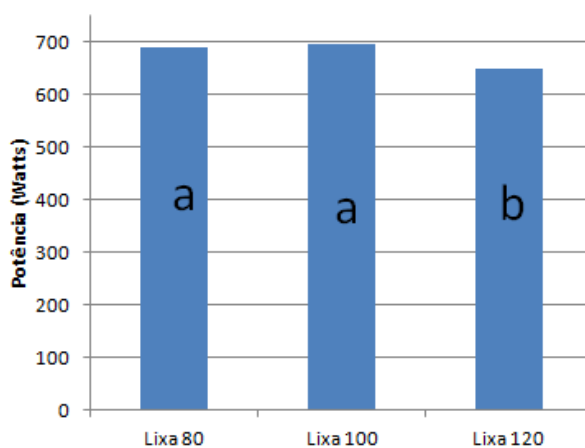
No lixamento com a lixa de granulometria 120, pode-se notar também um aumento de consumo conforme os desgastes.

A análise de variância realizada para influência estão apresentados na Tabela 8 a seguir

Tabela 8 – Análise de variância da potência consumida.

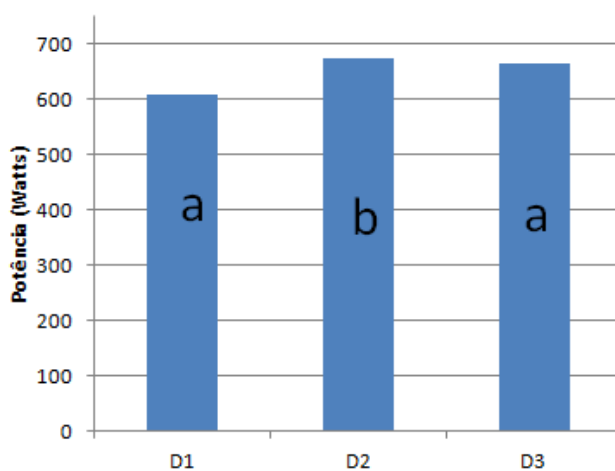
Fatores	gl	F	valor-P
Granulometria	2	20,55	4,58E-07
Desgaste	2	10,45	1,87E-04
Granulo x Desg	4	6,49	3,26E-04

Figura 24 – Análise do teste Tukey realizado para potência em relação das granulometrias de lixas.



De acordo com o teste de Tukey as médias das lixas 80 e 100 não se diferenciam, no entanto a lixa 120 se diferencia das demais.

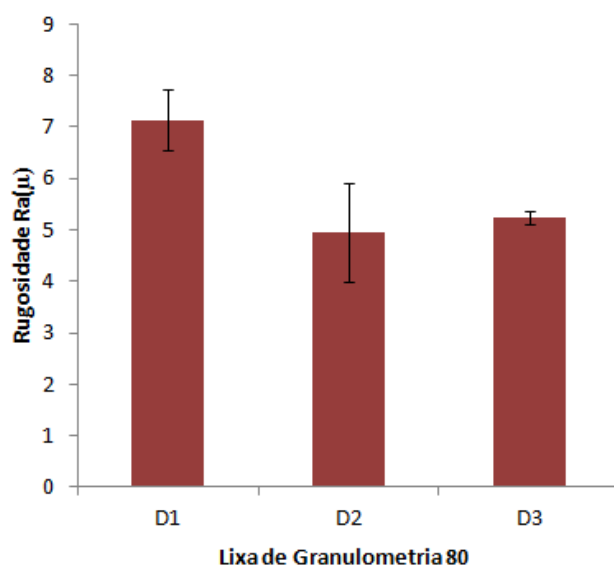
Figura 25 – Teste de Tukey para potência, em relação as condições de lixamento.



