

INTERAÇÃO DA LUZ LASER PARA A AVALIAÇÃO DA TEXTURA DE MADEIRAS NATIVAS E DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

LASER LIGHT INTERACTION FOR TEXTURE EVALUATION OF NATIVE WOODS AND *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden

Mara Rubia Silva¹ Fábio Akira Mori² Giovanni Francisco Rabelo³ Roberto Alves Braga Jr.³

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo estudar padrões do “speckle” em função da textura das madeiras *Bowdichia virgilioides* (sucupira), *Swietenia macrophylla* (mogno) e *Balfourodendron riedeliaum* (pau-marfim) e de *Eucalyptus grandis*. A análise do fenômeno ótico denominado “speckle”, aliada a técnicas de tratamento digital de imagens foi utilizada para avaliação de rugosidade e teve como parâmetro de comparação o método microscópico tradicional. Foi utilizada uma fonte de luz laser de He-Ne 10mW para iluminar as amostras de madeira para produção do “speckle” e o resultado da interação da luz laser com a madeira foi capturado por uma câmera digital tipo CCD. As imagens capturadas contêm informações de variação espacial de intensidade luminosa de cada pixel do “speckle”, e variando entre 0 e 255 em tons de cinza. Uma área central de 16 x 16 *pixels* dessa imagem foi selecionada e analisada pela aplicação da função de convolução e da Transformada de Fourier, resultando na densidade espectral da variação espacial de intensidades da imagem. Os resultados mostraram que as informações obtidas pela densidade espectral permitiram classificar amostras de madeiras com rugosidades diferentes.

Palavras-chave: “speckle”; luz laser; textura de madeira.

ABSTRACT

This work had the objective of study in patterns of the “speckle” as function of the wood texture of *Bowdichia virgilioides* (sucupira), *Swietenia macrophylla* (mogno), *Balfourodendron riedelianum* (pau-marfim) and *Eucalyptus grandis* wood. The He-Ne laser 10 mW was used to illuminate the wood samples and a digital camera captured the result of the interaction of the wood with the laser light. The results obtained from image analysis were compared with the pattern obtained by microscopic methodology. The captured images show the intensities of each pixel, varying between 0 and 255 in the gray scale. From the images, a central area of 16x16 pixels was removed and analyzed by the application of the convolution function and its Fourier Transform, resulting in the power density spectrum. The results showed that the information obtained by the power density spectrum of the “speckle” space variation allow classing samples of woods with different texture.

Key words: “speckle”; laser light; wood texture.

INTRODUÇÃO

A identificação da textura da madeira é um parâmetro importante para o acabamento superficial, no que diz respeito à aplicação de vernizes e adesivo. A competitividade de mercado impulsiona a indústria de móveis a buscar alternativas para redução do custo de produção e melhoria da qualidade, assim como ocorre em outros setores da economia. A qualidade desse tipo de produto se refere à durabilidade e aparência das superfícies de acabamento, o que é dependente, entre outros fatores, da textura.

A textura é definida como o caráter que se refere às dimensões, distribuição e abundância relativa dos elementos constituintes do xilema secundário, observados no plano transversal, considerando também a frequência de vasos e a quantidade e distribuição de células parenquimáticas. Ela é classificada em três tipos: fina, média e grosseira. Na textura fina, os poros se apresentam com diâmetro tangencial inferior a 100 micrômetros, e o parênquima é invisível a olho nu e/ou escasso; na textura média, o parênquima pode ser

1. Engenheira Agrícola, graduada pela Universidade Federal de Lavras, Bolsista CNPq, Rua Raul Soares 553, CEP 38140-000, Prata (MG). mrsagricola@hotmail.com / mrsagricola@yahoo.com.br

2. Professor, Dr., Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, CEP 37200-000, Lavras (MG). morif@ufla.br

3. Professor, Dr., Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, CEP: 37200-000, Lavras (MG). giovannirabelo@hotmail.com / robbraga@ufla.br

visível ou não a olho nu, entretanto os poros se apresentam maiores, com diâmetro tangencial de 100 a 300 micrômetros; a textura grossa, por sua vez, apresenta poros com diâmetros maiores do que 300 micrômetros, entretanto, madeiras com raios muito largos ou extremamente largos e parênquimas muito abundantes são referidas como tendo textura grossa, mesmo quando os diâmetros dos vasos são inferiores a 300 micrômetros (IAWA, 1989).

