



CERNE

ISSN: 0104-7760

cerne@dcf.ufla.br

Universidade Federal de Lavras

Brasil

Santos Doubek Lopes, Camila; Nolasco, Adriana Maria; Tomazello Filho, Mário; Tadeu dos Santos  
Dias, Carlos

AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DA MADEIRA DE Eucalyptus sp SUBMETIDA AO  
FRESAMENTO PERIFÉRICO

CERNE, vol. 20, núm. 3, 2014, pp. 471-476

Universidade Federal de Lavras

Lavras, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74432265017>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Camila Santos Doubek Lopes<sup>1</sup>, Adriana Maria Nolasco<sup>2</sup>, Mário Tomazello Filho<sup>2</sup>, Carlos Tadeu dos Santos Dias<sup>2</sup>

## AVALIAÇÃO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL DA MADEIRA DE *Eucalyptus* sp SUBMETIDA AO FRESAMENTO PERIFÉRICO

### Palavras chave:

*E. dunnii*

*E. grandis*

*E. urophylla*

Trabalhabilidade da madeira

Acabamento superficial

### Histórico:

Recebido 19/02/2010

Aceito 10/12/2013

**RESUMO:** Conduziu-se este trabalho, com o objetivo de avaliar a qualidade de superfície usinada da madeira de três espécies de *Eucalyptus* sp, para a produção de produtos madeireiros. Para os ensaios, foram confeccionados e usinados 48 corpos de prova de madeira de cada espécie, nos tratamentos de usinagem em fresadora de eixo vertical, no sentido discordante, em sete velocidades. Na avaliação da qualidade da superfície dos corpos de prova de madeira, utilizou-se o rugosímetro marca Taylor Hobson modelo Surtronic 3+, utilizando o filtro 2CR, com comprimento de amostragem com 0,80  $l_e$  ou  $l_n$  (mm) e  $cut-off$  de 0,80  $l_c$  (mm). Os resultados indicaram que a madeira do *E. urophylla* apresentou a melhor qualidade de superfície com os menores valores de coeficiente de variação; a madeira do *E. grandis* mostrou-se intermediária e a do *E. dunnii* apresentou o pior desempenho e o maior valor de coeficiente de variação. Observou-se, também, que o desempenho dos tratamentos para a madeira das espécies de *Eucalyptus* sp mostrou relação da redução da velocidade de avanço da usinagem com a rugosidade superficial; melhor na de 3-4  $m \cdot min^{-1}$  e pior na de 22  $m \cdot min^{-1}$ . Constatou-se, também, que a qualidade da superfície da madeira usinada relacionou-se com a sua densidade e tipo de grã.

## EVALUATION OF WOOD SURFACE ROUGHNESS OF EUCALYPT SPECIES SUBMITTED TO CUTTERHEAD ROTATION

### Keywords:

*E. dunnii*

*E. grandis*

*E. urophylla*

Wood machinability

Roughness surface

**ABSTRACT:** This work evaluated the quality of roughness surface of 18 years-old *Eucalyptus grandis*, *E. dunnii* and *E. urophylla* trees wood, to produce prepared 48 furniture. For the laboratory essays samples/species were prepared in the machining treatments in milling machine of vertical axis, in the up milling direction, in seven cut speeds (3 to 22  $m \cdot min^{-1}$ ). In the evaluation of the surface quality of the wood samples it was used the surface profiling instrument Taylor Hobson model Surtronic 3+, using the filter 2CR, with sampling length of 0,80  $l_e$  or  $l_n$  (mm) and  $cut-off$  of 0,80  $l_c$  (mm). The results indicated that the *E. urophylla* wood presented the best surface quality and with the smallest values of variation coefficient; the *E. grandis* wood showed intermediate values and *E. dunnii* wood presented the worst performance, as well as the largest value of variation coefficient. It was observed, also, that the treatment effect for the three eucalyptus wood species was related with the machining speed; better in the 3-4  $m \cdot min^{-1}$  and worse in the 22  $m \cdot min^{-1}$ . The surface quality of the machined wood was related to its density, with the eucalyptus species of denser wood presenting the best quality of machined surface.

