

CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA DE QUATRO ESPÉCIES FLORESTAIS PARA USO EM MOVELARIA

Ananias Francisco Dias Júnior¹, Pablo Vieira dos Santos¹, José Henrique Camargo Pace¹,
Alexandre Monteiro de Carvalho¹, João Vicente Figueiredo Latorraca¹

Resumo: O objetivo do presente trabalho foi caracterizar as propriedades físicas, avaliar os resultados da usinagem e determinar parâmetros da rugosidade da madeira de quatro espécies de eucalipto. Para avaliação da usinagem foram confeccionados corpos-de-prova com dimensões de 50 x 12,5 x 2,3 cm. Foram realizados ensaios de aplainamento, lixamento, furação para cavilha e dobradiça, rasgo e fendilhamento por pregos. Para as espécies estudadas foram determinadas as propriedades físicas densidade básica e aparente, contração volumétrica e o fator de anisotropia. A análise da rugosidade foi feita nas superfícies aplainadas, através de rugosímetro de agulha. A densidade média obtida foi similar a de espécies de eucalipto que já se encontram em utilização na fabricação de móveis. De forma geral, as amostras avaliadas apresentaram boa qualidade de acabamento, mostrando resultados satisfatórios em usos para a indústria moveleira.

Palavras-chave: qualidade da madeira; propriedades da madeira; usinagem; rugosidade.

CHARACTERIZATION OF THE WOOD OF FOUR FOREST SPECIES FOR FURNITURE SEGMENT

Abstract: The objective of this research was characterize the physical properties, evaluate the machinability and obtain parameters of the roughness of the four eucalyptus species wood. For the machinability it was made specimens with dimensions of 50 x 12.5 x 2.3 cm. With the specimens were made the tests of planning, sanding, boring and tear and nails insertion. For the studied species and samples were determinate the physical properties of basic and apparent density, volumetric contraction and the anisotropic factor. The analysis of the roughness was only made in the planned surfaces, through the needle method. The average of density obtained was similar with found in species commonly used in the production of furniture. The species presented good quality, being satisfactory for the industry of furniture segment.

¹ Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica, Rio de Janeiro, <ananiasjr@ufrj.br>, <pabloufrjr@hotmail.com>, <eng_jhcp@hotmail.com>, <amcarvalho@ufrj.br>, <latorraca@ufrj.br>.

Keywords: wood quality; wood properties; machinability; roughness.

1 INTRODUÇÃO

O uso da madeira de diferentes espécies de eucaliptos cresce em vários seguimentos do setor florestal, como o de carvão, papel e celulose e, mais recentemente, na construção civil e movelaria. Essa diversidade de aplicações se deve, principalmente, aos inúmeros estudos técnico-científicos realizados com as espécies desse gênero, os quais têm fornecido as informações necessárias para uma melhor empregabilidade desse material. Além disso, as diversas tonalidades possíveis de cor da madeira contribuem para a utilização do eucalipto para usos que necessitem de aspectos estéticos e qualidade visual.

Para a produção de móveis o conhecimento das propriedades físicas da madeira, como densidade e estabilidade dimensional, além das propriedades mecânicas e parâmetros de trabalhabilidade, são essenciais para o uso adequado da madeira de cada espécie. As propriedades físicas variam entre e dentro das próprias espécies dependendo da sua posição na árvore, e assim, conhecer tal comportamento pode viabilizar o processamento e a usinagem da madeira resultando em peças de qualidade superiores.

Silva et al. (2009) salientam que quando a madeira é destinada a móveis, assoalhos, esquadria e outros produtos que necessitem de qualidade de superfície, a trabalhabilidade bem executada melhora o desempenho em processos de acabamento superficial viabilizando economicamente esta operação.

Segundo Burger; Richter (1991) avaliar a trabalhabilidade e usinabilidade da madeira refere-se ao grau de facilidade em que essa é processada, mediante o uso de instrumentos, objetivando não somente cortá-la, mas produzir as formas e superfícies desejadas, com boa qualidade final da peça, da forma mais econômica possível. Carvalho et al. (2010) e Silva (2002) salientam que existem duas formas diferentes de avaliação de uma superfície de madeira usinada: a primeira considera apenas o cálculo do avanço por dente (fz) expresso em marcas de polegadas lineares ou em milímetros; a segunda considera também a presença de falhas na superfície. As explicações dessas falhas podem estar vinculadas a espécie, ao sentido da orientação da usinagem, idade, tratamentos culturais executados ao longo do plantio, tipo do lenho, velocidade de processamento, além da habilidade da mão-de-obra executora dos processos.

