



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

CLAUDIA DE AZEVEDO REIS

**O USO DA RUGOSIDADE NA DETERMINAÇÃO DOS EFEITOS DE OPERAÇÕES
DE USINAGEM NA QUALIDADE SUPERFICIAL DAS MADEIRAS DE
Hymenolobium petraeum E *Piptadenia gonoacantha***

Prof. Dr. ALEXANDRE MONTEIRO DE CARVALHO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JULHO - 2015



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

CLAUDIA DE AZEVEDO REIS

**O USO DA RUGOSIDADE NA DETERMINAÇÃO DOS EFEITOS DE OPERAÇÕES
DE USINAGEM NA QUALIDADE SUPERFICIAL DAS MADEIRAS DE
Hymenolobium petraeum E *Piptadenia gonoacantha***

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof. Dr. ALEXANDRE MONTEIRO DE CARVALHO
Orientador

SEROPÉDICA, RJ
JULHO - 2015

**O USO DA RUGOSIDADE NA DETERMINAÇÃO DOS EFEITOS DE OPERAÇÕES
DE USINAGEM NA QUALIDADE SUPERFICIAL DAS MADEIRAS DE
Hymenolobium petraeum E *Piptadenia gonoacantha***

CLAUDIA DE AZEVEDO REIS

Comissão Examinadora

Monografia aprovada em: 03 de julho de 2015.

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho
UFRRJ/IF/DPF
Orientador

Prof.^a M.Sc. Natália Dias de Souza
UFRRJ/IF/DPF
Membro Titular

Prof.^a Dr.^a Rosilei Aparecida Gracia
UFRRJ/IF/DPF
Membro Titular

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Marcus Vinicius Pereira Reis e Leopoldina de Fátima Azevedo Reis pelo dom da vida e por tudo que têm feito durante a minha trajetória, além de todo apoio, confiança, amor e pelo Ser Humano que sou hoje.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), por conceder a oportunidade de me formar em Engenharia Florestal, pelos momentos únicos dos quais nunca me esquecerei e que estarão sempre guardados em meu coração e mente.

Ao Professor Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho por ter me orientado neste trabalho, além dos momentos de apoio e bate papo, sendo além de um orientador, um amigo.

Aos amigos do LPM (Laboratório de Processamento Mecânico de Madeira), Pablo, Carolina, Carlos Eduardo, Rodrigo Aragão, Marcondes Coelho e Osmar por todos os momentos vividos, viagens e pela mão de obra e grande apoio, sem vocês esse passo seria ainda mais difícil.

Aos amigos, Melissa Florêncio, Aline Cássia da Fonseca, Dayane Oliveira, Marianna Santana, pela amizade fiel e momentos incríveis que certamente estarão para sempre em meu coração e lembranças.

E aos amigos, que mesmo de longe, nunca me faltaram com o apoio: Angelo Manes, Beatriz Buarque, Felipe Drumond, Patrícia Andrade, Thiago Almeida e Vinicius Berbet, vocês estarão sempre no meu coração, independente onde estiver.

A todos o meu eterno agradecimento...

RESUMO

Os produtos de madeira fabricados pela indústria moveleira necessitam ter qualidade das superfícies usinadas a partir de processos uniformes de produção, com custos reduzidos, usos bem definidos e alta competitividade dentro do setor, principalmente quando se trata de produtos madeireiros de espécies nativas. O empirismo das avaliações de parâmetros de qualidade na indicação de usos, nem sempre condiz com o ideal. Objetivou-se neste trabalho determinar a qualidade de superfícies de peças de madeira de espécies nativas aplainadas e lixadas, a partir da medição da rugosidade. Foram utilizadas pranchas de madeira de *Hymenolobium petraeum* Ducke (angelim pedra) e *Piptadenia gonoacantha* (pau jacaré) obtidas no campus de Seropédica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. As espécies foram cortadas para os testes de usinagem em amostras com dimensões de 20 cm x 10 cm x 1,5 cm, sendo os ensaios realizados no Laboratório de Processamento Mecânico de Madeira (DPF/IF/UFRRJ). As amostras foram aplainadas em diferentes direções (contra e a favor da grã) e para a avaliação da rugosidade foi utilizado um equipamento rugosímetro de contato modelo Digimess TR200. Posteriormente, as amostras foram lixadas em uma lixadeira de fita, e também, para qualificação foi utilizados o rugosímetro de contato. A madeira de *Piptadenia gonoacantha* (pau jacaré) apresentou superfícies usinadas de boa qualidade, principalmente após lixamento. Já a madeira de *Hymenolobium petraeum* Ducke (angelim pedra) apresentou uma grande quantidade do defeito grã retorcida, e com isso, uma alta rugosidade (Ra), tanto no teste de plaina quanto no teste de lixamento. De maneira geral, quanto à qualidade de usinagem, as amostras lixadas apresentaram melhor qualidade, isto é, menores valores de rugosidade (Ra) quando comparadas às amostra aplainadas.

Palavras-chave: usinagem da madeira, qualidade da madeira, rugosidade da madeira.

ABSTRACT

The wood products manufactured by the furniture industry must have quality of machined surfaces, standardize production, reduce costs, define uses and increase the sector's competitiveness, especially when it comes to timber products from native species. Empiricism of quality parameters in indication of uses, are not always consistent with the ideal. The objective of this research was to determine the quality of surfaces of wood planed native species and subsequently sanded in order to define appropriate uses for different quality grades obtained. In this research were used the wood of *Hymenolobium petraeum* Ducke and *Piptadenia gonoacantha*, obtained on the university campus. The species were cut to the machining tests on samples with dimensions of 1.5 x 10 x 20 cm, and these tests were performed in Mechanical Processing Laboratory of Madeira (DPF/ IF/UFRRJ). The samples of the species passed through the planer in different directions (against and in favor of grain) and for qualifying we used a contact Surface Roughness Tester (Digital Surface Roughness Tester TR200 Portable). Subsequently, the samples were passed in a sander tape, and also for qualifying used the same contact Surface Roughness Tester for classification. The wood of *Piptadenia gonoacantha* showed good quality on machined surfaces, especially after sanding. Already the wood of *Hymenolobium petraeum* Ducke showed much percentage of twisted wood grain, and with this, a high roughness both planer tests as the sanding test. To the variable quality of machining, the abraded samples showed better quality, therefore smaller surface roughness compared to the planing process.

Keywords: wood machining, wood quality, wood roughness.

Sumário

| | |
|--|------|
| LISTA DE FIGURAS | viii |
| LISTA DE TABELAS | ix |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. OBJETIVOS | 2 |
| 2.1 Objetivo Geral | 2 |
| 2.2 Objetivos Específicos | 2 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA..... | 2 |
| 3.1 Espécies Utilizadas | 2 |
| 3.1.1. <i>Hymenolobium petraeum</i> | 2 |
| 3.1.2. <i>Piptadenia gonoacantha</i> | 3 |
| 3.2 Propriedades Físicas da Madeira..... | 4 |
| 3.3 Usinagem e Qualidade da Madeira..... | 5 |
| 3.3.1. Aplainamento | 5 |
| 3.3.2. Lixamento..... | 6 |
| 3.4 Rugosidade da Madeira..... | 6 |
| 3.4.1. Ra – Rugosidade média..... | 6 |
| 3.4.2. Rt – Altura total do perfil | 7 |
| 3.4.3. Rz – Profundidade média | 7 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS..... | 8 |
| 4.1 Preparo do Material | 8 |
| 4.2 Usinagem da Madeira | 9 |
| 4.3 Análises de Rugosidade Superficial | 10 |
| 5. ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 11 |
| 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 11 |
| 6.1 Propriedades Físicas | 11 |