### Correspondência:

camiladoubek@uel.br

### DOI:

10.1590/0104776020142003875

<sup>1</sup> Universidade Estadual de Londrina - Londrina, Paraná, Brasil

<sup>2</sup> Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Piracicaba, São Paulo, Brasil

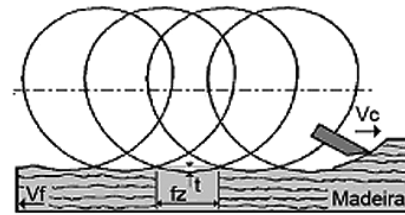
## INTRODUÇÃO

O potencial da madeira das espécies de eucalipto na fabricação de produtos sólidos vem sendo estudado no Brasil há algumas décadas. Nos últimos anos, verifica-se um aumento das pesquisas, visando a indicar as espécies potenciais de eucalipto para a produção de madeira de maior potencial, por meio da determinação das suas características anatômicas, físicas, químicas e mecânicas. Isso se deve, em grande parte, à necessidade de encontrar madeiras de plantações florestais que substituam às das espécies nativas, que apresentam restrições de exploração, escassez e custos elevados de transporte para os centros industriais e de consumo (OLIVEIRA, 1997).

Os estudos sobre a qualidade da superfície usinada, madeira de espécies de *Eucalyptus*, têm sido realizados no Brasil, por diversos autores (SILVA et al., 2005, 2007, 2009; SOUZA et al., 2009) indicando o potencial do gênero para a utilização da madeira para a produção de móveis, para uso sólido e de maior valor agregado. A otimização do processo de usinagem da madeira resulta em vantagens, como a diminuição do custo energético demandado pelas máquinas operatrizes, maior aproveitamento da madeira, aumento da vida útil das ferramentas e da produtividade e redução dos custos de usinagem e do produto final (SILVA, J. C., 2002).

A usinagem da madeira pode ser expressa pela função 5M, que compreende a (i) matéria-prima, relacionada com as propriedades intrínsecas da madeira, como a estrutura anatômica, a umidade e a grã; (ii) máquina, referente aos seus aspectos construtivos, como os dispositivos de fixação, condução e de exaustão dos cavacos; (iii) metodologia, que engloba a definição dos parâmetros de usinagem; (iv) mão de obra, considerando o treinamento dos operadores e o (v) meio ambiente, com as operações evitando a degradação do ambiente, objetivando o melhor aproveitamento da matéria-prima e minimizando os resíduos (BONDUELLE, 2003).

No processo de usinagem da madeira (Figura 1) são produzidas pequenas ondulações na sua superfície da madeira, denominadas de avanço por dente ( $f_z$ ). A medida do avanço por dente é resultado da interação entre a (i) velocidade de avanço ( $V_f$ ) em  $m \cdot min^{-1}$  correspondente ao movimento da peça de madeira e a ferramenta de corte; (ii) número de dentes ( $z$ ) e a (iii) rotação ( $n$ ). O avanço por dente ( $f_z$ ) e a velocidade de avanço ( $V_f$ ) são importantes parâmetros e inversamente proporcionais à qualidade da superfície da madeira, ou seja, quanto menores os valores de  $f_z$  e  $V_f$ , melhor é a qualidade da superfície da peça de madeira. A velocidade de avanço ( $V_f$ ) varia em função do

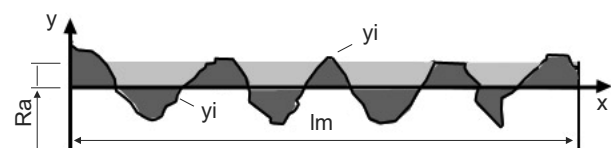


**FIGURA 1** Grandezas de corte em aplainamento cilíndrico na direção discordante, sendo  $f_z$  (avanço por dente),  $V_c$  (velocidade de corte) e  $V_f$  (velocidade de avanço). Adaptado de Weissenstein (2000 apud SILVA, J. C., 2002).

**FIGURE 1** Characteristics of cutterhead rotation:  $f_z$  (feed per tooth),  $V_c$  (cut speed) and  $V_f$  (feedrate). Adap. Weissenstein (2000 apud SILVA, J. C., 2002).

tipo e da densidade da madeira, sendo que as de menor densidade são, normalmente, trabalhadas com uma maior velocidade de corte maior (SILVA et al., 2006).