Os maiores problemas encontrados na usinagem são as características anisotrópicas e diferentes propriedades físicas e mecânicas, que dificultam a padronização das operações,

ocasionando variações no rendimento e qualidade. Lucas Filho (2004) descreve que o processo de transformação da madeira em móveis permite a agregação de grande valor ao produto, cabendo à usinagem grande parte desta “geração de valor”. Deve-se observar que a usinabilidade da madeira seja compatível com as necessidades de qualidade, custo e produtividade. Assim, faz-se necessário desenvolver estudos com a finalidade de caracterizar o efeito das propriedades das diferentes espécies sobre a usinabilidade.

No processo de consumo de madeira para movelaria, depois de usinadas, as peças devem ser avaliadas e qualificadas, direcionando a determinado uso ou parte do móvel. O método mais utilizado parte de um sistema de avaliação de notas qualitativas, em decorrência dos defeitos existentes ou não na superfície. Outra forma de verificar tal requisito é através da medição da rugosidade por meio de diversos métodos existentes: rugosímetros de agulha, perfilometria, análise de imagens, pneumático, ultrassom e microscopia.

A rugosidade em superfícies de madeiras é influenciada por vários aspectos, como: o tipo de processo de usinagem empregado; estrutura anatômica; grã; largura dos anéis de crescimento; raios; nós; madeira de reação e relação de lenho inicial e lenho tardio (TAYLOR et al., 1999).

O objetivo desse trabalho foi avaliar a madeira de quatro espécies de eucalipto por meio de ensaios de usinagem normatizados e de importância para a caracterização de matéria-prima para a indústria moveleira, avaliando ainda propriedades físicas e rugosidade superficial.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As tábuas utilizadas nesse estudo foram obtidas de toretes de quatro espécies florestais: *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus pellita*, híbrido entre *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora*. As árvores abatidas, oriundas de plantios experimentais com aproximadamente 20 anos possuíam diâmetro à altura do peito (DAP) mínimo de 30 cm e alturas variadas. Após a seleção e abate das árvores no plantio, de cada uma delas foi seccionado um torete de 1m de comprimento, retirado da porção compreendida entre 30 cm de altura do fuste, a partir do nível do solo, até a altura do DAP (1,30 m). De cada espécie estudada foram amostradas cinco árvores. Os toretes foram transportados para o Laboratório de Processamento de Madeira (LPM/DPF/UFRRJ) onde posteriormente foram confeccionadas vinte amostras de 50 x 12,5 x 2,3 cm de cada material genético, para os

ensaios de usinagem e análise da rugosidade (quatro amostras de cada torete), e vinte amostras de 5 x 3 x 2 cm para avaliação das propriedades físicas.

2.1 Caracterização física da madeira

Para verificação das propriedades físicas da madeira foram realizados ensaios de densidade básica, densidade aparente, variação volumétrica e determinação dos fatores de anisotropia para cada espécie estudada.

Os ensaios seguiram os procedimentos descritos pela norma NBR 7190 (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1997). Inicialmente, os corpos-de-prova foram submersos em água até atingirem o estado de saturação e, em seguida, pesados e medidos nas três dimensões (longitudinal, radial e tangencial), obtendo-se assim a massa (g) e o volume (cm³). Posteriormente, os corpos-de-prova foram mantidos em estufa (temperatura= 103°C), com as medições de massa e volume sendo realizadas a cada 8 horas até ser obtida diferença mínima de 0,5% a partir da última medição.

2.2. Testes de usinagem

A partir de metodologia baseada na norma da American Society for Testing and Materials - ASTM D 1666-87 (1994) foram realizados os ensaios de aplainamento ou desempenho (Dp), em sentido concordante (AB) e discordante (BA) em relação à grã, ou sentido de crescimento vertical do fuste da árvore (Figura 1).