| | |
|-------------------------------------|----|
| 6.2 Usinagem da Madeira | 12 |
| 6.3 Rugosidade | 12 |
| 7. CONCLUSÕES | 17 |
| 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 17 |
| 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 18 |
| ANEXO | 21 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Árvore de <i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke - angelim pedra. (Fonte: Globo Natureza). | 3 |
| Figura 2. Madeira serrada de angelim pedra. Retirado de http://brasilmadeira.blogspot.com.br | 3 |
| Figura 3. Árvore de <i>Piptadenia gonoacantha</i> (pau jacaré) (Foto de Ricardo Cardim) | 4 |
| Figura 4. Madeira serrada de pau jacaré (Foto de Claudia Reis)..... | 4 |
| Figura 5. Rugosidade média R_a , onde y_i é o valor de um “pico” ou “vale” (Fonte: ABNT NBR 6405/1988) | 7 |
| Figura 6. Ilustração gráfica da determinação da Rugosidade pela altura total do perfil (R_t) | 7 |
| Figura 7. Ilustração da determinação do R_z - Rugosidade de profundidade média..... | 8 |
| Figura 8. Corpos de prova confeccionados para análise de teor de umidade e densidade aparente ... | 8 |
| Figura 9. Esquema do sorteio dos setores de determinação da rugosidade | 9 |
| Figura 10. Plaina modelo Baldan DPC-4 utilizada no processo de fresamento periférico | 9 |
| Figura 11. Esquema dos processos de aplainamento nos dois sentidos, a favor e contra a grã Fonte: DIAS JÚNIOR et al., 2013 | 9 |
| Figura 12. Lixadeira de cinta, modelo Possamai PXA -7200 utilizada no processo de lixamento de amostras utilizadas nos testes de usinagem | 10 |
| Figura 13. Medição da rugosidade pelo rugosímetro de contato portátil digital TR200 | 10 |
| Figura 14. Amostras de pau jacaré usinadas na plaina (a) e lixa (b)..... | 12 |
| Figura 15. Amostras de angelim usinadas na plaina (a) e lixa (b). | 12 |
| Figura 16. Gráfico gerado da variável R_a após aplainamento da espécie angelim pedra, através do Rugosímetro de contato portátil digital TR200 | 13 |
| Figura 17. Gráfico gerado da variável R_a após aplainamento da espécie pau jcaré, através do Rugosímetro de contato portátil digital TR200 | 13 |
| Figura 18. Gráfico gerado da variável R_a após lixamento da espécie pau jacaré, através do Rugosímetro de contato portátil digital TR200 | 14 |
| Figura 19. Gráfico gerado da variável R_a após lixamento da espécie pau jacaré, através do Rugosímetro de contato portátil digital TR200 | 14 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Delineamento experimental..... | 11 |
| Tabela 2. Valores médios para densidade aparente (g/cm^3) das espécies estudadas (média de 8 repetições)..... | 12 |
| Tabela 3. Valores médios de Ra para todas as variáveis estudadas | 15 |
| Tabela 4. Valores médios de Ra para as espécies estudadas | 15 |
| Tabela 5. Valores médios de Ra para os acabamentos estudados | 16 |
| Tabela 6. Valores médios de Ra para as direções de grã estudadas | 16 |
| Tabela 7. Valores médios de Ra nos sentidos de medição em relação a direção das fibras..... | 16 |
| Tabela 8. Valores médios de Ra da interação da Direção de Grã e Sentidos de medição em função das fibras..... | 17 |

1. INTRODUÇÃO

A madeira, em função das suas características físicas e mecânicas, e pela facilidade em ser transformada por equipamentos simples e de baixo consumo energético, torna-se um material bastante competitivo em relação a outros materiais na fabricação de móveis. Além disso, possui aspecto decorativo (com variações de cores e desenhos que atendem aos mais diversos projetos) e transmite a sensação de conforto aos usuários de seus produtos. Outro fator que destaca a madeira dos demais materiais é a possibilidade de realizar sua produção sustentada, sendo uma matéria-prima atraente também no ponto de vista ambiental (OLIVEIRA et al., 2007).

A madeira nativa tem alto valor quando comparada a espécies exóticas por apresentar uma grande variabilidade de cores e desenhos, por sua ótima qualidade anatômica e durabilidade, o que é muito valorizado no setor madeireiro (ZENID, 1997)

O segmento de móveis é um dos principais consumidores de peças de madeira que exigem qualidade em seus processos de usinagem. As exportações da indústria de base florestal (madeira, móveis, papel e celulose) vêm crescendo nos últimos anos, destacando-se no conjunto da economia nacional. Em 2008 as vendas externas deste segmento chegaram a US\$ 9,5 bilhões, ou seja, 7% do total exportado pelo Brasil (REVISTA DA MADEIRA, 2008).

Segundo Silva (2005), quando a madeira é destinada à fabricação de móveis, assoalhos, esquadrias e outros usos que demandam alta qualidade da superfície, a usinagem bem executada melhora o seu desempenho perante os processos de acabamento superficial, tornando a operação economicamente ajustada.

A qualidade de superfícies da madeira está diretamente ligada aos processos de usinagem. Segundo Silva (2002) o estudo de madeiras nativas destinadas ao segmento moveleiro é de fundamental importância para o setor, para que consigamos melhor aproveitamento da matéria-prima, com melhor qualidade no produto de madeira maciça, custo reduzido e avanço no manejo sustentável.

A avaliação da qualidade da superfície usinada é feita por métodos qualitativos e quantitativos. Os qualitativos se baseiam na observação dos defeitos deixados na superfície da madeira após as operações de usinagem. Os quantitativos envolvem, entre outros, a medição da rugosidade ou textura da superfície, medindo a superfície segundo a variação vertical. Como a rugosidade é afetada pelo tipo de matéria-prima e por diversas variáveis do processo de usinagem, o conhecimento da interferência destes sobre a qualidade da superfície usinada é de fundamental importância (LEMASTER & BEALL, 1996).

No processo de usinagem da madeira conhecido como aplainamento são produzidas pequenas ondulações na sua superfície, denominadas de avanço por dente. O avanço por dente e a velocidade de avanço são alguns parâmetros, sendo inversamente proporcionais à qualidade da superfície da madeira, ou seja, quanto menores o avanço por dentes e a velocidade de avanço, melhor é a qualidade da superfície da peça de madeira. A velocidade de avanço varia em função do tipo e da densidade da madeira, sendo que as de menor densidade são, normalmente, trabalhadas com uma maior velocidade (SILVA et al., 2006).

A tecnologia de fresamento em equipamento de altas velocidades de corte, devido sua grande produtividade, permite a produção de peças a custos menores e com padrões de acabamento comparáveis aos obtidos no processo de lixamento (FARIAS, 2000).

Na avaliação da qualidade de um perfil bidimensional da superfície da madeira, pode-se utilizar o equipamento denominado rugosímetro, utilizado na análise da rugosidade e que mede a superfície segundo a variação vertical de sua constituição através do deslocamento

horizontal de um sistema preciso de determinação dos chamados “picos” ou “saliências” e “vales” ou “reentrâncias” representados em um gráfico (SILVA et al., 2006). Sendo assim, quando menor o valor médio de rugosidade apresentado, melhor será a qualidade de superfície, isto é, menores intervalos de picos e vales no gráfico.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os efeitos das operações de usinagem aplainamento e lixamento na rugosidade superficial da madeira de *Hymenolobium petraeum* (angelim pedra) e *Piptadenia gonoacantha* (pau jacaré).

2.2 Objetivos Específicos

- Determinar as propriedades físicas (teor de umidade de equilíbrio e densidade aparente) das madeiras;
- Avaliar o estudo das operações de usinagem (aplainamento e lixamento) na superfície das madeiras (à favor e contra a grã);
- Avaliar a rugosidade superficial média (Ra) nos sentidos perpendicular e paralelo as fibras.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Espécies Utilizadas

3.1.1 *Hymenolobium petraeum*

Dentre as Leguminosas exploradas na região Amazônica uma das espécies de destaque é a *Hymenolobium petraeum* Ducke. Conhecida popularmente como angelim pedra, é uma espécie arbórea com cerca de 55 m de estatura e 2 m de diâmetro (FERREIRA & HOPKINS, 2004; FERREIRA et al., 2004). Esta espécie apresenta elevado valor comercial, sendo muito utilizada no ramo moveleiro, marcenaria e construção civil (RIBEIRO et al., 1999). Apesar de sua importância, estudos sobre a morfologia desta espécie são incipientes na literatura.

Segundo informações de IPT (1983) a madeira de *Hymenolobium petraeum* Ducke tem cerne e albarno distintos pela cor, brilho ausente; cheiro e gosto imperceptíveis; densidade média; é dura ao corte; possui grã direita a revessa, textura grossa e aspecto fibroso.



Figura 1. Árvore de *Hymenolobium petraeum* Ducke - angelim pedra.
Fonte: Globo Natureza



Figura 2. Madeira cerrada de angelim pedra.
Fonte: <http://brasilmadeira.blogspot.com.br>

3.1.2 *Piptadenia gonoacantha*

O pau jacaré (*Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J.F. Macbr.) é uma espécie pertencente à família *Leguminosae-Mimosoideae* (LORENZI, 2002). A madeira dessa espécie é considerada moderadamente pesada sendo, segundo o autor, uma das melhores espécies para obtenção de carvão e lenha, sendo preferida a outras madeiras de espécies nativas devido à sua facilidade para queimar, durabilidade da combustão, facilidade para rachar e durabilidade nos depósitos (HERINGUER, 1947). Possui crescimento rápido, atingindo até 25 m³/ha/ano aos 8 anos, com previsão para rotação de 6-7 anos para lenha e carvão e 15 anos para madeira de serraria (CARVALHO, 1994). O pau jacaré é uma espécie considerada indispensável nos reflorestamentos mistos destinados à recomposição de áreas de preservação permanente degradadas (LORENZI, 2002).

Botrel et al. (2006) trabalhando em uma localidade do município de Ingaí, no estado de Minas Gerais, verificou que a espécie *Piptadenia gonoacantha* é utilizada como material para construção de casas e também como lenha para uso próprio pelos moradores, sendo uma madeira explorada em mata nativa.



Figura 3. Árvore de *Piptadenia gonoacantha* - pau jacaré. Foto de Ricardo Cardim



Figura 4. Madeira cerrada de Pau Jacaré. Foto de Claudia Reis

3.2 Propriedades Físicas da Madeira

A caracterização física é um passo importante para definir a utilização final da madeira e dentre as características físicas que devem ser determinadas, invariavelmente, está a densidade, cuja variação tem influência nas contrações e nas resistências mecânicas da madeira. A densidade aparente ou massa específica aparente é a propriedade física com maior significância para caracterizar madeiras destinadas à construção civil, fabricação de chapas e à utilização na indústria moveleira (HELLMEISTER, 1982).