Para a indústria de acabamento de madeiras, a textura grossa representa um gasto adicional com os polímeros e com materiais para colagem sendo muito importante à avaliação desta antes do preparo de cobertura, para se alcançar um melhor preparo ou mesmo se definir a escolha de determinadas espécies.

Os métodos utilizados para avaliação da superfície de acabamento são baseados em avaliações microscópicas, segundo normas específicas em anatomia de madeira, ou simplesmente de forma subjetiva pelos profissionais que utilizam madeiras.

Métodos, que empregam visão artificial, também referido na literatura como "machine vision", e processamento de imagens, podem apresentar um grande potencial de aplicabilidade nesse tipo de descrição. Já foram desenvolvidos alguns trabalhos sobre a análise macroscópica de madeira. Beraldo e Zullo Jr. (1996) trabalharam com o estudo anatômico macroscópico de madeiras comerciais pela análise de imagens obtidas em scanner. Entretanto, trabalhos nesse sentido têm utilizado a luz branca na iluminação dos espécimes.

De acordo com Rabelo (2000), ao se utilizar a luz laser como fonte de iluminação, consegue-se mais informações sobre o material sob estudo. A luz laser interage com as partes constituintes da matéria de várias formas, resultando em fenômenos diversos como, por exemplo, refração, difração, reflexão especular e reflexão difusa, além da dispersão de Mie e Rayleigh. Em materiais como vidro, plástico e tecidos vegetais, dielétricos, poucos elétrons de cada átomo têm relevância nos fenômenos ópticos. Esses elétrons são denominados elétrons ópticos.

Hecht (1987) afirma que o campo elétrico oscilante da luz, que ilumina esse tipo de material, força os elétrons ópticos a vibrarem em uma frequência próxima à frequência da luz incidente. Esses elétrons excitados emitem luz, em outras palavras, pode-se dizer que absorvem a luz que vem em uma determinada direção e a re-emitem em direções que não são necessariamente a mesma direção de incidência. Esse fenômeno de absorção, seguida pela irradiação é denominado "scattering", o que significa espalhamento ou dispersão. A reflexão da luz é provocada por um grande número de centros de dispersão, próximos entre si, em comparação com o comprimento de onda da luz incidente, assim como ocorre com a refração.

Considerando o material biológico, o tamanho das células, dos vacúolos e dos espaços entre as células é um pouco maior do que o comprimento de onda de um laser de He-Ne. De acordo com Bergkvist (1997), por causa do tamanho dessas partes constituintes da célula vegetal, elas participam em dispersão de Mie, enquanto que as demais, que são menores que o comprimento de onda do laser de He-Ne participam em dispersão de Rayleigh.

A luz laser, ao incidir em um material, sofre interferências de raios que se interceptam construtivamente e destrutivamente, formando uma figura constituída por pontos brilhantes, pontos escuros e pontos que apresentam nuances distintas de intensidade luminosa, quando o material iluminado exibe algum tipo de irregularidade superficial, esse fenômeno é conhecido como "speckle".