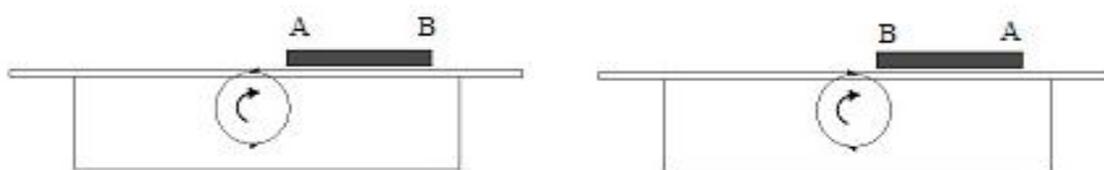


Figura 1. Esquema dos processos de aplainamento em oposição e concordância.

Figure 1. Illustration of the opposition and concordance planning.

Para a realização desse ensaio foi utilizada uma plaina desempenadeira de duas facas, com frequência de rotação do eixo porta-facas de 2600 RPM, espessura do corte de 1,6 mm e velocidades de avanço de 6, 11, 13 e 24 m/min. As velocidades foram controladas por meio de equipamento de avanço automatizado com sistema de engrenagens e roldanas acoplado a plaina desempenadeira.

As facas foram previamente afiadas em afiadeira linear com rebolo de copo. Para que não ocorresse influência do desgaste das facas, a sequência de testes nos corpos-de-prova foi sorteada. O avanço por dente ($fz_{\text{calculado}}$) foi calculado utilizando a Equação 1.

$$fz = \frac{Vf * 1000}{n * z} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: fz = avanço por dente, em mm; Vf = velocidade de avanço da peça, em m/min; n = frequência de rotação do eixo porta ferramenta em rpm; z = número de gumes ativos da ferramenta (adimensional).

Para determinação do fz_{medido} (Equação 2), em cada amostra usinada sob cada velocidade de avanço, foram realizadas três leituras, em diferentes regiões das faces aplainadas, distribuídas aleatoriamente na superfície da peça.

$$fz_{\text{medido}} = \frac{C_{\text{total}}}{NC - 1} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: fz_{medido} = avanço por dente medido (mm); C_{total} = comprimento total do campo de leitura (mm); NC = número de cristas presentes no comprimento total de leitura (adimensional).

Com base na ASTM D 1666-87 (1994) também foram realizados ensaios de Lixamento (Lx), onde foi utilizada uma lixadeira de esteira de 2,70 m entre a roda motriz e roda guia, com lixa de grão 80, sendo observados defeitos de riscamento da superfície e grã felpuda. Essas avaliações foram realizadas na face oposta àquela do teste de aplainamento. Cada peça foi mantida na lixadeira por 20 segundos.

Nos ensaios de furação para cavilha (Fc), realizado com furadeira vertical de bancada, foram utilizadas brocas helicoidais de aço de 6, 8 e 12 mm de diâmetro com duas perfurações por amostra. Os furos foram feitos com distância de 25 mm entre eles e das bordas. Já no teste de furação para dobradiça (Fd) a mesma furadeira foi equipada com broca chata de 26mm. Foram realizados dois furos, sendo um passante e outro não passante, e observado da presença de esmagamento de grã, grã felpuda e/ou arrancamentos de cavacos.

Os detalhes dos ensaios podem ser verificados na Figura 2.

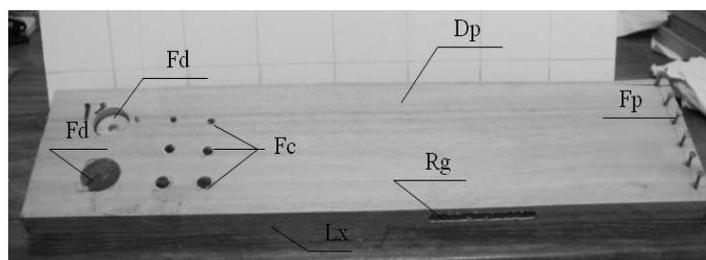


Figura 2. Corpo-de-prova dos ensaios de usinagem. Dp = desempenho; Fd = furação para dobradiça; Fc = furação para cavilha; Rg = rasgo; Fp = fendilhamento por pregos; Lx = lixamento.

Figure 2. Samples of the machinability tests. Dp = planing; Fd = boring for hinge; Fc = boring for peg; Rg = tear; Fp = nail insertion; Lx = sanding.