O teor de umidade é inversamente proporcional à densidade da madeira, ou seja, quanto maior a quantidade de água, menor a quantidade dos outros elementos químicos da madeira – celulose, hemicelulose e lignina (FOELKEL et al. 1971).

De maneira geral, as madeiras pesadas são mais resistentes, elásticas e duras, se comparadas com as leves, porém, em paralelo a estas vantagens, são de mais difícil trabalhabilidade (MORESCHI, 2010).

3.3 Usinagem e Qualidade da Madeira

O termo usinagem ou trabalhabilidade refere-se ao grau de facilidade de processar a madeira mediante o uso de instrumentos, tendo como objetivo não somente cortá-la, mas produzir uma forma desejada quanto às dimensões e à qualidade da superfície, tão exato e econômico quanto for possível (BURGER & RICHTER, 1991).

Segundo Silva (2005) a usinagem da madeira se apresenta em função de cinco componentes básicos que são: matéria-prima, relacionada com todas as propriedades intrínsecas da madeira e suas interações com o processo; máquina, relacionada com os aspectos construtivos das máquinas, incluindo os dispositivos de fixação, de condução e de exaustão de cavacos que visam à melhoria da operação de usinagem; metodologia, abrange toda a definição das escolhas das ferramentas mais adequadas para otimizar o processamento; mão-de-obra, considera o treinamento dos operadores executores das tarefas de usinagem que devem ter conhecimentos de todos os itens anteriores para poder interferir, no momento certo, caso notem alguma deficiência no processo; meio ambiente, considera-se que todas as fases de processamento devem evitar degradações do ambiente com pensamento de melhor aproveitamento da matéria-prima minimizando os resíduos e ruídos.

Além disso, o autor relata que quando a madeira é destinada à fabricação de móveis, assoalhos, esquadrias e outros usos que demandam alta qualidade da superfície, a usinagem bem executada melhora o seu desempenho perante os processos de acabamento superficial, tornando a operação economicamente ajustada.

Segundo Kikuti et al. (1996), a madeira de melhor qualidade é aquela que apresenta menor quantidade de defeitos, os quais lhes são intrínsecos (genéticos) ou resultantes do processo de corte, transporte, desdobro e/ou secagem da madeira.

3.3.1 Aplainamento

Gonçalves (2000) cita que, entre as operações mais importantes realizadas em peças de madeira, encontram-se o fresamento periférico (aplainamento) e o corte ortogonal. Os movimentos relativos entre peça e ferramenta, no caso do fresamento periférico, são classificados em fresamento discordante e concordante (o sentido da lamina de corte ocorre contra e à favor do crescimento das fibras), classificação também adotada para usinagem de metais. Na usinagem da madeira por fresamento concordante, o acabamento final da peça é melhor e a potência de usinagem é maior, porém, o fresamento discordante continua sendo mais utilizado devido a menor periculosidade para o operador (FARIAS, 2000). Em todos os casos são importantes o conhecimento da velocidade de corte, da velocidade de avanço, do ângulo de direção efetiva e do ângulo de direção de avanço, além das grandezas de percurso.

O fresamento periférico, também chamado de aplainamento para processos de usinagem da madeira, envolve a remoção de cavaco em operação de desbaste, retirada de saliências da superfície da madeira com o objetivo de melhorar o acabamento da superfície. O conjunto do cabeçote, porta-ferramentas com lâminas de corte, mais suportes de fixação e quebra cavacos é de uso universal em máquinas de beneficiamento de madeira nos processos de aplainamento e fresamento nas mais variadas formas (rasgos, rebaixos, chanfros, molduramento em perfis, etc.).

3.3.2 Lixamento

A função do processo de lixamento é regularizar a superfície da madeira preparando-a para receber a aplicação de materiais de revestimento. O lixamento pode ser aplicado com a finalidade de melhorar a aparência do material, permitindo sua aplicação “in natura” ou recebendo a aplicação de revestimentos incolores (vernizes) destacando ainda mais seu aspecto visual (CATAI, 2002).

O processo de usinagem lixamento pode ser dividido em duas classes. A primeira classe refere-se a regularização de uma superfície usinada anteriormente para uma nova superfície relativamente lisa e plana (operação de desbaste). A segunda classe refere-se à preparação de uma superfície para posterior aplicação de materiais de acabamento. O objetivo desta preparação é reduzir a profundidade das marcas de lixamento a fim de gerar uma superfície uniforme.

Com relação às diferentes espécies de madeiras, pode-se afirmar que algumas delas são mais difíceis de serem lixadas que outras. Porém, isto pode ser amenizado a partir da escolha correta do tipo de abrasivo e do tamanho dos grãos das lixas, bem como se adotando velocidades e pressões de lixamento ideais (KOCH, 1964).

3.4 Rugosidade da Madeira

A rugosidade superficial de um material é caracterizada pelo conjunto de desvios micro geométricos, caracterizado pelas pequenas saliências e reentrâncias presentes em uma superfície.

Segundo Lemaster & Beall (1996) o resultado de rugosidade de uma superfície de madeira usinada pode ser função da sua própria natureza, do processo de manufatura aplicado ao material ou uma combinação dos dois. As características do processamento que afetam a textura superficial da madeira são: a imprecisão da máquina-ferramenta, as condições da ferramenta, a vibração da ferramenta ou da peça e a geometria de corte. Utilizando-se das técnicas de medição disponíveis, os dados de rugosidade superficial são obtidos, e em seguida interpretados de acordo com o parâmetro de avaliação adotado.

O trabalho de Arencibia (2009) apresentou uma atualização na especificação de termos, definições e parâmetros para a determinação do estado da superfície, relacionado com a rugosidade, bem como, regras para seleção do comprimento de onda (cut off), especificações geométricas do produto (GPS), método do perfil e calibração de instrumentos de medição por contato, com base nas normas NBR ISO 4288 (ABNT, 2008); NBR ISO 4287 (ABNT, 2002) e NBR ISO 12179 (ABNT, 2002). Os parâmetros mais utilizados na avaliação da rugosidade são Rugosidade Média (R_a), Altura total do perfil (R_t) e Profundidade Média (R_z), as quais será discutidas a seguir:

3.4.1 Rugosidade média (R_a)

Matematicamente é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas de afastamento (y_i), dos pontos do perfil de rugosidade em relação à linha média, dentro do percurso de medição (l_m). Essa grandeza pode corresponder à altura de um retângulo, cuja área é igual à soma absoluta das áreas delimitadas pelo perfil de rugosidade e pela linha média, tendo por comprimento o percurso de medição (l_m). Este parâmetro de avaliação da rugosidade superficial (Figura 5) está representado na equação (1) (ARENIBIA, 2009).

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

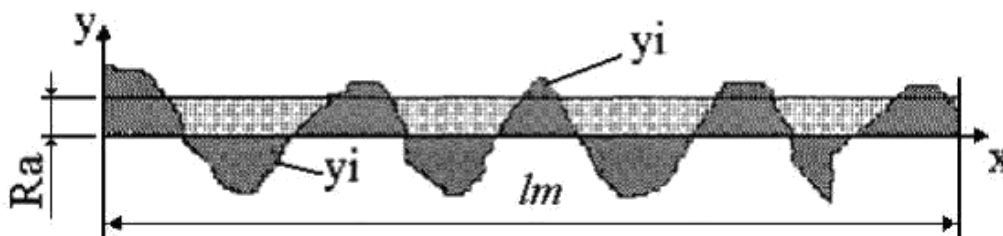


Figura 5. Rugosidade média (Ra), onde y_i é o valor de um “pico” ou “vale”; l_m é o comprimento de medição. (Fonte: ABNT NBR 6405/1988). onde $y(x)$ é a função das ordenadas de afastamento.

3.4.2 Altura total do perfil (R_t)

Este parâmetro define a altura máxima de um pico a um vale no percurso de medição (l_m), ou seja, a amplitude máxima entre o pico mais alto e o vale mais profundo no comprimento de avaliação. O emprego do parâmetro R_t depende do tipo da superfície a ser analisada, por exemplo, em superfícies que serão sedes de retentores, não é conveniente a presença de grandes amplitudes entre picos e vales (ARENCEBIA, 2009).

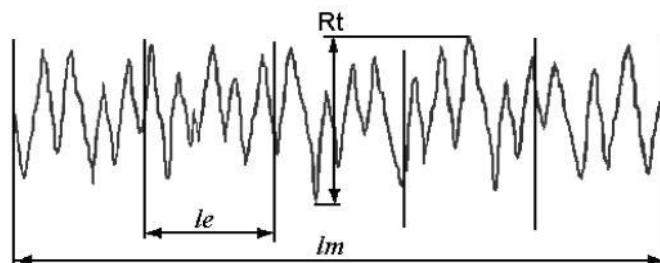


Figura 6. Ilustração gráfica da determinação da Rugosidade pela altura total do perfil (R_t), onde l_m é o comprimento de medição e l_e é o comprimento de amostragem.

O emprego do parâmetro R_t depende do tipo da superfície a ser analisada, por exemplo, em superfícies que serão sedes de retentores, não é conveniente a presença de grandes amplitudes entre picos e vales.