Existem inúmeras técnicas de avaliação da qualidade da superfície da madeira usinada, como o apalpamento mecânico, ótica paramétrica e não paramétrica, microscopia, emissão acústica, ultrassom, pneumática, avaliação do tipo de cavaco, capacitância, laser, etc. (AGUILERA; MARTIN, 2001; CASTRO, 2000). Na avaliação da qualidade de um perfil bidimensional da superfície da madeira, pode-se utilizar o rugosímetro, aplicado na análise da rugosidade e da superfície de metais, plásticos, etc., medindo a superfície segundo a variação vertical, em um deslocamento horizontal (SILVA et al., 2006). O valor da rugosidade (Figura 2) é função dos parâmetros da expressão matemática entre a variação vertical das superfícies (picos e vales) e o deslocamento horizontal do sensor (agulha), sendo os parâmetros divididos em 3 classes, em função da medida da profundidade da rugosidade, na horizontal e na proporcional (BONDUELLE, 2003).



**FIGURA 2** Representação do parâmetro  $R_a$ ,  $y_i$ : ordenadas de afastamento;  $l_m$ : percurso de medição. Fonte: Castro (2000).

**FIGURE 2** Representation of the parameter  $R_a$ ,  $y_i$ : displacement coordinates;  $l_m$ : reading area. Source: Castro (2000).

Em relação às espécies, verificou-se que a madeira do *E. grandis* apresentou o melhor acabamento de superfície em baixas velocidades de alimentação na

operação de fresagem nos sentidos longitudinal ou paralelo às fibras, de acordo com Silva et al. (2006) que obtiveram melhor qualidade do acabamento superficial nas peças de madeira processadas a  $15 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  em relação à de  $30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  de velocidade de avanço ( $V_f$ ). Da mesma forma, o valor e a heterogeneidade da densidade ao longo da peça de madeira usinada das espécies de *Eucalyptus*, influenciam na rugosidade superficial (AGUILERA; MARTIN, 2001). Ainda, neste aspecto, Silva et al. (2009) atestaram que a redução de qualidade da superfície da peça de madeira está relacionada com a sua estrutura anatômica, pois, além de aumentar o avanço por dente, altas velocidades de avanço provocam maior arrancamento das fibras.

Pelo exposto, neste trabalho, objetivou-se analisar a rugosidade superficial da madeira de *Eucalyptus grandis*, *E. dunnii* e *E. urophylla* fresadas perifericamente em 7 velocidades de avanço nominais.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Espécies de *Eucalyptus* selecionadas

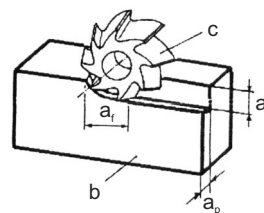
Foram selecionadas 9 árvores de *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. dunnii* (3 árvores/espécie, 18 anos) de plantações florestais da Estação Experimental do Departamento de Ciências Florestais da ESALQ/USP, localizada em Anhembi/SP ( $22^\circ 47'$  lat. S,  $48^\circ 09'$  long. W, 500 m alt., relevo suavemente ondulado e clima CWA).

### Amostragem e preparo dos corpos de prova de madeira

Do tronco das árvores foram cortadas duas toras (4 m de comprimento) e desdobradas em pranchas tangenciais em serra de fita simples. As pranchas de madeira foram mantidas em área coberta e com ventilação natural para a secagem ao ar livre até atingir a umidade de equilíbrio de cerca de 12%. Foram cortados 48 corpos de prova de madeira ( $15 \times 3 \times 115 \text{ cm}$ ; largura, espessura, comprimento) para cada espécie e, em seguida, realizadas 3 medições/corpo de prova com o rugosímetro em um total de 432 medições.

### Fresamento periférico dos corpos de prova de madeira

Aplicou-se o fresamento cilíndrico periférico (Figura 3), compreendendo a usinagem dos corpos de prova de madeira em uma fresadora de eixo vertical (tupia), no sentido discordante, em 7 velocidades de avanço nominais



**FIGURA 3** Fresamento cilíndrico periférico (b: peça de madeira; c: ferramenta de corte;  $a_p$ : largura da usinagem;  $a_e$ : profundidade de corte;  $a_f$ : penetração de avanço. Fonte: Castro (2000).

**FIGURE 3** Milling operation (b: piece of wood; c: cut tool;  $a_p$ : machining width;  $a_e$ : cut deep;  $a_f$ : cut penetration. Source: Castro (2000).