Na avaliação do rasgo (Rg), o principal defeito analisado foi o levantamento das fibras, sendo atribuídas notas conforme a intensidade do defeito. O rasgo foi efetuado na lateral da peça com auxílio de uma furadeira horizontal, montada com broca helicoidal de 8mm de diâmetro. No teste de fendilhamento por pregos (Fp), os pregos foram inseridos nas bordas das peças, com 20 mm de distância entre eles, utilizando-se um martelo de 250 g. Nesse ensaio, levou-se em consideração a presença de rachas ou trincas, com a classificação como “amostra que aceita pregos” (sem trincas, ou essas de dimensões insignificantes) e peças que “não aceitam pregos” (com trincas relevantes).

Após a realização dos ensaios foi executada a qualificação visual dos corpos-de-prova por três avaliadores diferentes. Esse processo consta da atribuição de notas que variam de 1 a 5, conforme a ocorrência dos defeitos descritos na Tabela 1. Posteriormente, foi atribuído um único valor, obtido pela média aritmética das notas.

Tabela 1. Notas aplicadas nas avaliações de peças nos ensaios de usinagem.

Table 1. Notes applied in the samples evaluations of machinability tests.

Nota	Classificação	Defeitos
1	Excelente	Ausência de defeitos
2	Bom	Presença de menos de 50% de defeitos
3	Regular	Presença de 50% de defeitos
4	Ruim	Presença de mais de 50% de defeitos
5	Muito Ruim	Presença de 100% de defeitos

Fonte: ASTM D-1666-87 (1994).

2.3 Avaliação da rugosidade

Para os ensaios de avaliação da rugosidade foram utilizadas as mesmas peças utilizadas nos testes de aplainamento. A rugosidade das superfícies foi avaliada com a utilização de um rugosímetro de agulha, através de medições com comprimento (“*cut off*”) de 20 mm.

A rugosidade média (Ra) foi calculada através da Equação 3.

$$Ra = 1/N \sum_{i=1}^N |Y_i| \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: Ra = rugosidade média; Yi = desvios do perfil.

Dessa forma, foram mensurados três campos de superfície aplainada somente no sentido a favor da grã. No sentido de aplainamento contra a grã, o resultado da qualidade da superfície foi inferior, conforme constatado na avaliação visual e análise estatística. Foram realizadas medições da rugosidade no sentido longitudinal e transversal à disposição das fibras, de maneira que defeitos como arrancamento de cavacos e ranhuras pudessem ser eficientemente captados pela agulha do aparelho. Ao final das medições, obteve-se a média aritmética para cada superfície, em cada sentido (longitudinal ou transversal) associada à velocidade de avanço usada no aplainamento.

Os resultados obtidos nesse estudo foram avaliados por meio de estatística descritiva, análise de variância, em nível de 5% de probabilidade de erro, e quando observado diferença significativa foi aplicado o Teste de Tukey de comparação de médias. Para análise estatística foi utilizado o software ASSISTAT 7.6 – versão Beta.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades físicas

Na Tabela 1 observa-se que a análise estatística não demonstrou diferenças significativas entre as espécies *Corymbia citriodora* e *E.grandis* x *E. urophylla* para as propriedades físicas avaliadas. Os valores obtidos para o híbrido foram superiores aos encontrados por Gonçalves et al. (2009) que obteve 0,560 g/cm³ para densidade básica para amostras do mesmo híbrido. A divergência nos valores pode ser explicada pelos diferentes processos de amostragem e o fato das árvores abatidas para este estudo, de *E. grandis* x *E. urophylla*, apresentarem grandes quantidades de grã reversa e irregular. De acordo com Chauhan e Walker (2006), a variação volumétrica é proporcional à densidade da madeira, mas

esta é afetada também por outros fatores como o ângulo das microfibrilas da camada S2 da parede celular, o qual é maior na madeira juvenil, e à maior porcentagem de grã irregular.

Tabela 2. Valores médios de densidade aparente, densidade básica, variação volumétrica e fator de anisotropia das amostras de eucalipto.

Table 2. Medium values of apparent density, basic density, volumetric variation and anisotropic factor of the eucalyptus samples.