De acordo com Rabelo (2000), quando o "speckle" é formado por luz espalhada por partículas que se movem, este é modulado por esse movimento. Isso produz uma variação no padrão temporal do "speckle" de forma complexa e de difícil modelagem. Quando a luz penetra em um material, ela é espalhada em todas as direções possíveis antes de retornar à superfície, o que torna impossível reconhecer e estudar isoladamente cada partícula que espalha a luz. Para essa aplicação, as dimensões de interesse do "speckle" são o tamanho de cada grão bem como sua intensidade luminosa. De acordo com Bergkvist (1997), o tamanho do grão de um "speckle" estacionário corresponde ao diâmetro do "spot" luminoso circular de alta irradiância conhecido como disco de Airy, dado por:

$$d = 2,44 \left(\frac{\lambda \cdot z}{D} \right) \quad (1)$$

Em que: d = diâmetro do “speckle”; λ = comprimento de onda; z = distância do observador; D = diâmetro da área iluminada;

Briers (1993), apud Rabelo (2000) afirma que o padrão de “speckle” observado é resultante da superposição de dois diferentes padrões, sendo estes, os “speckles” grandes, provenientes do espalhamento superficial os quais são fortemente dependentes do ângulo de incidência e são modulados por “speckles” pequenos, produzidos pela luz que vem do interior do material, os quais apresentam uma dependência muito fraca do ângulo de incidência. Para se obter algum tipo de informação a respeito do material, é necessário descrever a variação do padrão do “speckle”, o que só é possível mediante tratamento estatístico, pois a distribuição do “speckle” é aleatória. Para esse tipo de tratamento, são utilizadas as funções autocorrelação (ou de autocovariância) e sua Transformada de Fourier, a densidade espectral. De acordo com Rabelo (2000), do ponto de vista matemático, essas funções são equivalentes, uma vez que constituem pares de Transformadas de Fourier. A função autocorrelação temporal $\phi_{11}(\tau)$ é definida de acordo com a equação (2), na qual se observa que ela nada mais é do que a convolução matemática de $f_1(t)$ com ela mesma.

$$\phi_{11}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T f_1(t) f_1(t + \tau) dt \quad (2)$$

Em que: $\phi_{11}(\tau)$ = função autocorrelação temporal; t = tempo; τ = deslocamento temporal (“lag”); $f_1(t)$ = função intensidade luminosa de um pixel.

Para um processo aleatório, a autocorrelação ou convolução decai e tende a zero conforme τ vai aumentando, porque os eventos diminuem sua correlação quando são separados no tempo. A Transformada de Fourier da convolução é, então, a densidade espectral como representado pelos pares da Transformada nas equações (3) e (4).

$$\phi_{11}(\tau) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} S_{11}(\omega) e^{j\omega\tau} d\omega \quad (3)$$

$$S_{11}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} \phi_{11}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau \quad (4)$$

Em que: $\phi_{11}(\tau)$ = função autocorrelação (domínio do tempo - t); $S_{11}(\omega)$ = função densidade espectral (domínio da frequência).

Com isso, este trabalho tem como objetivo avaliar padrões do “speckle” em função da textura da madeira de três espécies nativas: *Bowdichia virgilioides* (sucupira), *Swietenia macrophylla* (mogno) e *Balfourodendron riedelianum* (pau-marfim) e também de uma espécie de eucalipto: *Eucalyptus grandis*, utilizando processos de tratamento de imagens, como parâmetro de comparação com o método de avaliações microscópicas.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Tecnologia e Anatomia da Madeira do Departamento de Ciências Florestais e no Laboratório de Laser e Óptica do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. O trabalho foi dividido em duas etapas principais, uma visando à caracterização da textura das três madeiras nativas e a outra, visando à caracterização da textura da madeira de *Eucalyptus grandis*.

Na primeira etapa, os experimentos foram realizados com as três madeiras nativas, sendo iluminadas nove amostras (repetições) de cada espécie: *Bowdichia virgilioides* (sucupira), *Swietenia macrophylla* (mogno) e *Balfourodendron riedelianum* (pau-marfim). As amostras apresentavam dimensões de 1x1x1cm, e estas foram submetidas a dois tratamentos referentes ao sentido de corte, sendo um corte tangencial e o outro o corte transversal.