(3, 4, 6, 8, 11, 15 e  $22 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ ). Na usinagem dos corpos de prova de madeira, a fresadora de eixo vertical (tupia moldureira) foi regulada a uma rotação de 3450 rpm, com cabeçote de fresa com faca de aço rápido de diâmetro de 92 mm e largura de 40 mm, com ângulo de ataque ou saída  $\gamma_f = 30^\circ$  e ângulo livre  $\alpha_f = 10^\circ$ , com dispositivo de avanço mecânico. A usinagem da superfície dos corpos de prova de madeira foi realizada no sentido paralelo às fibras ( $90^\circ-0^\circ$ ), com a aresta de corte em um ângulo de  $90^\circ$  com a direção das fibras e a família de corte a  $0^\circ$  com a direção das fibras. Na geração da superfície usinada dos corpos de prova de madeira, o dispositivo de avanço mecânico teve a função de manter a pressão constante e a velocidade pré-definida e assegurar o contato lateral total entre o corpo de prova e a guia anterior.

A rotação do eixo da tupia moldureira foi mensurada com tacômetro manual, com 5 medições na aplicação do cálculo do valor médio de 5.814 rpm. Determinou-se, inicialmente, a velocidade do eixo  $V_c$  ( $\text{m}\cdot\text{seg}^{-1}$ ) da tupia moldureira, por meio da Equação 1, sendo  $d$ : diâmetro da ferramenta de corte (mm) e  $n$ : rotação do eixo da máquina (rpm).

$$V_c = \frac{\pi \times d \times n}{1000 \times 60} \quad (1)$$

O avanço por dente  $f_z$  (mm), ou seja, a transição da peça-obra durante os sucessivos cortes foi expressa pela Equação 2, sendo  $V_f$  = velocidade de avanço ( $\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$ );  $z$  = número de dentes da ferramenta e  $n$  = rotação do fuso (rpm).

$$f_z = \frac{V_f}{z \cdot n} \quad (2)$$

Na operação de fresamento, a avaliação do desgaste da ferramenta de corte e a qualidade superficial são importantes, aplicando como indicador a qualidade do plano usinado, conforme adotado no trabalho.

## Avaliação da rugosidade superficial da madeira

Foi aplicada metodologia utilizada Castro (2000) e Gonçalves (1993), consistindo no apalpamento mecânico pelo rugosímetro Taylor Hobson, modelo Surtronic 3+, com haste de medição com ponta de diamante, de forma cônica-esférica, raio de ponta de 2 e filtro 2CR. O parâmetro determinado foi o  $R_a$  ( $\mu\text{m}$ ), utilizado na medição de superfície nos processos de fabricação de produtos da madeira e de outros materiais, constituído da 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 ( $l_m$ ) (Tabela 1) (GONÇALEZ et al., 2006).

## Análise estatística

Efetou-se, inicialmente, a análise exploratória dos dados de cada velocidade de avanço (teste de homogeneidade de variância *outliers*, escala e tamanho da amostra). Aplicou-se, em seguida, a análise da variância com a comparação das médias dos fatores e a interação das variáveis (teste de Tukey, nível de significância de 0,05), considerando a madeira das 3 espécies de *Eucalyptus* e as 7 diferentes velocidades, em ensaio fatorial 3x7. Os dados foram analisados pelo sistema SAS versão 9.1.3, Service Pack 2, XP Plataform, 2002-2003 SAS Institute Corp. Cary, NC, USA.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da aplicação das 7 velocidades de avanço na qualidade da superfície da madeira usinada (Tabela 2, Figura 4) indicam os menores valores médios de  $R_a$  para a madeira do *E. urophylla*, com

diferença estatística entre as espécies, evidenciando um desempenho notadamente superior da qualidade da superfície. O melhor resultado para a madeira do *E. urophylla* - de maior densidade ( $0,69 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ) - corrobora o reportado por Aguilera e Martin (2001), Castro (2000), McKenzie et al. (2001), Neri et al. (1999) e Silva et al. (2005) dentre outros. Por outro lado, os maiores valores médios de  $R_a$  relacionam-se com o pior desempenho da madeira do *E. dunnii*, de densidade  $0,61 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$  e com as fibras formando a grã caracterizada como reversa. A disposição das fibras em grã reversa na madeira de espécies de *Eucalyptus*, a exemplo do *E. grandis* e do *E. cloeziana*, interfere no processo de usinagem e, dessa forma, afeta a qualidade da superfície da madeira, conforme destacam Castro (2000) e Gonçalves et al. (2006).

