

Anna Carolina de Almeida Andrade¹, José Reinaldo Moreira da Silva¹, Roberto Alves Braga Junior¹, Jordão Cabral Moulin¹

UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA SUNSET LASER PARA DISTINGUIR SUPERFÍCIES USINADAS DE MADEIRA COM QUALIDADES SIMILARES

Palavras chave:
Laser de estado sólido
Usinagem
Qualidade superficial

RESUMO: A norma ASTM D 1666-11 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, 2011) classifica a qualidade da superfície de peças de madeira, após o seu processamento mecânico, embora essa classificação seja difícil de ser realizada visualmente e o uso de algumas ferramentas, como o laser de estado sólido, pode facilitar tal classificação. Assim, o objetivo foi avaliar o uso da técnica sunset laser para qualificar superfícies processadas mecanicamente com qualidades visuais semelhantes. Utilizou-se a tora da base de uma árvore de *Khaya ivorensis* e outra de *K. senegalensis*, ambas com 11 anos. Foram confeccionados 22 corpos de prova de dimensões 600x140x30 mm (CxLxE) de cada espécie. Os corpos de prova foram aplainados com velocidades de 2400, 3600 e 4000 min⁻¹ e as velocidades de avanço foram pré-determinadas em 6 e 15 m·min⁻¹. Em seguida, os corpos de prova foram iluminados com a técnica sunset laser e fotografados na alta resolução, as imagens foram transferidas para o software Image J. Para avaliar a qualidade da superfície pela técnica sunset laser utilizou-se as áreas de defeitos na madeira que são classificadas como regular e ruim pela norma ASTM D 1666-11 (ASTM, 2011). Houve diferença de classificação dos defeitos da madeira entre os dois métodos utilizados, sendo que 31 corpos de prova classificados como regular pela análise visual, 8 deles foram classificados como ruim pelo método do laser. A utilização do laser de estado sólido na técnica sunset laser mostrou-se mais eficiente para avaliar pequenas diferenças de defeitos da madeira processada mecanicamente em comparação com a avaliação visual.

Histórico:
Recebido 09/06/2015
Aceito 07/04/2016

DISTINCTION OF MECHANICALLY PROCESSED WOOD SURFACES WITH SIMILAR QUALITIES USING SUNSET LASER TECHNIQUE

Keywords:
Solid-state laser
Wood Machining
Surface Quality

ABSTRACT: The ASTM D 1666-11 (2011) norm classifies the quality of wood surface pieces after its mechanical processing. Although this classification is difficult to achieve visually, the use of some tools, such as solid state laser, can facilitate this classification. The aim of this work was to evaluate the use of sunset laser to qualify mechanically processed surfaces with similar visual qualities. We used a log from the base of a *Khaya ivorensis* tree and one from a *K. senegalensis* tree, both 11 years old. 22 specimens of dimensions 600x140x30 mm (CxLxE) were made of each species. The specimens were flattened with speeds of 2400, 3600 and 4000 min⁻¹ and advanced speeds were predetermined in 6 and 15 m·min⁻¹. Then the samples were illuminated with sunset laser and photographed at high resolution, the images were transferred to the software Image J. To evaluate the sunset laser, areas of defects in wood that are classified as regular and bad by ASTM D 1666-11 (2011) were used. There was a difference in classification of wood defects between the two methods used, from the 31 specimens classified as regularly by visual analysis, 8 of them were classified as bad by the laser method. The use of solid-state laser in the sunset laser technique was more efficient in evaluating small differences in mechanically processed wood defects compared to visual evaluation.