Espécie	Nº Rep.	Propriedades Físicas			Fator de Anisotropia
		Densidade Aparente (g/cm ³)	Densidade Básica (g/cm ³)	Variação Volumétrica (%)	
<i>E. pellita</i>	20	0,815 b (7,53)	0,652 b (5,15)	21,49 a (29,98)	1,43 a (43,42)
<i>E. urophylla</i>	20	0,599 c (3,29)	0,490 c (3,16)	19,86 a (7,91)	1,69 a (16,65)
<i>C. citriodora</i>	20	1,000 a (1,42)	0,809 a (4,63)	13,38 b (21,29)	1,54 a (29,93)
<i>E. grandis x E. urophylla</i>	20	0,978 a (2,72)	0,808 a (2,99)	14,92 b (16,62)	1,44 a (45,04)

Em que: Valores em parênteses correspondem aos coeficientes de variação. Médias seguidas por uma mesma letra em cada coluna, não diferem estatisticamente entre si (teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro).

Evangelista et al. (2010), Poubel et al. (2011) e IPT (2009), encontraram densidades básicas de 0,455; 0,564 e 0,867 g/cm³ para *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus pellita*, *Corymbia citriodora*, respectivamente. Esses valores se mostram próximos aos encontrados neste estudo. Idades das árvores e/ou posição do lenho utilizado (cerne, alburno ou transição), além das condições ambientais em que foram cultivadas são, possivelmente, os fatores responsáveis pelas diferenças encontradas entre os estudos.

A estabilidade dimensional da madeira, calculada pelas propriedades de inchamento e contração, juntamente com o fator de anisotropia, que representa a relação entre a retração tangencial e a radial (T/R), são variáveis bastante utilizadas para avaliar a ocorrência de defeitos como rachaduras e fendilhamento da madeira. Os resultados encontrados apontam que não houve diferenças entre os fatores de anisotropia (fa) para as espécies avaliadas. O fa varia geralmente entre 1,5 e 2,5. Para usos que requeiram maior estabilidade das peças, como a confecção de móveis, são recomendadas espécies que apresentem baixos valores na relação T/R. Oliveira et al. (2010) realça que essa taxa é um índice importante no comportamento de madeiras, principalmente relacionado à secagem, interferindo também, posteriormente, nos processos de usinagem. Segundo os mesmos autores os valores de madeiras muito estáveis variam de 1,3 a 1,4, próximos aos encontrados para as espécies avaliadas nesse trabalho.

A retração média para as espécies estudadas variou de 13,38% (híbrido) a 21,49% (*Corymbia citriodora*). Não pode-se observar relação entre a densidade e a variação volumétrica obtidos. Apesar da espécie *Corymbia citriodora* apresentar maior densidade, foi a que obteve a menor média de variação volumétrica. Essa variação pode, no entanto, ser decorrente de vários fatores como umidade, teor de extrativos, dimensões da peça e taxa de secagem (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

3.2 Testes de usinagem

A partir dos dados apresentados na Tabela 3, para o teste de plaina, observa-se que com a velocidade de avanço 3 m/min, a visualização do avanço por dente ficou impossibilitada devido às baixas distâncias entre os picos, não sendo possível a obtenção do avanço por dente medido (fz_{medido}). As propriedades intrínsecas à madeira, vibrações das máquinas, estado de afiação das facas e qualificação dos operadores são fatores relacionados às diferenças encontradas. Porém, pôde-se confirmar na prática que o aumento na velocidade de avanço é diretamente proporcional aos valores de avanço por dente. Esse fato, segundo Silva et. al (2009), está relacionado à pequena variação dos demais parâmetros de usinagem.

Tabela 3. Valores médios dos avanços por dente calculado ($fz_{\text{calculado}}$) e medido (fz_{medido}) e as diferenças para aplainamentos com diferentes velocidades de avanço.

Table 3. Medium values of the calculated piece progress for each tooth ($fz_{\text{calculated}}$) and measured (fz_{measured}) and the differences for planings with different progress speeds.

Velocidade de Avanço ($m \cdot \text{min}^{-1}$)	Valores médios de avanço por dente (fz), em mm.		Diferença (mm) ($fz_{\text{calculado}} - fz_{\text{medido}}$)
	$fz_{\text{calculado}}$	fz_{medido}	
6	1,15	–	–
11	2,23	2,00	0,23
13	3,53	2,50	1,03
24	4,61	4,00	0,61

Silva et al. (2009) estudando madeiras de *Eucalyptus* spp. encontrou avanço por dente de 1,3; 3,4 e 6,7 mm para as velocidades de 6, 15 e 30 m/min respectivamente. Carvalho et al. (2010) estudando amostras da madeira de mogno africano encontrou avanço por dente de 3,4 mm para velocidade de 18 m/min.