Nas velocidades de avanço de 3, 8 e 11  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  não foram verificadas diferenças significativas na qualidade da superfície da madeira usinada das 3 espécies de *Eucalyptus*, com desempenho similar na velocidade de 11  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ . Para o *E. dunnii*, os maiores  $R_a$  (pior desempenho de qualidade da superfície) foram obtidos a 3 e 8  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ; para o *E. grandis*, os menores  $R_a$  (melhor qualidade da superfície) a 3 e 11  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  e para o *E. urophylla*, o menor e maior  $R_a$  (melhor e pior qualidade da superfície) a 8 e 11  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ , respectivamente.

No entanto, foram verificadas diferenças na qualidade da superfície da madeira usinada das 3 espécies de *Eucalyptus* nas velocidades de avanço de 4, 6, 15 e 22  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ . A madeira do *E. dunnii* mostrou o  $R_a$  mais elevado a 4,0 e 6,0  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$  diferindo estatisticamente das 2 espécies; para o *E. grandis* o  $R_a$  mais alto foi de 15 e 22  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ; para o *E. urophylla*, o menor  $R_a$  foi a 4, 6, 15 e 22  $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ , sendo similar ao do *E. grandis*.

Ainda, em termos médios, para a madeira das três espécies de *Eucalyptus*, as menores velocidades

**TABELA 1** Parâmetros de velocidade do alimentador utilizados na rotação de 5.814 rpm.

**TABLE 1** Applied parameters for rotation of 5.814 rpm.

| Velocidade alimentador<br>$V_c$ ( $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ) | Velocidade efetiva<br>$V_f$ ( $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ ) | Avanço por dente<br>$f_z$ (mm) | Comprimento de amostragem<br>$l_e$ ou $l_n$ (mm) | Percurso de medição<br>$l_m$ (mm) | Cut-off<br>$\lambda_c$ (mm) |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 3                                                                  | 2,53                                                           | 0,43                           | 0,80                                             | 4                                 | 0,80                        |
| 4                                                                  | 3,53                                                           | 0,61                           | 0,80                                             | 4                                 | 0,80                        |
| 6                                                                  | 5,53                                                           | 0,95                           | 0,80                                             | 4                                 | 0,80                        |
| 8                                                                  | 7,53                                                           | 1,29                           | 0,80                                             | 4                                 | 0,80                        |
| 11                                                                 | 10,53                                                          | 1,81                           | 0,80                                             | 4                                 | 0,80                        |
| 15                                                                 | 14,53                                                          | 2,5                            | 0,80                                             | 4                                 | 0,80                        |
| 22                                                                 | 21,53                                                          | 3,7                            | 0,80                                             | 4                                 | 0,80                        |

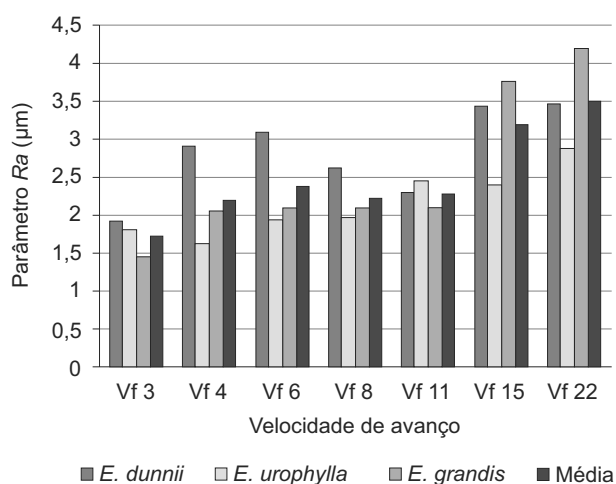
**TABELA 2** Valores médios de densidade básica e de *Ra* para as 7 velocidades de avanço *Vf* para a madeira de *Eucalyptus dunnei*, *E. urophylla* e *E. grandis*

**TABLE 2** Average values of basic density and *Ra* for the 7 forward velocities *Vf* for *Eucalyptus dunnei*, *E. urophylla* and *E. grandis* wood.