3.4.3 Profundidade média (R_z)

Também conhecido como R_{tm} (média dos valores de R_t), o R_z é distância vertical entre o pico mais alto e o mais profundo vale dentro do comprimento de amostragem. É a média aritmética dos R_{z_i} em amostragens consecutivas, ou seja, é a soma dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maior afastamento, acima e abaixo da linha média existentes no comprimento de amostragem (ARENCEBIA, 2009)

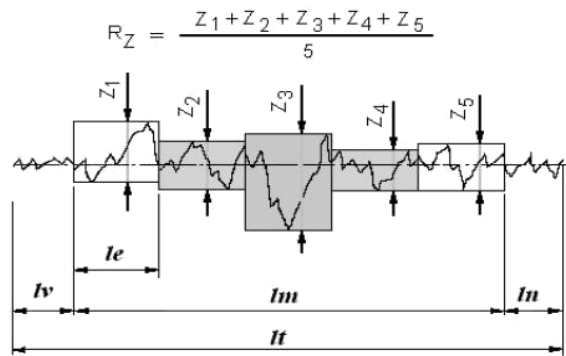


Figura 7. Ilustração da determinação do Rz - Rugosidade de profundidade média.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Preparo do Material

Para a realização deste estudo foram utilizadas pranchas de madeiras de *Hymenolobium petraeum* (angelim pedra) e *Piptadenia gonoacantha* (pau jacaré), obtidas na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), no município de Seropédica, Rio de Janeiro. As pranchas foram levadas para o Laboratório de Processamento Mecânico da Madeira – LPM/DPF/IF/UFRRJ, onde foram confeccionados os corpos-de-prova a serem usados no estudo.

Primeiramente, foram confeccionadas 8 corpos de prova (3 cm x 2 cm x 5cm) de cada espécie (Figura 8) para avaliação do teor de umidade e densidade aparente. Foi feito um teste de comparação entre as médias das densidades aparentes.



Figura 8. Corpos de prova confeccionados para análise de teor de umidade e densidade aparente.

Para os testes de usinagem, foram confeccionados 8 corpos de prova (20 cm x 10 cm x 1,5 cm de comprimento, largura e espessura) para cada espécie e, em seguida, realizadas duas operações de aplainamento em cada corpo de prova, uma no sentido contra a grã e uma no sentido a favor da grã. A seguir foi realizado o lixamento em cada um dos 16 corpos de prova.

Para a definição do local ou região do corpo de prova onde seria determinada a rugosidade, a superfície de cada um foi subdivididas em setores retangulares de 2 cm x 3 cm para uma amostragem aleatória (sorteio), sendo selecionados dois setores onde a rugosidade foi medida no sentidos paralelo e perpendicular as fibras, totalizando 64 medições (Figura 9).

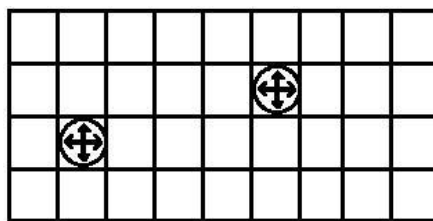


Figura 9. Esquema do sorteio dos setores de determinação da rugosidade.

4.2 Usinagem da Madeira

As amostras foram submetidas aos testes de usinagem da madeira de aplainamento e lixamento adaptados dos parâmetros estabelecidos pela norma ASTM D 1667-87/1994. Os ensaios de usinagem referem-se a testes que caracterizam o comportamento da madeira em simulações de utilização quanto ao aplainamento e lixamento. Os corpos-de-prova com dimensões de 20 cm x 10 cm x 1,5 cm foram submetidos aos ensaios acima citados e posteriormente avaliados quanto a rugosidade da superfície.

No aplainamento foi utilizada Plaina Baldan DPC-4 e avanço PF - 32 (Figura 10) com velocidade de alimentação de 10 m/s e rotação de 3600 rpm. Nesta operação, os corpos-de-prova aplainados em dois sentidos, a favor e contra a grã, caracterizado de acordo com a disposição das fibras (Figura 11)

Figura 10. Plaina, modelo Baldan DPC-4 utilizada no processo de aplainamento.

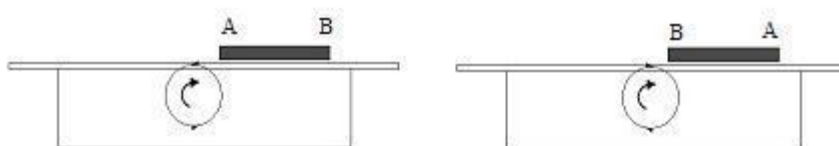


Figura 11. Esquema dos processos de aplainamento nos dois sentidos, a favor e contra a grã.

Para os ensaios de lixamento foi utilizada uma lixadeira de cinta (Possamai PXA - 7200), com dimensão da lixa de 1000 x 150m e de granulometria da lixa (grão) de 120. A face lixada por meio de pressão foi a mesma utilizada no teste de plaina, e o processo de lixamento se deu durante um período de 20 segundos, analisando-se também a rugosidade para fins de comparação. A avaliação da rugosidade foi realizada após os aplainamentos e, posteriormente, após os lixamentos dos corpos de prova.



Figura 12. Lixadeira de cinta, modelo Possamai PXA -7200 utilizada no processo de lixamento e corpos de prova utilizados nos testes de usinagem.

4.3 Análise da Rugosidade Superficial

As análises quantitativas das superfícies usinadas foram feitas através da medição da rugosidade superficial com auxílio do Rugosímetro de Contato (Rugosímetro Portátil Digital Digimess TR200). O *Cut off* foi de 2,5 mm e o parâmetro da rugosidade da superfície determinado foi o Ra, definido como a média aritmética dos valores absolutos dos desvios do perfil da linha média.

O Ra é o principal parâmetro estudado em rugosidade de superfícies de madeiras. Para os ensaios de usinagem foram utilizadas 8 amostras/espécie, sendo todas aplainadas (sentido contra e a favor da grã) e posteriormente lixadas. Em cada peça foram feitas duas do Ra, no sentido paralelo e transversal às fibras, para cada sentido de usinagem da plaina (a favor ou contra a grã). A Figura 13 apresenta o detalhe de uma medição da rugosidade, parâmetro Ra, no sentido paralelo às fibras da madeira.



Figura 13. Rugosímetro de contato portátil digital TR200.

5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística foi realizada com o uso do programa Assistat 7.7 Beta, e os resultados obtidos foram analisados por meio da ANOVA e Teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A análise foi conduzida segundo um experimento fatorial tendo como fatores e níveis explicitados na Tabela 1. Assim, os níveis dos fatores multiplicados entre si deram origem a 16 Tratamentos.

Tabela 1: Delineamento experimental:

| Espécie | Operações de Usinagem | Direção da grã | Direção das fibras |
|---------------|-----------------------|----------------|--------------------|
| Pau jacaré | Aplainamento | Favor | Paralelo |
| | | | Perpendicular |
| | | Contra | Paralelo |
| | Lixamento | | Perpendicular |
| | | Favor | Paralelo |
| | | Contra | Perpendicular |
| Angelim pedra | Aplainamento | Favor | Paralelo |
| | | | Perpendicular |
| | | Contra | Paralelo |
| | Lixamento | | Perpendicular |
| | | Favor | Paralelo |
| | | Contra | Perpendicular |

Por meio do programa Assistac 7.7 beta também efetuou-se a análise estatística dos resultados de densidade aparente dos corpos-de-prova. Quando o valor encontrado no teste “F” foi significativo, foram aplicados testes de comparação de médias ao nível de 5% de significância.

Do mesmo modo, procedeu-se para as análises dos resultados do parâmetro Ra da rugosidade. Os dados, inicialmente, não atenderam aos testes de normalidade, sendo realizada assim, uma transformação logarítmica dos dados e obtendo assim a normalidade da distribuição e homogeneidade de variâncias. Quando encontradas diferenças significativas, foram aplicados testes de comparação de médias ao nível de 5% de significância.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Propriedades Físicas

Foi realizada a comparação entre as médias das densidades aparentes, com o objetivo de verificar se a densidade seria um fator a ser considerado como co-variável na análise dos resultados. Os valores de umidade média obtidos para os corpos de prova das duas espécies indicaram que a madeira se encontrava na condição de equilíbrio apresentando valores médios

próximos a 12 % (U%) em todas as repetições.

A partir dos dados apresentados na Tabela 2 se verificou que não ocorreu diferença significativa entre os valores médios obtidos para a densidade aparente (12%) para a madeira de angelim pedra e pau jacaré nos diferentes tratamentos.

Tabela 2. Valores médios para densidade aparente (g/cm^3) das espécies estudadas (média de 8 repetições):

| Dap: Densidade aparente em g/cm^3 | |
|--|-----------|
| Comparação de Médias de Dap (12%) | |
| Angelim pedra | 0,73996 a |
| Pau jacaré | 0,74508 a |
| dms = 0,03605 | |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.
Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

6.2 Usinagem da Madeira

Para o teste de plaina, as amostras apresentaram desempenho mais satisfatório para as amostras da espécie pau jacaré nos dois sentidos, a favor e contra a grã. No sentido a favor da grã houve maior quantidade de amostras lineares e expressivamente lisas. Já a madeira de angelim pedra apresentou uma grã visivelmente ondulada, ocasionando um pior resultado nas amostras aplainadas contra a grã e ocorrendo alta incidência do defeito de grã arrancada

No teste de lixamento foi verificada visualmente uma melhora expressiva em relação ao teste de plaina, deixando a superfície da amostra mais lisa. O lixamento gerou superfícies com acabamento de ótima qualidade como pode ser observado nas Figuras 13 e 14.