5.5. Rugosidade do *Eucalyptus* sp.

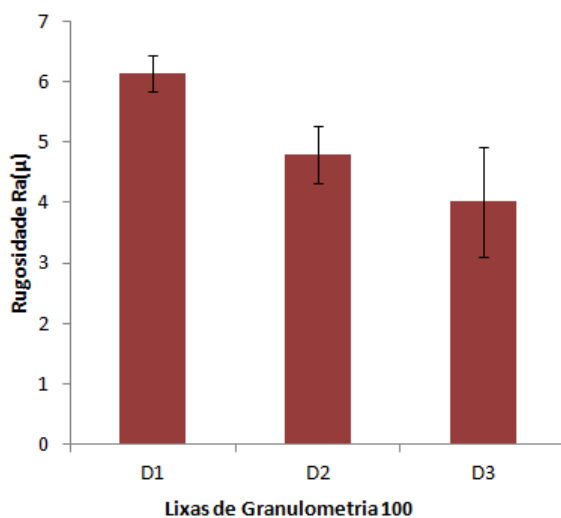
As figuras a seguir apresentam os dados de rugosidade no processo do lixamento da madeira de *Eucalyptus* sp.

Figura 26 – Rugosidades para a lixa de granulometria 80.



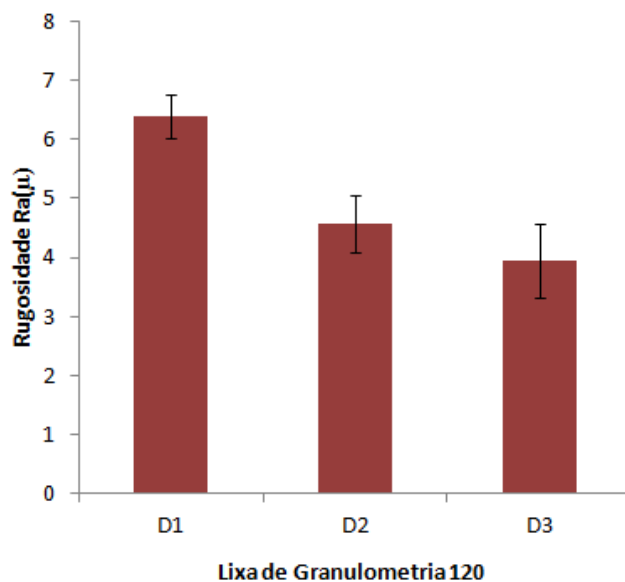
De acordo com o gráfico de barras há uma tendência em diminuir a rugosidade de acordo com os desgastes, no entanto há uma elevação na mesma para a lixa 120, isso deve-se ao fato das distribuições anatômicas da madeira, por ela ser anisotrópica.

Figura 27 – Rugosidade para lixa de granulometria 100.



Pode-se notar que a rugosidade das amostras diminuem conforme mudam as condições de lixamento em D1,D2 e D3, respectivamente.

Figura 28 – Rugosidade pra lixa 120.



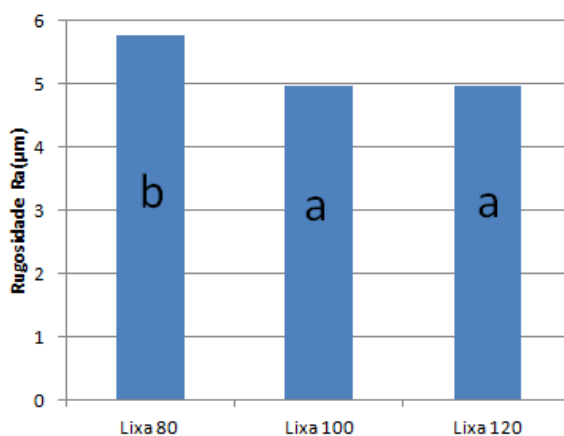
O mesmo que ocorre para a lixa de granulometria 100, ocorre para a lixa de granulometria 120.

A Tabela 9 a seguir apresenta os dados obtidos na análise de variância, onde a rugosidade tem influência significativa em relação as granulometrias de lixas.

Tabela 9 – Análise estatística da rugosidade do *Pinus elliotti*.