As imagens do “speckle” foram capturadas por uma câmara digital e transformadas em tons de cinza. Foi selecionada uma área central de dimensões (16x16 pixels) que foi submetida aos processos de tratamento

de imagens. A densidade espectral foi considerada como parâmetro de comparação com a textura equivalente espécies classificadas segundo a Norma de Procedimento em Estudos de Anatomia da Madeira (IBAMA, 1992 e IAWA, 1989). Como as três espécies nativas já possuíam uma classificação segundo normas, baseou-se sua classificação nas fichas de identificação de madeiras, não sendo necessário se fazer novas lâminas histológicas para a sua classificação.

Na segunda etapa, foi realizado um experimento com a madeira de *Eucalyptus grandis*, em que as amostras para a realização foram cedidas por uma empresa de produção florestal que enviou oito discos cortados no DAP (diâmetro à altura do peito) de cada árvore, de um clone plantado em março de 1980.

Como a madeira de *Eucalyptus grandis* não possuía ficha de avaliação microscópica de textura, foram retiradas lâminas histológicas para essa avaliação, o que foi realizado no Laboratório de Tecnologia e Anatomia da Madeira da UFLA onde foram retiradas três amostras de cada disco entre o cerne e alburno, de dimensão de 1,5x1,0x1,0 cm. Essas amostras foram fervidas em solução de 2:1 de água e glicerina por 2 horas; em seguida, foram cortadas no micrótomo de deslizamento com navalha de aço tipo C, para a retirada dos cortes e confecção das lâminas histológicas a serem observadas ao microscópio ótico. Foram confeccionadas 24 lâminas compostas por três cortes (transversal, tangencial e radial). As lâminas histológicas foram utilizadas para a classificação da textura, segundo a norma IAWA (1989) e IBAMA (1992), com base na descrição microscópica de madeiras, feita para os cortes transversal e tangencial, determinando-se as dimensões dos poros e raios da madeira em questão. A Figura 1 e 2 apresentam uma fotografia da superfície dos dois cortes, respectivamente transversal, e tangencial.