Segundo o boletim do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial - SENAI (1995), para uma superfície de madeira possuir um fino acabamento é preciso apresentar fz entre 0,3 a 0,8 mm, médio acabamento 0,8 a 2,5 mm e grosso acabamento entre 2,5 e 5,0 mm. As amostras aplainadas estudadas foram classificadas como “médio” e “grosso” acabamento. A Figura 3 ilustra as superfícies obtidas nesse trabalho para as diferentes espécies estudadas,

demonstrando aumento na quantidade de picos à medida que foi elevada a velocidade de avanço.

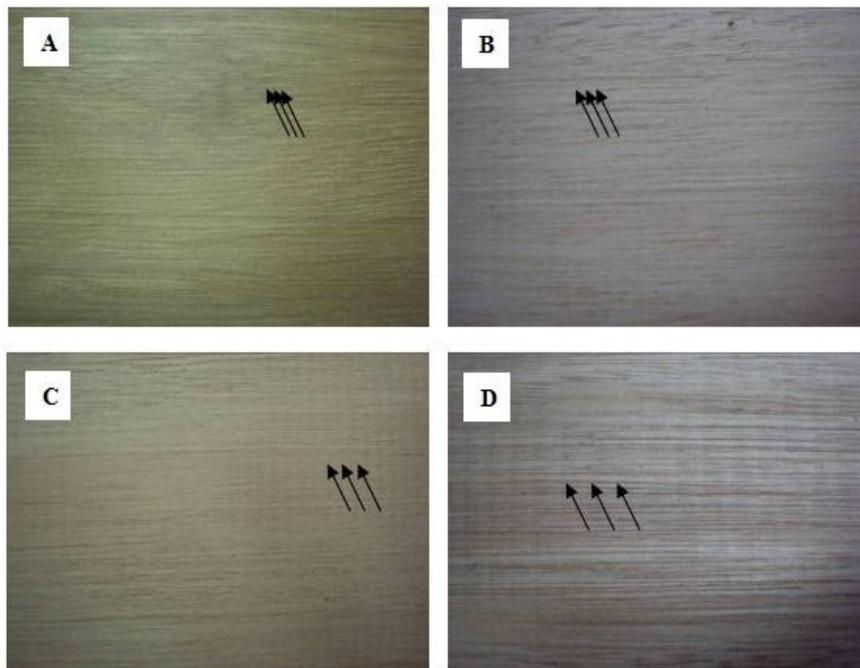


Figura 3. Superfície aplainada e qualificada como excelente, boa, regular e ruim (ASTM D-1666-87) em que A, B, C, D representam as notas 1, 2, 3 e 4 nas velocidades de avanço de 6, 11, 13 e 24 $m \cdot min^{-1}$ respectivamente.

Figure 3. Planed surface and qualified as excellent, good, regular and bad (ASTM D-1666-87), A, B, C, D represents the notes 1, 2, 3 and 4 in the progress speeds of 6, 11, 13 and 24 $m \cdot min^{-1}$ respectively.

O percentual de corpos-de-prova classificados por notas (ASTM D-1666-87, 1995), para as quatro espécies de eucalipto (Tabela 4) mostrou que a espécie *E. pellita* não apresentou amostras classificadas como “muito ruim” (Nota 5) e que também, as espécies *E. urophylla* e *Corymbia citriodora* apresentaram comportamento satisfatórios entre “excelente” e “bom” (Notas 1 e 2). As amostras que receberam Notas 1 e 2 indicam resultados que descartam ou recomendam em pouca intensidade, a necessidade de processos adicionais após a usinagem para obtenção de melhores acabamentos. No entanto, o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* não obteve peças classificadas como excelente (Nota 1). A maioria dos corpos-de-prova do híbrido foram considerados “regulares” (Nota 4), resultados esses, que direcionariam as peças para processos como um segundo aplainamento ou lixamento. Esses resultados podem ser atribuídos a grande presença de grãos irregulares presentes nas árvores abatidas. Segundo Burger e Richter (1991) não se conhece ao certo qual a origem do fenômeno de grãos irregulares, a razão mais provável para este fenômeno envolve a formação e

arranjo dos elementos anatômicos visando atender com eficiência o processo de transpiração e distribuição da água pela copa das árvores. Além disso, segundo os mesmos autores outros fatores como a ação do vento, o desenvolvimento da copa, o movimento solar, a rotação da terra, a deposição irregular de nutrientes no solo, entre outros, que podem interferir na formação da grã.