| Velocidade<br>(m·min <sup>-1</sup> )      | Valores médios de <i>Ra</i> (μm) |                     |                   |       |
|-------------------------------------------|----------------------------------|---------------------|-------------------|-------|
|                                           | <i>E. dunnei</i>                 | <i>E. urophylla</i> | <i>E. grandis</i> | Média |
| Densidade básica<br>(g·cm <sup>-3</sup> ) | 0,61                             | 0,69                | 0,58              | -     |
| <i>Vf</i> 3                               | 1,92                             | 1,80                | 1,44              | 1,72  |
| Tukey                                     | Ab                               | Ab                  | Ab                | c     |
| CV(%)                                     | 27,21                            | 21,22               | 24,01             | 24,15 |
| <i>Vf</i> 4                               | 2,90                             | 1,61                | 2,04              | 2,19  |
| Tukey                                     | Aa                               | BB                  | Bb                | b     |
| CV(%)                                     | 27,41                            | 27,25               | 26,96             | 27,20 |
| <i>Vf</i> 6                               | 3,09                             | 1,93                | 2,08              | 2,37  |
| Tukey                                     | Aa                               | BB                  | Bb                | b     |
| CV(%)                                     | 26,76                            | 24,52               | 25,17             | 25,48 |
| <i>Vf</i> 8                               | 2,61                             | 1,96                | 2,09              | 2,22  |
| Tukey                                     | Aab                              | Ab                  | Ab                | b     |
| CV(%)                                     | 28,96                            | 22,20               | 28,67             | 26,61 |
| <i>Vf</i> 11                              | 2,29                             | 2,45                | 2,08              | 2,27  |
| Tukey                                     | Ab                               | AA                  | Ab                | b     |
| CV(%)                                     | 25,11                            | 35,26               | 36,34             | 32,24 |
| <i>Vf</i> 15                              | 3,43                             | 2,38                | 3,76              | 3,19  |
| Tukey                                     | Aa                               | Bab                 | Aa                | a     |
| CV(%)                                     | 34,79                            | 23,35               | 29,82             | 29,32 |
| <i>Vf</i> 22                              | 3,46                             | 2,87                | 4,19              | 3,50  |
| Tukey                                     | Aba                              | BA                  | Aa                | a     |
| CV(%)                                     | 29,30                            | 23,05               | 23,30             | -     |
| Média geral                               | 2,81                             | 2,14                | 2,53              | -     |
| Tukey                                     | A                                | C                   | B                 | -     |
| CV (%) médio                              | 27,75                            | 28,50               | 25,26             | -     |

Médias seguidas da mesma letra - maiúscula na linha e minúscula na coluna - não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, com significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

de avanço promoveram os menores valores de *Ra*, indicando a melhor qualidade da superfície da madeira, com a rotação e o número de dentes da ferramenta mantidos constantes. A tendência de aumento dos valores de *Ra* com o da velocidade de avanço é concordante com a literatura (BONDUELLE, 2003; CASTRO, 2000; GONÇALVES, 2003), constatando-se que a altura dos picos produzidos pela ferramenta aumenta exponencialmente com o avanço por dente (*fz*)



**FIGURA 4** Valores médios de *Ra* para cada velocidade de avanço e média geral para a madeira de *E. dunnei*, *E. urophylla* e *E. grandis*.

**FIGURE 4** Average values of *Ra* for each forward velocity for *E. dunnei*, *E. urophylla* and *E. grandis* wood.

ou com a velocidade de avanço (*Vf*). Para a madeira do *E. grandis* e do *Corymbia citriodora*, as médias totais de *Ra* por *Vf* resultaram em significativa melhoria da rugosidade superficial das peças, proporcional à diminuição da *Vf* (GONÇALVES, 2003).

A madeira do *E. dunnei* apresentou valores de Coeficiente de Variação mais altos para todas as velocidades de avanço, exceto a 11,0 m·min<sup>-1</sup>, indicando maior heterogeneidade das suas características, não recomendado no processo industrial. Os menores e maiores valores de CV foram obtidos na menor velocidade e a 11 m·min<sup>-1</sup>, embora, sem diferença para as médias da madeira das três espécies de *Eucalyptus*.