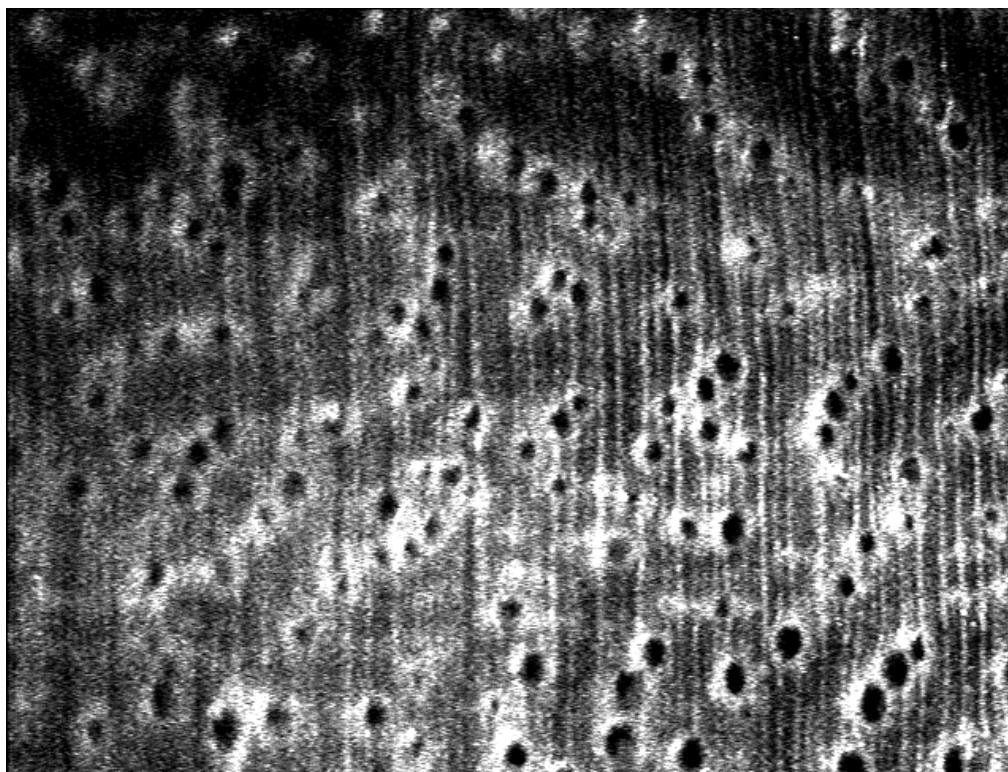


FIGURA 1: Imagem do plano transversal.

FIGURE 1: Image of the transverse plane.

As amostras, após a retirada dos cortes, foram secas à temperatura ambiente, para depois, serem iluminadas com a fonte de luz lasers He-Ne. A Figura 3 ilustra a configuração experimental dos ensaios de iluminação laser.

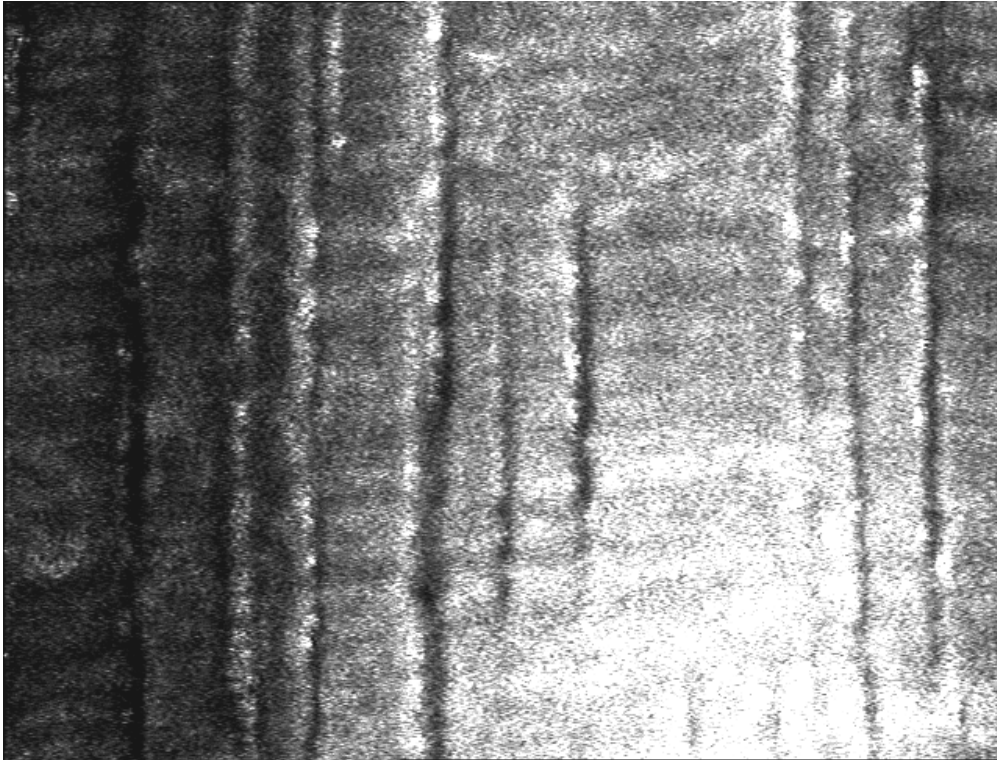


FIGURA 2: Imagem do plano tangencial.
FIGURE 2: Image of the tangential plane.

Os dois cortes foram iluminados no Laboratório de Laser e Óptica. A análise das imagens foi feita por meio do aplicativo matemático MATLAB, em que se analisou uma área de (16 x 16 pixels), gerando 256 intensidades. A análise matemática se baseou em calcular a densidade espectral na área selecionada.