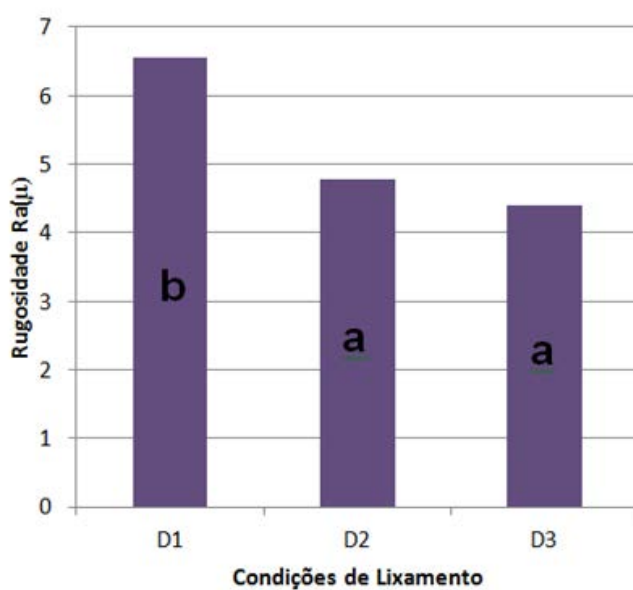
Fatores	gl	F	valor-P
Granulometria	2	10,91	1,37E-04
Desgaste	2	69,17	1,88E-04
Granulo x Desg	4	1,65	0,1789

Figura 29 – Análise do teste Tukey para a rugosidade em relação as lixas.



Através do teste de Tukey verificou-se que a lixa 80 se difere das de 100 e 120.

Figura 30 – Teste de Tukey para rugosidade.

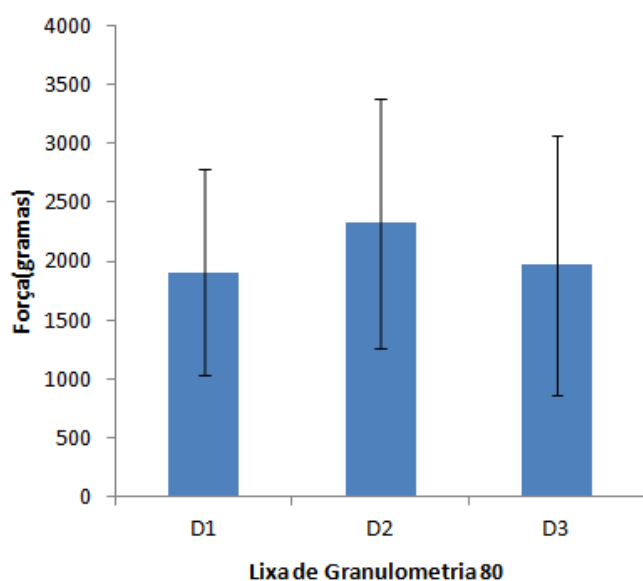


Observando o gráfico nota-se que a rugosidade para a condição de lixamento D3 apresenta menor rugosidade. Através do teste Tukey obteve-se que não houve diferenças entre as médias para as condições D2 e D3, mas para o desgaste D1 houve diferença entre as médias obtidas para rugosidade.

5.6. Força do *Eucalyptus* sp.

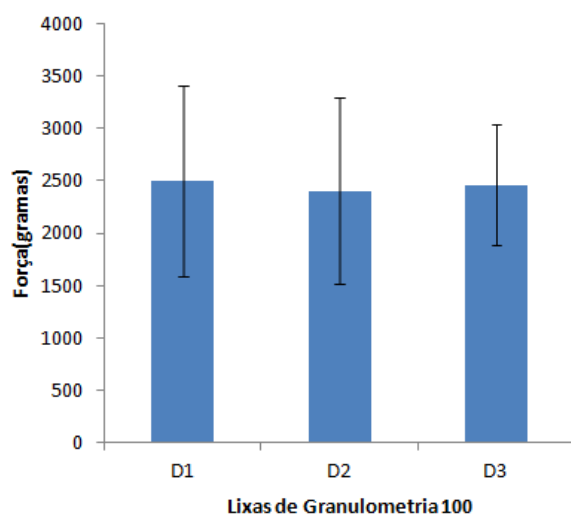
As forças aplicadas para o lixamento dos corpos de prova da madeira de *Eucalyptus* sp. Estão apresentados nas figuras a seguir.

Figura 31 – Condições de lixamento para lixa 80.