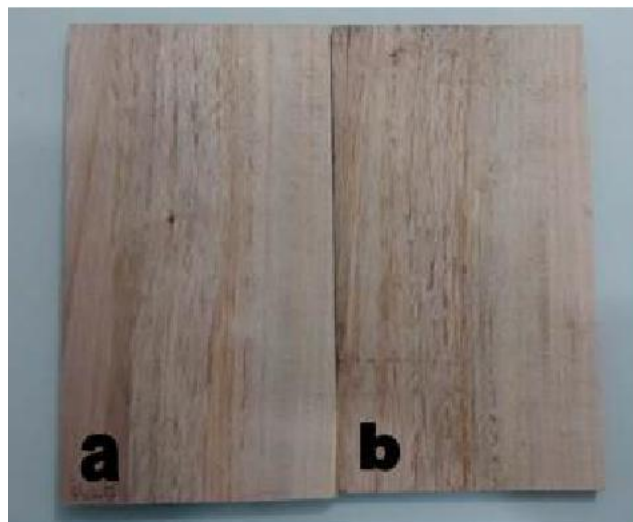


Figura 14. Pau Jacaré usinadas na plaina(a) e lixa(b).

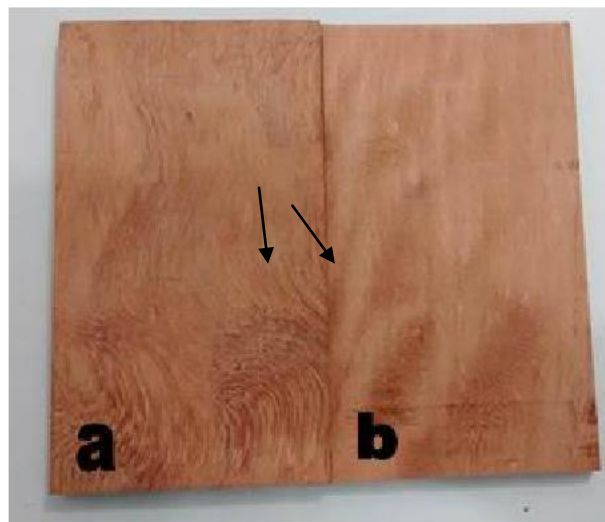


Figura 15. Angelim usinadas na plaina(a) e lixa(b).

6.3 Rugosidade

O processo de aplainamento mostrou resultados de rugosidade melhores para o pau jacaré, tanto no sentido “a favor da grã” (FG) quanto “contra a grã” (CG), o que foi exemplificado pelos gráficos gerados pelo software que acompanha o rugosímetro nas Figuras 15 e 16. Estes gráficos mostram as amplitudes de rugosidade média dentro de um

comprimento de medição, onde a maior rugosidade é caracterizada no gráfico como a intensidade e concentração de maiores picos e/ou vales.

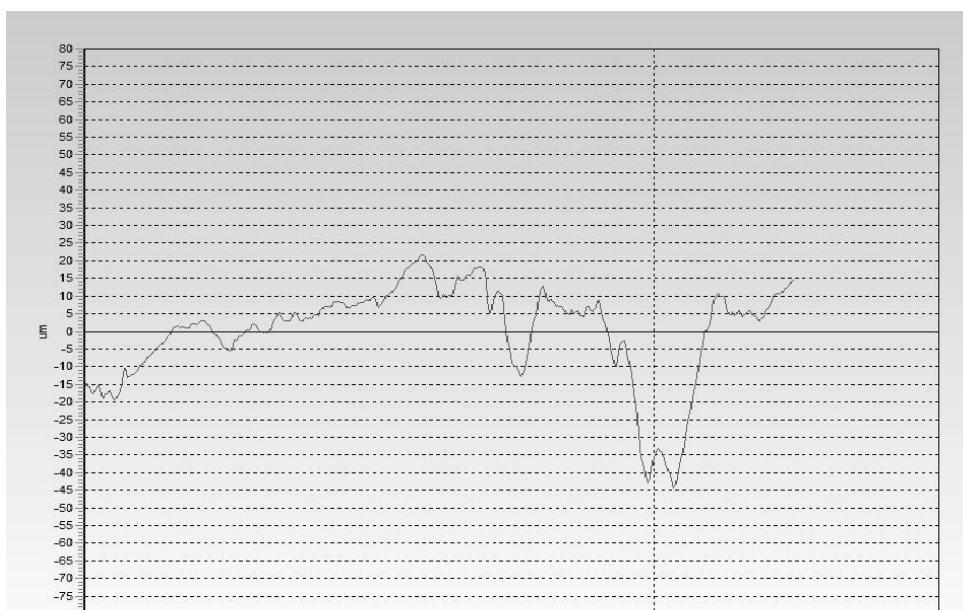


Figura 16. Gráfico gerado da variável Ra após aplainamento de amostra da espécie angelim pedra, através do rugosímetro de contato.

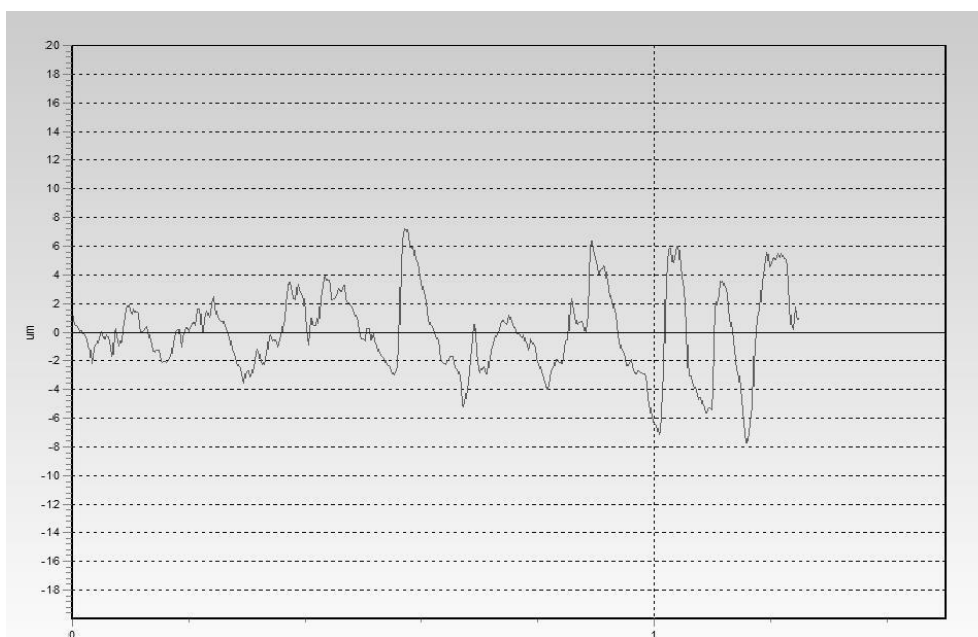


Figura 17. Gráfico gerado da variável Ra após aplainamento de amostra da espécie pau jacaré, através do rugosímetro de contato.

Os melhores resultados para a rugosidade nas duas espécies foram obtidos com o processo de lixamento (Figuras 18 e 19), embora as operações de aplainamento deixem células de vasos abertas e melhor sensação de lisura, facilitando a penetração de tintas, colas e adesivos. Quando submetidas ao aplainamento as espécies de madeiras de maior quantidades de desvios de grã são mais susceptíveis ao arrancamento de cavacos e ocorrência de grã felpuda, defeitos que interferem nos resultados da rugosidade.

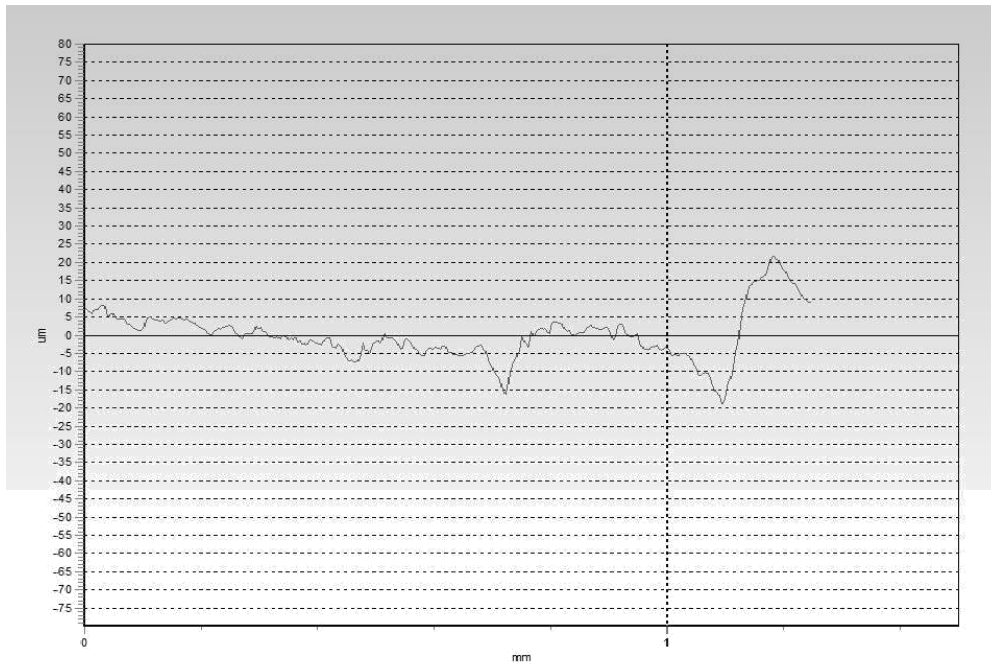


Figura 18. Gráfico gerado da variável Ra após lixamento da espécie angelim pedra, através do rugosímetro de contato.