Os valores da densidade espectral foram submetidos à análise de variância e ao teste de média de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Não foram comparados os valores de densidade espectral da madeira plantada (*Eucalyptus grandis*) com as espécies nativas, pois os procedimentos de preparo das amostras não foram totalmente semelhantes como, por exemplo, no preparo da superfície a ser iluminada das madeiras nativas utilizou-se lixas, e, para a madeira de *Eucalyptus grandis*, os espécimes foram cortados no micrótomo de deslizamento com navalha (tipo C).

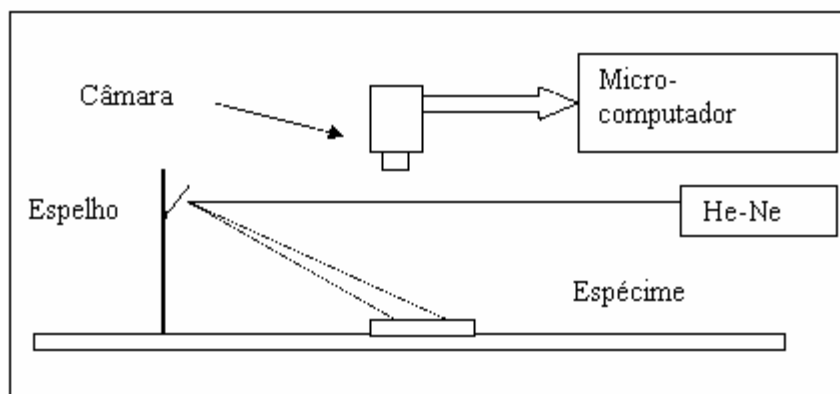


FIGURA 3: Configuração experimental da iluminação.
FIGURE 3: Setup of the illumination.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A textura das três espécies nativas: *Bowdichia virgilioides* (sucupira), *Swietenia macrophylla* (mogno) e *Balfourodendron riedelianum* (pau-marfim) foram classificadas da seguinte forma:

Espécie *Bowdichia virgilioides* (sucupira) – textura grosseira, pois apresenta poros com diâmetro maiores do que 300 micrômetros.

Espécie *Swietenia macrophylla* (mogno) – textura média, pois o parênquima podia ser visível a olho nu, entretanto os poros se apresentam maiores, com diâmetro tangencial de 100 a 300 micrômetros.

Espécie *Balfourodendron riedelianum* (pau-marfim) – textura fina, pois os poros se apresentam com diâmetro tangencial inferior a 100 micrômetros, e o parênquima não era visível a olho nu. Os valores médios obtidos da densidade espectral após o processamento das imagens são apresentados na Tabela 1 por espécie.

TABELA 1: Valores médios da função densidade espectral do padrão de “speckle” das madeiras nativas.

TABLE 1: Mean values of the spectral density function of the “speckle” pattern in native woods.

Espécies	Repetição	Corte tangencial	Corte transversal
<i>Bowdichia virgilioides</i>	1	0,33870	0,18480
	2	0,49090	0,18665
	3	0,44575	0,20500
	4	0,36510	0,18395
	5	0,44510	0,23335
	6	0,46965	0,16890
	7	0,39500	0,17120
	8	0,42915	0,20220
	9	0,42495	0,15900
<i>Swietenia macrophylla</i>	1	0,35715	0,24870
	2	0,27535	0,34875
	3	0,27030	0,27900
	4	0,27430	0,32885
	5	0,28425	0,28290
	6	0,37660	0,25565
	7	0,30075	0,34280
	8	0,27075	0,18290
	9	0,36150	0,44500
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	1	0,40975	0,30355
	2	0,43675	0,45245
	3	0,44985	0,36390
	4	0,42545	0,36835
	5	0,48675	0,30820
	6	0,47065	0,29585
	7	0,48040	0,32150
	8	0,47825	0,33515
	9	0,38995	0,34575

Com base nos resultados médios para a densidade espectral apresentados na Tabela 1, buscou-se analisar diferenças, por meio da análise de variância para as espécies e para os dois tipos de cortes a que os espécimes foram submetidos. A Tabela 2 apresenta o resultado da análise de variância dos valores médios da função densidade espectral do padrão “speckle” das madeiras nativas. Como se observa, os valores médios apresentaram diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade para espécies e cortes.