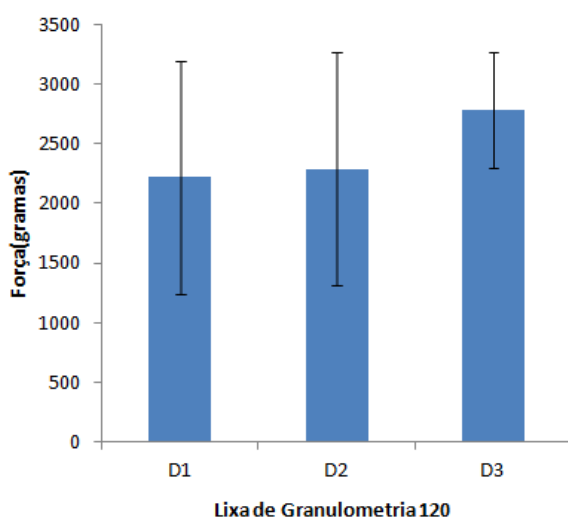
Nota-se pelo gráfico de barras, que não há uma linha para ser seguida com a variável força, devido não se ter um padrão para esta.

Figura 32 – Forças para lixa 100.



Observando-se o gráfico de barras há uma leve tendência em diminuir, no entanto não pode seguir uma padrão desta variável força.

Figura 33 – Forças para lixa 120.



Observa-se o aumento da força, durante a mudança de condições de lixamento D1,D2 e D3, respectivamente.

5.7. Potência do *Eucalyptus* sp.

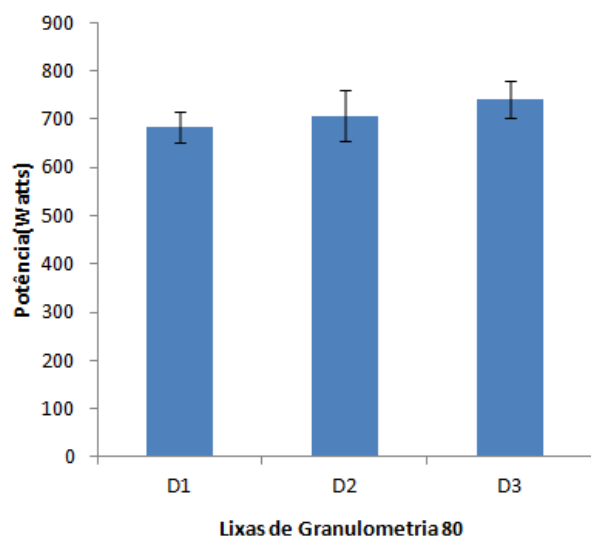
A Tabela 10 relata os dados obtidos na análise de variância para potência consumida para *Eucalyptus* sp.

Tabela 10 – Análise de variância da potência consumida.

Fatores	gl	F	valor-P
Granulometria	2	11,77	7,71E-05
Desgaste	2	0,68	5,11E-01
Granulo x Desg	4	1,99	1,12E-01

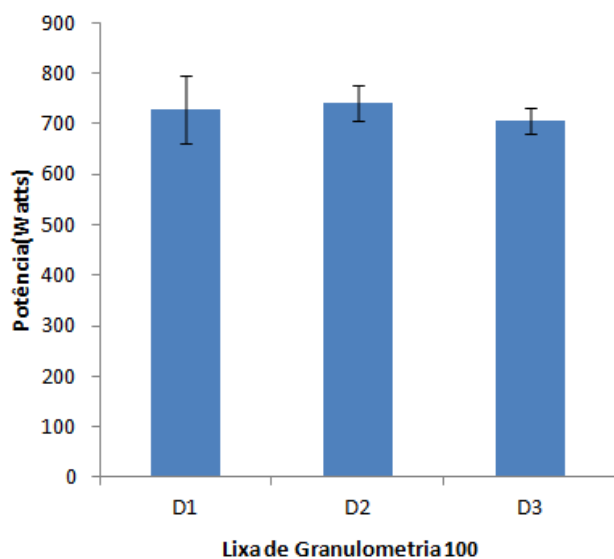
A seguir estão as figuras apresentando as potências consumidas para a madeira de *Eucalyptus* sp.

Figura 34 – Potência para de lixa 80.