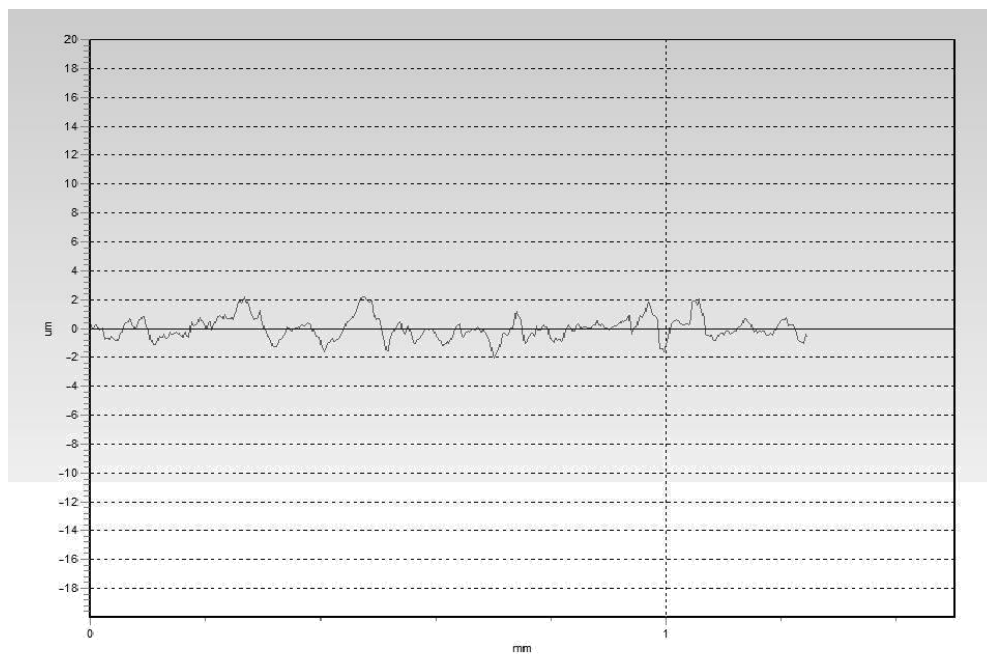


Figura 19. Gráfico gerado da variável Ra após lixamento da espécie pau Jacaré, através do rugosímetro de contato.

A Tabela 3 apresenta os resultados de Ra de todos os tratamentos, antes e após a transformação logarítmica dos dados, realizada para conferir a distribuição normal e permitir a análise de variância e comparação de médias detalhada no ANEXO.

Tabela 3. Valores médios de Rugosidade Média (Ra) para todas as variáveis estudadas:

| Espécie | Acabamento | Direção da Grã | Sentido | Ra | Desvio Padrão | Log Ra | Desvio Padrão |
|-------------------|------------|----------------|---------------|----------|---------------|----------|---------------|
| Angelim | Plaina | Contra | Paralelo | 6,75425 | 2,419681 | 1,848134 | 0,387365 |
| Angelim | Plaina | Contra | Perpendicular | 7,973 | 1,037804 | 2,068633 | 0,130337 |
| Angelim | Plaina | Favor | Paralelo | 4,02475 | 2,162549 | 1,248765 | 0,596769 |
| Angelim | Plaina | Favor | Perpendicular | 6,732 | 2,313075 | 1,857127 | 0,335091 |
| Angelim | Lixa | Contra | Paralelo | 3,239187 | 2,10922 | 1,017145 | 0,573931 |
| Angelim | Lixa | Contra | Perpendicular | 4,411437 | 2,053514 | 1,39586 | 0,439697 |
| Angelim | Lixa | Favor | Paralelo | 1,724188 | 0,633437 | 0,483593 | 0,377105 |
| Angelim | Lixa | Favor | Perpendicular | 4,03575 | 1,523335 | 1,328706 | 0,39595 |
| Pau Jacaré | Plaina | Contra | Paralelo | 5,536812 | 3,869215 | 1,546604 | 0,57462 |
| Pau Jacaré | Plaina | Contra | Perpendicular | 5,692937 | 2,05661 | 1,695102 | 0,298771 |
| Pau Jacaré | Plaina | Favor | Paralelo | 3,366375 | 1,642877 | 1,117445 | 0,461958 |
| Pau Jacaré | Plaina | Favor | Perpendicular | 5,554437 | 1,932377 | 1,658199 | 0,365498 |
| Pau Jacaré | Lixa | Contra | Paralelo | 1,7765 | 0,772559 | 0,493702 | 0,426813 |
| Pau Jacaré | Lixa | Contra | Perpendicular | 2,973 | 0,703013 | 1,065392 | 0,23426 |
| Pau Jacaré | Lixa | Favor | Paralelo | 1,359563 | 0,556841 | 0,24558 | 0,36295 |
| Pau Jacaré | Lixa | Favor | Perpendicular | 2,348438 | 0,548712 | 0,832641 | 0,212878 |
| All Groups | | | | 4,218914 | 2,613867 | 1,243914 | 0,646367 |

Nos resultados obtidos verificou-se que ocorreram diferenças significativas entre a rugosidade das espécies, entre os processos avaliados de usinagem (aplainamento e lixamento), entre as direções de corte (a favor e contra a grã) e entre os sentidos de medição da rugosidade (paralelo ou perpendicular às fibras).

A Tabela 4 apresenta o resultado da comparação entre as médias do valor de Ra médio de cada espécie dentre todos os Tratamentos avaliados, onde o pau jacaré apresentou menor valor de Ra, logo melhor qualidade superficial.

Tabela 4. Valores médios de Ra para as espécies estudadas:

| Comparação de Médias de Ra (Fator Espécie) | |
|--|-----------|
| Angelim pedra | 0,61062 a |
| Pau jacaré | 0,46983 b |
| dms = 0,06176 | |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.
Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A Tabela 5 apresenta o resultado da comparação entre as médias do valor de Ra médio de cada processo de usinagem dentre todos os Tratamentos avaliados, onde o lixamento apresentou melhor resultado pelo Ra mais baixo comparado ao aplainamento.

Tabela 5. Valores médios de Ra para os acabamentos estudados:

| Comparação de Médias de Ra (Fator Usinagem) | |
|---|-----------|
| Aplainamento | 0,70790 a |
| Lixamento | 0,37255 b |
| dms = 0,06176 | |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.
Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A Tabela 6 apresenta o resultado da comparação entre as médias do valor de Ra médio de cada direção de corte em relação a grã, onde o Ra menor encontra-se na direção a favor da grã, correspondendo o melhor tratamento.

Tabela 6. Valores médios de Ra para as direções de grã estudadas:

| Comparação de Médias de Ra (Fator Direção) | |
|--|-----------|
| Contra a grã | 0,60424 a |
| Favor da grã | 0,47621 b |
| dms = 0,06176 | |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.
Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

A Tabela 7 apresenta o resultado da comparação entre as médias do valor de Ra médio de cada sentido de medição em relação à disposição das fibras, ao qual o sentido de medição paralelo em relação as fibras apresenta menor valor médio, logo melhor qualidade superficial.

Tabela 7. Valores médios de Ra para os sentidos de medição em função das fibras.

| Comparação de Médias de Ra (Fator Sentido de Medição) | |
|---|-----------|
| Paralelo as fibras | 0,43435 a |
| Perpendicular as fibras | 0,64610 b |
| dms = 0,06176 | |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.
Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Quando analisada a interação entre todas as variáveis do estudo (espécie, usinagem, direção de grã e sentido de medição em relação as fibras), notou-se que a única interação que apresentou diferença significativa ocorreu entre os fatores Direção da Grã e Sentido da Medição em relação as fibras (Tabela 8), onde as amostras a favor da grã mostraram melhores valores de rugosidade no sentido paralelo do que no perpendicular. Porém, as amostras usinadas (plana e lixa) a favor e contra a grã, apenas no sentido perpendicular, não diferiram estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade.

Verificamos assim, uma menor Rugosidade e conseqüentemente melhor qualidade superficial nas amostras lixadas a favor da grã e medidas no sentido paralelo em relação as fibras, podendo evidenciar também melhores resultados de rugosidade no pau jacaré quando comparado ao angelim pedra.