Na Tabela 3, pode-se observar que as médias pelo teste de Tukey para a espécie *Balfourodendron riedelianum* (pau-marfim), diferencia-se estatisticamente das outras duas espécies *Swietenia macrophylla* (mogno) e *Bowdichia virgilioides* (sucupira).

A Tabela 4 apresenta os valores médios da densidade espectral pelo teste de Tukey dos dois cortes

(transversal e tangencial), em que se pode observar que há diferença significativa entre os cortes iluminados.

TABELA 2: Análise de variância entre espécies e cortes dos valores médios da função densidade das madeiras nativas.

TABLE 2: Variance analysis between species and sections of the medium values of the density function in native woods.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Espécies	2	0,098409	0,049205	10,708	0,0001
Cortes	1	0,177802	0,177802	38,695	0,0000
Erro	50	0,229746	0,004595		
Total corrigido	53	0,505958			

Coeficiente de Variação = 20,22%; Média geral = 0,3353241.

TABELA 3: Valores médios entre espécies da função densidade espectral das madeiras nativas.

TABLE 3: Mean values among species of the spectral density function in native woods.

Espécies	Valores médios
<i>Swietenia macrophylla</i> (mogno)	0,304750 a1
<i>Bowdichia virgilioides</i> (sucupira)	0,305528 a1
<i>Balfourodendron riedelianum</i> (pau-marfim)	0,395694 a2

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 4: Valores médios entre cortes da função densidade espectral das madeiras nativas.

TABLE 4: Mean values among sections of the spectral density function in native woods.

Cortes	Valores médios
Transversal	0,277943 a1
Tangencial	0,392706 a2

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A madeira de eucalipto, espécie *Eucalyptus grandis*, enquadra-se na classe de 100 a 200 μm para o diâmetro tangencial do lúme dos vasos, que é classificada como diâmetros médios e a largura dos vasos se enquadra na classe de até 15 μm que é classificada como extremamente finos. O *Eucalyptus grandis* se insere na classe de textura média, em que o parênquima pode ser visível ou não a olho nu, e os poros se apresentam maiores, com diâmetro tangencial de 100 a 300 micrômetros.

Os valores médios da densidade espectral da madeira de *Eucalyptus grandis* são apresentados na Tabela 5.

TABELA 5: Valores médios da função densidade espectral do padrão de “speckle” da madeira de *Eucalyptus grandis*.TABLE 5: Mean values of the spectral density function of the “speckle” pattern in *Eucalyptus grandis* wood.

Espécie	Discos (repetições)	Corte	
		Tangencial	Transversal
<i>Eucalyptus grandis</i>	1	0,64747	0,29732
	2	0,34665	0,35648
	3	0,45545	0,40853
	4	0,47415	0,57037
	5	0,52177	0,49935
	6	0,64088	0,45622
	7	0,61642	0,31405
	8	0,64262	0,65855

TABELA 6: Análise de variância dos valores médios da função densidade espectral do padrão de “speckle” para a madeira de *Eucalyptus grandis*.TABLE 6: Variance analysis of the mean values of the spectral density function of the “speckle” pattern for the *Eucalyptus grandis* wood.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Repetição	7	0,107989	0,015427	1,177	0,4177
Cortes	1	0,038469	0,038469	2,935	0,1304
Erro	7	0,091753	0,013108		
Total corrigido	15	0,238211			

Coefficiente de Variação = 23,17%; Média geral = 0,4941425.

A Análise de Variância para os cortes e as repetições mostrou resultados não-significativos ao nível de 5% significância, o que mostra que não faz diferença em se iluminar o corte transversal ou o corte tangencial.