Tabela 4. Porcentuais de corpos-de-prova classificados, segundo a ASTM 1666-87 (1994), para as espécies aplainadas com diferentes velocidades de avanço.

Table 4. Percentage of classified specimens, according to ASTM 1666-87 (1994), for the species planed with different progress speeds.

Percentual dos corpos-de-prova classificados (%)				
Espécie	Excelente	Bom	Regular	Ruim
<i>Eucalyptus pellita</i>	48,9	46,6	4,5	0
<i>Eucalyptus urophylla</i>	37,0	43,7	19,3	0
<i>Corymbia citriodora</i>	35,9	48,7	15,4	0
<i>E. grandis x E urophylla</i>	0	31,1	48,9	20,0

Considerando as porcentagens de peças aplainadas classificadas entre “excelente” e “bom” (Figura 3a e 3b) ressalta-se a possibilidade do uso na fabricação de móveis e esquadrias.

Com relação aos defeitos foi observado com maior frequência a ocorrência de marcas na superfície, levantamento de fibra, arrancamento de cavacos, grã felpuda, arrepimento da superfície e aspereza da superfície. A Figura 4 ilustra alguns desses defeitos no teste de rasgo lateral.



Figura 4. Comparação de defeitos obtidos após teste de rasgo em quatro espécies *Eucalyptus* sp.

Figure 4. Comparison of defects obtained after tear test in four *Eucalyptus* sp species.

3.3 Rugosidade superficial

Os processos de aplainamento no sentido “a favor da grã” (FG) mostraram bons resultados (Tabela 5) no parâmetro de rugosidade analisado.

Tabela 5. Valores médios de Ra para as espécies estudadas.

Table 5. Medium values of Ra for the studied species.

Espécie	Parâmetro Ra nas Velocidades Avaliadas (FG)			
	6 m/min	11 m/min	13 m/min	24 m/min
<i>Eucalyptus pellita</i>	8,44 a	6,32 c	11,20 d	9,26 a
<i>E. grandis x E.urophylla</i>	7,19 b	7,99 b	10,15 d	13,70 ab
<i>Eucalyptus urophylla</i>	8,21 a	7,72 b	10,76 d	14,80 ab
<i>Corymbia citriodora</i>	5,76 c	7,90 b	10,00 d	5,28 c

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, segundo o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Letras minúsculas avaliam as médias da mesma coluna (velocidade de avanço).

Melhores resultados para a rugosidade das amostras foram obtidos com processos de lixamento, embora as operações de aplainamento deixem células de vasos abertas e melhor sensação de lisura, facilitando a penetração de tintas, colas e adesivos, benefícios para situações que necessitem desses processos. Percebeu-se ainda uma tendência de aumento do Ra com a elevação das velocidades de avanço utilizadas. O *Eucalyptus urophylla* obteve, discretamente, resultados superiores de Ra que possivelmente são explicados pela relação densidade x usinagem para a espécie. Madeiras de menor densidade são susceptíveis a maior arrancamento de cavacos e presenças de grãos felpudas que interferem nos resultados da rugosidade e justificam os resultados analisados na Tabela 5.

Burdulu et al. (2005) estudando a rugosidade de superfícies lixadas de *Populus nigra* e *Pinus nigra* encontraram Ra médio de 15,27 μm , parâmetro que comparado ao obtido para todas as velocidades estudadas no sentido FG mostra-se próximo dos obtidos na velocidade de 24m/min deste trabalho. Ressalta-se que as propriedades e características da superfície da madeira lixada diferenciaram-se muito daquelas obtidas nas plainas.

Já Martins et al. (2011) obtiveram Ra de 9,08 e 9,34 para peças de *E. benthamii* preparadas com lixa 60 e plaina, respectivamente. Danos mecânicos podem ser provocados pelo processo de lixamento, como a compressão das paredes das células. As superfícies lixadas são também caracterizadas pela presença de fibras arrancadas e levantadas pela ação abrasiva (MARTINS et al. 2011)

4 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que nas avaliações físicas da madeira das espécies apresentaram densidades aparente e básica consideradas de médias a altas, comparáveis às apresentadas por outras espécies já consolidadas na fabricação de móveis, como *E. grandis* e *E. saligna*.

O híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* avaliado foi o material que apresentou os resultados menos satisfatórios nos ensaios de usinagem, e as amostras da espécie *E. pellita* teve os melhores resultados. Assim, pode-se recomendar o uso da madeira da última espécie para o uso na indústria moveleira.

Notou-se discreto aumento do Ra em relação à elevação da velocidade de avanço no teste de desempenho. Adaptações e adequações no processo de usinagem, ajustes de equipamentos e variáveis, como a velocidade de avanço, estudada neste trabalho, podem interferir significativamente na obtenção de melhores resultados na usinagem de peças de eucalipto.

A partir dos resultados obtidos foi possível concluir que a madeira de eucalipto estudado possui potencial para uso movelaria e que determinadas espécies merecem atenção especial no desenvolvimento de matéria-prima para esse segmento. Em uma escala qualitativa para as espécies e materiais avaliados nesse estudo podemos listar a seguinte ordem, dos resultados mais satisfatórios para os menos satisfatórios: *E. pellita*, *E. urophylla*, *C. citriodora* e híbrido proveniente de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Sugere-se que novos estudos com a usinagem de eucalipto sejam realizados, avaliando novas espécies, idades das árvores, procedência das amostras correlacionando com as variáveis dos processos utilizados nos ensaios, aumentando assim o número de pesquisas envolvendo a trabalhabilidade e usinabilidade desta importante fonte de matéria-prima para a indústria madeireira do Brasil.

5 REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Estruturas de Madeira: NBR 7190**. Rio de Janeiro, ABNT, 1997. 107p.

BURDURLU, E.; USTA, I.; ULUPINAR, M.; AKSU, B.; ERARSLAN, Ç. The effect of the number of blades and grain size of abrasives in planing and sanding on the surface roughness

of European black pine and Lombardy poplar. **Turkish Journal of Agriculture & Forestry**, V. 25, p. 315-321, 2005.

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

CARVALHO, A. M; DA SILVA, B. T.B.; LATORRACA, J. V. de F. Avaliação da Usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). **Revista Cerne**, Lavras - MG, v. 16, Suplemento, p. 106-114, 2010.

CHAUHAN, S.S.; WALKER, J. C. F. Variations in acoustic velocity and density with age, and their interrelationships in radiata pine. **Forest Ecology and Management**, p.388-394, 2006;. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2006.04.019>

EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; DELLA LUCIA, R. M.; LOBO, L. M.; SOUZA, M. O. A. Propriedades Físico-Mecânicas de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake no sentido radial e longitudinal. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 01, n. 02, p. 1-19, 2010.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook - Wood as an Engineering Material**. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory; 1999.

GONÇALVES, F. G.; OLIVEIRA, J. T. da S.; DELLA LUCIA, R. M.; SARTÓRIO, R. C. Estudo de algumas propriedades mecânicas da madeira de um híbrido clonal de *E. urophylla* x *E. grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 3, p. 501-509, 2009.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Madeira: **Uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo. p.1-100, 2009.

LUCAS FILHO, F.C. **Análise da usinagem da madeira visando a melhoria de processos em indústrias de móveis**. 2004. 176f. Tese (Doutorado em Gestão do Design e do Produto) - Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MARTINS, S. A.; FERRAZ, J. M.; SANTOS, C. M. T.; DEL MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R. Efeito da usinagem na Rugosidade da superfície da madeira de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v.18, n.2, p.135-143, 2011.

OLIVEIRA, J. T. da S.; TOMAZELLO FILHO, M.; FIEDLER, N. C. Avaliação da retratilidade de sete espécies de *Eucalyptus* sp. **Árvore**, Viçosa-MG, v. 34, n. 05, p.929-936, 2010.

POUBEL, D. da S.; GARCIA, R. A.; LATORRACA, J. V. F.; CARVALHO, A. M. Estrutura anatômica e propriedades físicas de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 18(2) p. 117-126, 2011.

SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – **Estudo Diagnóstico e de Engenharia de Processos**, 1995 B, 102 p.

SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* hill ex. maiden**. 2002. 179f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J. R. M.; MARTINS, M.; OLIVEIRA, G. M. V.; BRAGA, P. P. C. Parâmetros de qualidade da usinagem para determinação dos diferentes usos da madeira de *Eucalyptus* sp. **Revista Cerne**, Lavras, v. 15, p. 75-83, 2009.

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