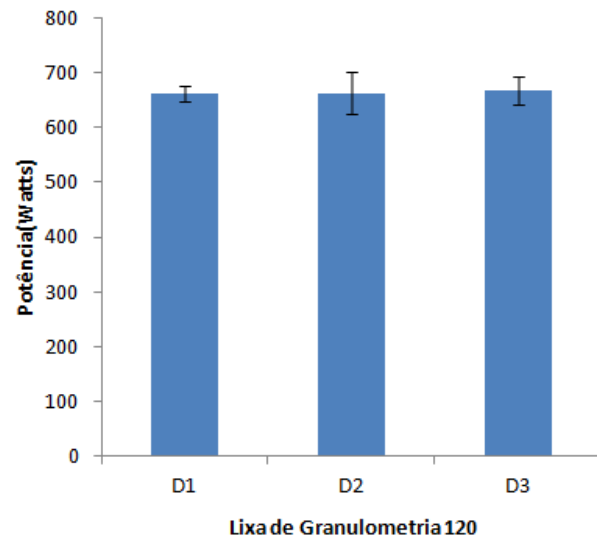
Tem-se um consumo de potência maior na condição de desgaste D2 e D3, respectivamente em relação a D1. Desta forma apresentando uma tendência para que se tenha um padrão em aumento de potência conforme as lixas estão desgastadas.

Figura 35 – Potência para lixa 100.



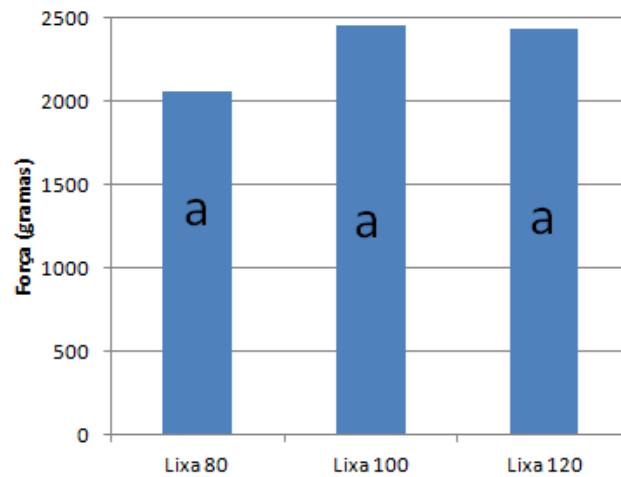
Analisando o gráfico de barras nota-se que não há um perfil a ser seguido para esta variável.

Figura 36 – Potência para a lixa 120.



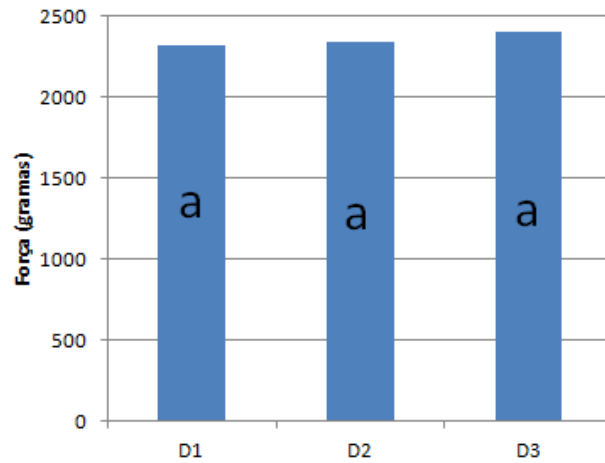
Analisando o gráfico de barras nota-se uma leve tendência em uma constância para constância do consumo de potência em relação aos desgastes para lixa 120.

Figura 37 – Teste de Tukey para força em relação as lixas.



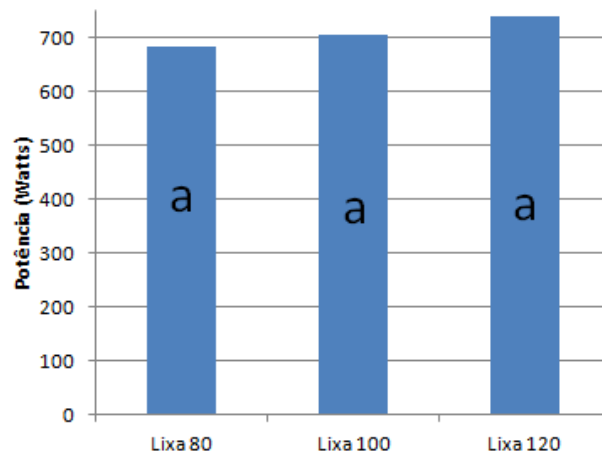
Para o teste de Tukey não houve diferenças entre as médias entre as lixas 80,100 e 120.