O lasqueamento, arrancamento e o arrepiamento das fibras na superfície da madeira usinada foram os principais defeitos observados nos ensaios laboratoriais. A madeira das espécies de *Eucalyptus* de menor densidade básica possui, normalmente, sua estrutura anatômica caracterizada por células de parede fina, de maior largura e diâmetro do lume e maior porcentagem de parênquima, que são danificadas por arrancamento na usinagem, resultando em rugosidade superficial grosseira e de baixa qualidade do acabamento (CASTRO, 2000; SILVA, J. R., 2002). Por outro lado, as espécies de madeira de maior densidade apresentam menor valor de rugosidade superficial, pela relação da densidade/resistência mecânica e pela dificuldade de penetração dos dentes do equipamento, influenciando no esforço de corte e acabamento final da superfície da madeira (AGUILERA; MARTIN, 2001; CASTRO, 2000; MCKENZIE et al., 2001; NÉRI et al., 1999).



## CONCLUSÕES

Os resultados da avaliação da qualidade da superfície usinada da madeira das três espécies de *Eucalyptus* permitem concluir que: a qualidade da superfície da madeira usinada do *E. urophylla*, de maior densidade básica, foi superior com o aumento do avanço por dente ( $f_z$ ) e pela velocidade de avanço ( $V_f$ ); os melhores resultados da qualidade da superfície da madeira usinada, indicam a espécie para a utilização em movelaria e na indústria de produtos de maior valor agregado; a madeira do *E. dunni*, de menor densidade básica e fibras dispostas em grã reversa, apresentou o pior desempenho de qualidade da superfície usinada, mesmo com o aumento do avanço por dente ( $f_z$ ) e da velocidade de avanço ( $V_f$ ); a madeira do *E. grandis* apresentou desempenho intermediário de qualidade da superfície usinada, mostrando visível melhoria com o aumento do avanço por dente ( $f_z$ ) e da velocidade de avanço ( $V_f$ ); e pelo valor médio obtido para a madeira das três espécies de *Eucalyptus*, verifica-se que a rugosidade superficial variou com o aumento do avanço por dente ( $f_z$ ), da velocidade de avanço ( $V_f$ ) e com a densidade básica e o tipo de grã da madeira.

## REFERÊNCIAS

- AGUILERA, A.; MARTIN, P. Machining qualification of solid wood of *Fagus sylvatica* and *Picea excelsa*: cutting forces, power requirements and surface roughness. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 59, n. 6, p. 483-488, Dec. 2001.
- BONDUELLE, A. **Processamento mecânico da madeira**. Curitiba: UFPR, 2003.
- CASTRO, E. M. **Estudo da usinabilidade de chapas de MDF para usinagem de desbaste e acabamento**. 2000. 122 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia dos Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.
- GONÇALEZ, J. C.; BREDÁ, L. C. S.; BARROS, J. F. M.; MACEDO, D. G.; JANIN, G.; COSTA, A. F.; VALE, A. T. Características tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis* e *E. cloeziana* visando ao seu aproveitamento na indústria moveleira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 3, p. 329-341, dez. 2006.
- GONÇALVES, M. T. T. **Proposta de metodologia para medição dos esforços de cortes na usinagem da madeira**. 1993. 148 p. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.
- MCKENZIE, W. M.; CVITKOVIC, K. R.; RINGLER, M. Towards a model predicting cutting forces and surfaces quality in routing layered boards. **Wood Science and Technology**, Berlin, v. 35, p. 563-569, June 2001.
- NERI, A. C.; GONÇALVES, R.; HERNANDEZ, R. E. Forças de corte ortogonal 90-0 em três espécies de madeira de *Eucalyptus*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 239-244, 1999.
- OLIVEIRA, J. T. O. **Caracterização da madeira de Eucalyptus para a construção civil**. 1997. 428 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.
- SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de Eucalyptus grandis de diferentes idades, visando sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 160 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Produtos Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do Eucalyptus grandis**. 2002. 178 p. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- 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.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F. Usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* em diferentes regiões da medula à casca. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 25-31, jan./mar. 2007.
- SILVA, J. R. M.; MARTINS, M.; OLIVEIRA, G. M. V.; BRAGA, P. P. C. Parâmetros de qualidade da usinagem para a determinação dos diferentes usos da madeira de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p. 75-83, jan./mar. 2009.
- SILVA, J. R. M.; MUÑIZ, G. I. B.; LIMA, J. T.; BONDUELLE, A. F. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 479-487, jun. 2005.
- SOUZA, M. O. A.; SILVA, J. C.; LUCIA, R. M. D.; EVANGELISTA, W. V. Avaliação da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus urophylla* em ensaios de usinagem, visando à produção moveleira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 33, n. 4, p. 751-758, 2009.