Tabela 8. Valores médios de Ra da interação Direção de Grã e Sentidos de medição em função das fibras:

| Interação dos Fatores Direção da Grã x Sentido de fibras | | |
|--|------------------|--------------------------|
| Direção da Grã | Sentido de Fibra | |
| | Paralelo | Perpendicular |
| Contra | 0,5326 aB | 0,6759 aA |
| Favor | 0,3361 bB | 0,6163 aA |
| dms para colunas = 0,0873 | | dms para linhas = 0,0873 |

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Letras minúsculas indicam diferenças na mesma coluna. Letras maiúsculas indicam diferenças na mesma linha.

7 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, pôde-se concluir que:

- As espécies apresentaram densidades aparentes semelhantes, assim como os valores de umidade de equilíbrio observados foram bastante próximos;
- De maneira geral, os processos de usinagem da madeira estudados, aplainamento e lixamento, apresentaram resultados satisfatórios para as duas espécies;
- O lixamento melhorou a qualidade da superfície das amostras avaliadas. As espécies apresentaram melhores resultados nas amostras lixadas, mostrando excelente acabamento, isentos de imperfeições, adaptando-se muito bem a lixa utilizada;
- A madeira de angelim pedra apresentou defeitos de arrancamento de fibras em função da grã ondulada;
- As amostras de pau jacaré apresentaram menores Ra's o que indicou melhores rugosidades e qualidade superficial. Para o material genético avaliado a madeira de pau jacaré mostrou maior facilidade de obtenção de um melhor acabamento de sua superfície em relação a madeira de angelim pedra.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o processo de análise da rugosidade superficial pelo rugosímetro de contato TR-200, pôde-se concluir que:

- Este aparelho, assim como todos no mercados são produzidos principalmente para análise de estruturas de metais, e necessitam de cuidados especiais na adequação de seu uso para madeiras;
- O aparelho apresentou problemas de leitura em regiões das amostras com defeitos como arranchamento de cavacos e rachaduras, mesmo senda estas bastante pequenas e em baixa ocorrência nas amostras avaliadas.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ARENCIBIA, F. V. Aula: “Tolerâncias Geométricas”, **Primeiro Seminário de Metrologia**, Universidade Federal de Uberlândia, Mar, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 4288**: especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil – Regras e procedimentos para avaliação de rugosidade. Rio de Janeiro, Nov. 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 4287**: especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil – Termos, definições e parâmetros da rugosidade. Rio de Janeiro, Set. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 12179**: especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil – Calibração de instrumentos de medição por contato (com sapata de apalpação). Rio de Janeiro, Ago. 2002.

BOTREL, R.T. RODRIGUES, L. A.; GOMES, L. J.; CARVALHO, D. A.; FONTES, M. A. L. Uso da vegetação nativa pela população local no município de Ingaí, MG, Brasil. **Acta bot. bras.** 20 (1): 143-156. 2006.

BURGER, L.M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 180p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras**: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. Colombo: Embrapa - CNPF; Brasília: Embrapa - SPI, 1994. 640p.

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

FARIAS, Marzely Gorges. **As questões ambientais e o processo de fresamento em alta velocidade de madeiras de floresta plantada *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii***. 2000. Tese (Doutorado) - Programa de pós-graduação em engenharia mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FERREIRA, G.C.; HOPKINS, M.J.G. **Manual de identificação botânica e anatômica - angelim**. Pará: EMBRAPA, 2004. 101p.

Foelkel, C.E.B.; Brasil, M.A.M.; Barrichelo, L.E.G. 1971. **Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2/3: 67-74

GONÇALVES, M.T.T. **Processamento da Madeira**. Bauru-SP: Document Center Xerox – USC, Livro ISBN 85.901425-1-5. 2000.

HERINGUER, E. P. Contribuição ao conhecimento da flora da Zona da Mata de Minas Gerais. **Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agrônomicas**, n.2, p.1-187, 1947.

HELLMEISTER, J. C. **Sobre a determinação das características físicas da madeira**. São Carlos, 1982. 119 p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT **Manual de identificação das principais madeiras comerciais brasileiras**. São Paulo: IPT, 1983. 241p. (publicação IPT No 1226).

KIKUTI, P.; FIER, I.S.N.; CALORI, J.V. Produção de madeiras de reflorestamento de alta qualidade. **Revista da madeira**, v.5, n.30, p.8-13, 1996.

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

LEMASTER, R. L.; BEALL, F. C. The use of an optical perfilometer to measure surface roughness in medium density fiberboard. **Forest Product Journal**, v. 46, n.11/12, p.73-80, 1996.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**. Nova Odessa: Plantarum, 2002. v.1. 368p.

MORESCHI, J.C. **Propriedades da Madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, 3ª ed. 2010.

OLIVEIRA, J.T.S.; FIELDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias Aplicadas ao Setor Madeireiro**. **Cerne**, v..16, número das páginas, 2007.

RIBEIRO, J.E.L.S. et al. **Flora da reserva Ducke: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**. Manaus-AM: INPA, 1999. 819p.

SILVA, J. R. M.; LIMA, J. T.; BRAGA, P. P. C.; TRUGILHO, P. F. A utilização de rugosímetro na qualificação das superfícies usinadas em madeiras de *Eucalyptus* sp. In: ENCONTRO NACIONAL EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Carlos: EBRAMEM, 2006. 1 CD-ROM.

SILVA, J.R. M; MUÑIZ, G.I.B; LIMA, J.T; BONDUELLE, A.F. Relações da usinabilidade com a morfologia das fibras da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill Ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa- MG, v. 29, n. 3, p. 479-487, 2005.

SILVA, J.R.M. **Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de**

Eucalyptus grandis Hill ex Maiden. **Revista Árvore**. v.29, n.3, p.479-487, 2005.

SILVA, J.C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden de diferentes idades, visando sua utilização na indústria moveleira.** 160p. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais). UFPR, Curitiba. 2002.

SILVA, J.R.M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill Ex. Maiden.** 179f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2002.

ZENID, G. J. **Espécies nativas com potencial madeireiro e moveleiro.** Divisão de Produtos Florestais Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A., São Paulo. 1997.

ANEXO

(Tabelas e Valores obtidos nas Análises de Normalidade dos Dados, Estatística Descritivas, Análises de Variância e Testes de Comparação de Médias realizados pelo software Assistat 7.7 Beta, software livre, disponível em <http://www.assistat.com>)

ASSISTAT - NORMALIDADE E ESTATÍSTICA
 DESCRITIVA <http://www.assistat.com>

NORMALIDADE (alfa = 5%)

| Teste (Estatística) | Valor | Vcrit | p-valor | Normal |
|------------------------|---------|---------|---------|--------|
| Kolmogorov-Smirnov (D) | 0.13210 | 0.21297 | p > .15 | Sim |
| Cramér-von Mises (W2) | 0.03424 | 0.12218 | p > .15 | Sim |
| Anderson-Darling (A2) | 0.20650 | 0.68296 | p > .15 | Sim |
| Kuiper (V) | 0.21196 | 0.34994 | p > .15 | Sim |
| Watson (U2) | 0.03382 | 0.11248 | p > .15 | Sim |
| Lilliefors (D) | 0.07986 | 0.21300 | p > .15 | Sim |
| Shapiro-Wilk (W) | 0.97110 | - | 0.85605 | Sim |

ESTATÍSTICA DESCRITIVA

| | |
|------------------------------|---------------|
| Número de dados | = 16 |
| Soma dos dados | = 11.8803 |
| Menor valor (min) | = .6831 |
| Maior valor (max) | = .7961 |
| Aplitude (max - min) | = .113 |
| Ponto médio | = 0.73960 |
| Média aritmética(M) | = 0.74252 |
| Lim.conf.inf.da M(95%) | = 0.72458 |
| Lim.conf.sup.da M(95%) | = 0.76046 |
| Mediana | = .74405 |
| Moda | = Não há moda |
| Desvio médio | = 0.02497 |
| Desvio padrão(para N-1) | = 0.03262 |
| Desvio padrão(para N) | = 0.03158 |
| Variância(para N-1) | = 0.00106 |
| Variância(para N) | = 0.00100 |
| Coef.Variação(para N-1) | = 4.39284 |
| Coef.Variação(para N) | = 4.25335 |
| Coef.de assimetria | = -.14342 |
| Coef.de curtose | = -.53806 |
| para N-1)=Amostra (para N) = | População |

Para cálculo da estatística (W) de Shapiro-Wilk e da sua probabilidade (p-valor), o Assistat utiliza o Algorithm AS R94, Applied Statistics (1995), vol.44, no.4, 547-551

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO

QUADRO DE ANÁLISE

| FV | GL | SQ | QM | F |
|-------------|----|---------|---------|-----------|
| Tratamentos | 1 | 0.00010 | 0.00010 | 0.0923 ns |
| Resíduo | 14 | 0.01585 | 0.00113 | |
| Total | 15 | 0.01596 | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

| | GL | GLR | F-crit | F | p |
|---|----|-------|----------|---|--------|
| 1 | 14 | 0.001 | 0.092323 | | 0.7656 |