Figura 38 – Análise estatística para força em relação as condições de lixamento.



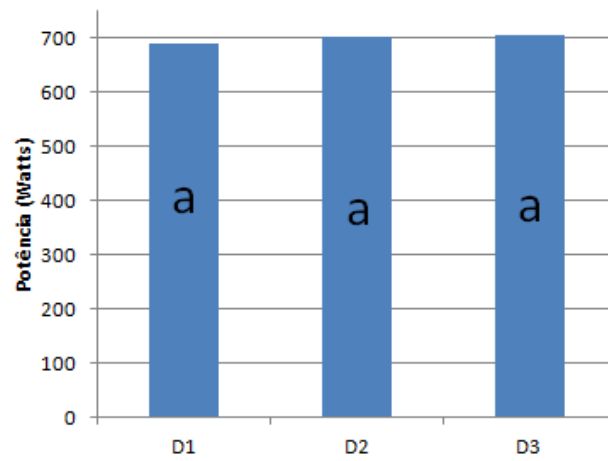
Observa-se um aumento de força crescente em relações as condições de lixamento D1, D2 e D3 respectivamente.

Figura 39 – Análise de teste Tukey para potência consumida para as lixas.



De acordo com análise de teste Tukey não houve diferenças das médias entre as lixas.

Figura 40 – Análise de teste TukeyHSD para a potência em relação aos desgasteses.



Para o teste de Tukey realizado não houve diferença entre as médias em relação aos desgaste.

6. CONCLUSÃO

Concluiu-se que para o processo de lixamento da madeira de *Pinus elliotti*, analisando a rugosidade em relação às lixas há diferença significativa ($F_{2,45}=9,12$; $p<0,05$) e para desgaste também houve influência significativa ($F_{2,45}=132,68$; $p<0,05$).

Para força com relação às lixas houve influência significativa ($F_{2,49}=4,28$; $p<0,05$) e com relação ao desgaste não houve influência significativa ($F_{2,49}=0,76$ $p>0,05$). Com relação à potência houve influência significativa ($F_{2,45}=6,49$; $p<0,05$).

Já para a madeira de *Eucalyptus grandis* concluiu-se que para a rugosidade obteve-se diferença significativa em relação às granulometrias de lixas ($F_{2,45}=10,91$ $p<0,05$), também em relação às condições de desgaste teve diferença significativa ($F_{2,45}=69,17$ $p<0,05$). No entanto para força não houve influência significativa em relação às lixas ($F_{2,45}=1,07$ $p>0,05$) e aos desgastes ($F_{2,45}=0,23$ $p<0,05$). E para a potência houve influência significativa em relação à lixa ($F_{2,45}=11,77$ $p<0,05$) e em relação ao desgaste não teve influência significativa ($F_{2,49}=0,76$ $p>0,05$).

E para o aquecimento no lixamento de *Pinus elliotti*, verificou-se que maiores granulometrias de lixas tendem a gerar temperaturas mais altas.

Tendo em vista os resultados demonstrados, conclui-se que, o estudo realizado sobre a influência da granulometria da lixa, mostrou a possibilidade de otimizar o processo industrial, pois com mais tempo de uso os grãos abrasivos ainda removem material da superfície, desta forma diminuindo o número de troca de lixas, a manutenção dos equipamentos, a economia do material e o ganho em maior tempo de vida útil da ferramenta.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, M. C. S. **Influência dos métodos de lubri-refrigeração na retificação do aço ABNT 4340 usando rebolo de CBN**, Tese de Doutorado – UNESP, Bauru, SP, Brasil, 2008.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF 2006: ano base 2005. Brasília, DF: ABRAF, 2006. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/anuario-ABRAF-2006.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2010.

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

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

VARASQUIM, F. M. F. A.; ALVES, M. C. S.; GONÇALVES, M. T. T.; SANTIAGO, L. F. F.; SOUZA, A. J. D. Influence of belt speed, grit sizes and pressure on the sanding of *Eucalyptus grandis* wood. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p.231-237, 22 dez. 2011. Disponível em: <<http://www.dcf.ufla.br/Cerne/administracao/publicacoes/m644v18n2o7.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2012.

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

Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF). Disponível no site <http://www.ipef.br/> . Acessado em 20/03/2012.