TABELA 7: Valores médios das repetições da função densidade espectral do padrão de “speckle” da espécie *Eucalyptus grandis*.TABLE 7: Mean values of the repetitions of the spectral density function of the “speckle” pattern in *Eucalyptus grandis* species.

Espécie	Discos (repetições)	Valores Médios da Densidade Espectral
<i>Eucalyptus grandis</i>	1	0,351565 a
	2	0,431990 a
	3	0,465235 a
	4	0,472395 a
	5	0,510560 a
	6	0,522260 a
	7	0,548550 a
	8	0,650585 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 8: Valores médios dos cortes da função densidade espectral do padrão de “speckle” da espécie *eucalyptus grandis*.TABLE 8: Mean values of the sections of the spectral density function of the “speckle” pattern in *Eucalyptus grandis* species.

Cortes	Valores médios
Transversal	0,445109 a
Tangencial	0,543176 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Os resultados das análises estatísticas mostraram que os valores médios da densidade espectral entre as repetições não apresentaram diferença significativa ao nível de 5%, confirmando a hipótese de que quando se trabalha com apenas uma espécie, o resultado esperado é a obtenção de valores próximos de densidade espectral. Isso demonstra que o método do bio”speckle” apresenta alta repetibilidade.

Os resultados da iluminação dos cortes transversal e tangencial também não apresentaram diferença, então, para a madeira de *Eucalyptus grandis*, pode-se iluminar qualquer uns dos cortes.

CONCLUSÃO

A interação da luz laser (“speckle”), como identificador de textura para as três espécies de madeira nativa, mostrou-se eficiente na separação de dois extremos de textura: a textura grossa e a textura fina, representada, respectivamente, pela *Bowdichia virgilioides* (sucupira) e pelo *Balfourodendron riedelianum* (pau-marfim). Para a textura média, o processo proposto de classificação não foi capaz de diferenciar a textura média da textura grossa.

Já a metodologia proposta para análise do “speckle”, como identificador de textura para mesma espécie, a diferença não foi significativa entre as repetições e nem entre os cortes. Portanto, a iluminação pode ser tanto no corte transversal como o corte tangencial para a madeira de *Eucalyptus grandis*.

O que se observa, é que a metodologia permitiu a identificação de um padrão de “speckle” bem coerente para a amostra, podendo ser então um importante passo para a utilização do “speckle” como metodologia para avaliação da textura. Porém, para tanto, são necessárias mais pesquisas para se avaliar o “speckle” em madeiras com texturas diferentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERALDO, A.L.; ZULLO JR.J. **Estudo anatômico macroscópico de madeiras comerciais através da análise de imagens obtidas em scanner**. Bauru : CONBEA, 1996. 1 CD-ROM
- BERALDO, A.L.; TONELI, P.E.Z. **Análise macroscópica de madeiras comerciais por digitalização de imagens**. Fortaleza : CONBEA, 2000.
- BERGKVIST, A. **Bio”speckle”-based study of the line profile of light scattered in strawberries**. 60 p. Thesis - Faculty of Technology at Lund University, 1997.
- BRIERS, J. D. “speckle” fluctuations and biomedical optics: implications and applications. **Optic Engineering**, v. 32, p. 277-283, 1993.
- HECHT, E. **Optics**, 2. ed. USA : Adison Wesley Publishing, 1987. 676 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I Angiospermae, II Gimnospermae**. Brasília : Laboratório de produtos florestais, 1991. (Serie técnica, 15).
- IAWA COMMITTEE LIST OF MICROSCOPE FEATURES FOR HARDWOOD IDENTIFICATION. *Iawa Bulletin*, v. 10, p. 234-332, 1989.
- RABELO, G. F. **Avaliação da aplicação do “speckle” dinâmico no monitoramento da qualidade da laranja**, 2000. 149p. Tese (Doutorado) – Universidade de Campinas, Campinas, 2000.