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias de tratamento

| | |
|---|-----------|
| 1 | 0.73996 a |
| 2 | 0.74508 a |

dms = 0.03605

MG = 0.74252

CV% = 4.53 Ponto médio = 0.73960

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si.
 Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Normalidade dos dados (alfa = 5%)

| Teste (Estatística) | Valor | p-valor | Normal |
|---------------------|---------|---------|--------|
| Shapiro-Wilk (W) | 0.97110 | 0.85605 | Sim |

DADOS

| | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| .6831 | .7021 | .7141 | .7204 | .7503 | .7961 | .7609 | .7927 |
| .6978 | .7431 | .7527 | .7447 | .7434 | .7379 | .7731 | .7679 |

OBSERVAÇÃO

Quando F se aproxima mas não atinge a significância mesmo assim o Teste de Tukey poderá encontrar diferença significativa entre a maior e a menor média e também poderá ocorrer o inverso. Esse caso é previsto na literatura e também ocorre com outros testes de comparação. Não entenda essa ocorrência como erro na análise

SIGLAS E ABREVIACÕES

FV = Fonte de variação GL = Graus de liberdade
 SQ = Soma de quadrado QM = Quadrado médio
 F = Estatística do teste F MG = Média geral
 CV% = Coeficiente de variação em %
 dms = Diferença mínima significativa

NORMALIDADE (alfa = 5%)

| Teste (Estatística) | Valor | Vcrit | p-valor | Normal |
|------------------------|---------|---------|---------|--------|
| Kolmogorov-Smirnov (D) | 0.07126 | 0.07865 | p > .10 | Sim |
| Cramér-von Mises (W2) | 0.09204 | 0.12551 | p > .10 | Sim |
| Anderson-Darling (A2) | 0.63987 | 0.76428 | p > .05 | Sim |
| Kuiper (V) | 0.11253 | 0.13020 | p > .15 | Sim |
| Watson (U2) | 0.08962 | 0.11555 | p > .10 | Sim |
| Lilliefors (D) | 0.06345 | 0.07831 | p > .15 | Sim |
| Shapiro-Wilk (W) | 0.98186 | - | 0.08460 | Sim |

ESTATÍSTICA DESCRITIVA

| | |
|---------------------------------------|---------------|
| Número de dados | = 128 |
| Soma dos dados | = 69.14881637 |
| Menor valor (min) | = -.1331222 |
| Maior valor (max) | = 1.140618 |
| Aplitude (max - min) | = 1.2737402 |
| Ponto médio | = 0.50375 |
| Média aritmética(M) | = 0.54023 |
| Lim.conf.inf.da M(95%) | = 0.49159 |
| Lim.conf.sup.da M(95%) | = 0.58886 |
| Mediana | = .5324 |
| Moda | = Não há moda |
| Desvio médio | = 0.23380 |
| Desvio padrão(para N-1) | = 0.28071 |
| Desvio padrão(para N) | = 0.27961 |
| Variância(para N-1) | = 0.07880 |
| Variância(para N) | = 0.07818 |
| Coef.Varição(para N-1) | = 51.96232 |
| Coef.Varição(para N) | = 51.75894 |
| Coef.de assimetria | = -.15439 |
| Coef.de curtose | = -.76474 |
| (para N-1)=Amostra (para N)=População | |

Para cálculo da estatística (W) de Shapiro-Wilk e da sua probabilidade (p-valor), o Assistat utiliza o Algorithm AS R94, Applied Statistics (1995), vol.44, no.4, 547-551

EXPERIMENTO FATORIAL

QUADRO DE ANÁLISE

| FV | GL | SQ | QM | F | |
|-------------|-----|----------|---------|----------|----|
| Fator1 (F1) | 1 | 0.63423 | 0.63423 | 20.3970 | ** |
| Fator2 (F2) | 1 | 3.59873 | 3.59873 | 115.7370 | ** |
| Fator3 (F3) | 1 | 0.52459 | 0.52459 | 16.8710 | ** |
| Fator4 (F4) | 1 | 1.43490 | 1.43490 | 46.1472 | ** |
| Int. F1x2 | 1 | 0.03202 | 0.03202 | 1.0297 | ns |
| Int. F1x3 | 1 | 0.02036 | 0.02036 | 0.6548 | ns |
| Int. F1x4 | 1 | 0.00395 | 0.00395 | 0.1271 | ns |
| Int. F2x3 | 1 | 0.00360 | 0.00360 | 0.1157 | ns |
| Int. F2x4 | 1 | 0.07048 | 0.07048 | 2.2665 | ns |
| Int. F3x4 | 1 | 0.15017 | 0.15017 | 4.8295 | * |
| Int.F1x2x3 | 1 | 0.00477 | 0.00477 | 0.1535 | ns |
| Int.F1x2x4 | 1 | 0.00052 | 0.00052 | 0.0168 | ns |
| Int.F1x3x4 | 1 | 0.01881 | 0.01881 | 0.6050 | ns |
| Int.F2x3x4 | 1 | 0.00839 | 0.00839 | 0.2700 | ns |
| I.F1x2x3x4 | 1 | 0.01956 | 0.01956 | 0.6291 | ns |
| Tratamentos | 15 | 6.52508 | 0.43501 | 13.9900 | ** |
| Resíduo | 112 | 3.48253 | 0.03109 | | |
| Total | 127 | 10.00761 | | | |

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Fator 1 = Espécie

Fator 2 = Usinagem

Fator 3 = Direção da Grã

Fator 4 = Sentido

MÉDIAS E MEDIDAS

| | | | |
|-------------------|-----------|-------------------|-----------|
| Médias do fator 1 | | Médias do fator 3 | |
| 1 | 0.47621 b | 1 | 0.60424 a |
| 2 | 0.46983 b | 1 | 0.61062 a |
| ----- | | ----- | |
| dms= | 0.06176 | dms = | 0.06176 |
| Médias do fator 2 | | Médias do fator 4 | |
| 1 | 0.70790 a | 1 | 0.43435 b |
| 2 | 0.37255 b | 2 | 0.64610 a |
| ----- | | ----- | |
| dms= | 0.06176 | dms = | 0.06176 |

MÉDIAS DE INTERAÇÃO

Fator 1 x Fator 2 (AxB)

| | | B | |
|----|--------|--------|--|
| A | ----- | | |
| | B1 | B2 | |
| A1 | 0.7625 | 0.4588 | |
| A2 | 0.6533 | 0.2863 | |

Não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo

Fator 1 x Fator 3 (AxC)

| | | C | |
|----|--------|--------|--|
| A | ----- | | |
| | C1 | C2 | |
| A1 | 0.6872 | 0.5340 | |
| A2 | 0.5212 | 0.4184 | |

Não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo

Fator 2 x Fator 3 (BxC)

| | | C | |
|----|--------|--------|--|
| B | ----- | | |
| | C1 | C2 | |
| B1 | 0.7772 | 0.6386 | |
| B2 | 0.4313 | 0.3138 | |

Não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo

Fator 1 x Fator 4 (AxD)

| | | D | |
|----|--------|--------|--|
| A | ----- | | |
| | D1 | D2 | |
| A1 | 0.4992 | 0.7221 | |
| A2 | 0.3695 | 0.5702 | |

Não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo

Fator 2 x Fator 4 (BxD)

| | | D | |
|----|--------|--------|--|
| B | ----- | | |
| | D1 | D2 | |
| B1 | 0.6255 | 0.7903 | |
| B2 | 0.2432 | 0.5019 | |

Não foi aplicado o teste de comparação de médias por que o F de interação não foi significativo

Fator 3 x Fator 4 (Cx D)

| | | D | |
|----|-----------|-----------|----|
| | | C | |
| | | D1 | D2 |
| B1 | 0.5326aB | 0.6759 aA | |
| B2 | 0.3361 bB | 0.6163aA | |

dms para colunas = 0.0873 dms para linhas = 0.0873
Classific.c/letras minúsculas Classific.c/letras maiúsculas

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

MG = 0.54023 CV% = 32.64

Ponto médio = 0.50375

Normalidade dos dados (alfa = 5%)

| Teste (Estatística) | Valor | p-valor | Normal |
|---------------------|-------|---------|-------------|
| Shapiro-Wilk (W) | | 0.98186 | 0.08460 Sim |

OBSERVAÇÃO

Quando F se aproxima mas não atinge a significância mesmo assim o Teste de Tukey poderá encontrar diferença significativa entre a maior e a menor média e também poderá ocorrer o inverso. Esse caso é previsto na literatura e também ocorre com outros testes de comparação. Não entenda essa ocorrência como erro na análise

SIGLAS E ABREVIações

FV = Fonte de variação GL = Graus de liberdade
SQ = Soma de quadrado QM = Quadrado médio
F = Estatística do teste F MG = Média geral
CV% = Coeficiente de variação em %
dms = Diferença mínima significativa

REFERÊNCIAS DO ASSISTAT

Silva, F. de A. S. e. & Azevedo, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

Silva, F. de A. S. e. & Azevedo, C. A. V. de. A New Version of The Assistat-Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, Orlando-FL-USA: Anais... Orlando: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. p.393-396.

Silva, F. de A. S. e. & Azevedo, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.4,n.1, p71-78,2002.

Silva, F.de A.S.e. The ASSISTAT Software: statistical assistance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 6, Cancun, 1996. Anais... Cancun: American Society of Agricultural Engineers, 1996. p.294-298.