Correspondência:
carol_bertges@hotmail.com

DOI:
10.1590/01047760201622022025

¹ Universidade Federal de Lavras - Lavras, Minas Gerais, Brasil

INTRODUÇÃO

A qualidade da superfície usinada é fator determinante para os diversos usos da madeira. Madeiras destinadas a confecção de móveis, por exemplo, demandam alta qualidade da superfície. No Brasil, a superfície usinada pode ser qualificada por meio de metodologias como o avanço por dente, análise visual que é o mais comumente utilizado em fábricas de móveis, associado ao simples tato do encarregado da produção. No entanto, esse último método, de forma empírica permite a confecção de móveis com baixa qualidade e que alcancem o mercado internacional. O setor moveleiro brasileiro encontra-se em expansão, no entanto seus produtos não são competitivos no cenário internacional devido à baixa qualidade de seus produtos.

A norma ASTM D 1666-11 (ASTM, 2011) prevê metodologia de qualificação de superfícies usinadas em madeira, cujo princípio é considerar os defeitos existentes nas superfícies (Tabela 1), que foram gerados pelo ataque da ferramenta de corte. São atribuídas notas a esses defeitos, pelo fato da necessidade de retrabalho na superfície, para se obter peças sem defeitos.

TABELA 1 Notas atribuídas para cada qualidade da superfície de madeira usinada.

TABLE 1 Notes assigned to each quality of the wood surface machined.

Notas	Qualidade da superfície da madeira usinada	Classificação da superfície aplainada
1	Superfície isenta de quaisquer defeitos	Excelente (isenta de defeitos)
2	Presença de arrepimento leve a médio	Boa
3	Presença de arrepimento forte e arrancamento leve	Regular
4	Presença de arrepimento forte e arrancamento leve a médio	Ruim
5	Presença de arrancamento forte, independente da presença de arrepimento	Muito Ruim

Fonte: ASTM D 1666-11 (ASTM, 2011)

A nota 1 corresponde à melhor qualidade da superfície, ela é classificada como isenta de defeito. Já a nota 5 corresponde à pior qualidade com maior grau de defeitos.

Na prática a qualificação visual é subjetiva e apresenta interferência do avaliador e por isso necessita de intensivo treinamento dos avaliadores. Assim, é importante o estudo de técnicas capazes de qualificar a superfície usinada utilizando metodologias não destrutivas que possuam caráter de repetitividade e reprodutibilidade.

De acordo com Soragi (2009) o laser vem ganhando espaço como metodologia de qualificação de superfícies de materiais biológicos, devido ele ser uma técnica não destrutiva. Segundo Rabelo (2000), ao se utilizar a luz laser como fonte de iluminação, consegue-se mais informações sobre o material pesquisado e principalmente de sua superfície.

Silva et al. (2005) utilizando laser como ferramenta para identificar e classificar textura da superfície de três espécies de madeira nativa, observaram que o laser é eficiente na separação dos 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.

Silva et al. (2006) avaliaram a técnica de captura das imagens de superfícies de madeira de *Eucalyptus* sp. por meio de iluminação com laser, de baixa potência, aplicada em diferentes ângulos. As imagens foram processadas tomando como base os padrões de interferência formados na superfície do material, usando as sombras formadas pela iluminação da madeira. Os resultados de distintos ângulos foram comparados e uma análise espectral foi conduzida para caracterizar as frequências em cada perfil. Os autores concluíram que a iluminação aproximadamente paralela entre o laser e a superfície da madeira foi aquela que apresentou imagens mais bem definidas, possibilitando a visualização das cristas e relacioná-las aos distintos avanço por dente (fz). O melhor resultado foi explicado como sendo possível devido as sombras produzidas pela iluminação paralela à superfície da madeira, em que as irregularidades periódicas da superfície iluminada resultaram em padrões de sombras que foram tratadas por técnicas de processamento e análise de imagens. Posteriormente, foram comparadas de forma numérica com os parâmetros desejados. Desta forma, a potencialidade da técnica ficou comprovada como viável, necessitando de desenvolvimentos para seu aprimoramento e robustez, bem como tratamento das imagens para sua mensuração.

Visto o exposto, o objetivo foi avaliar o uso do laser de estado sólido utilizando a técnica sunset laser para qualificar superfícies de madeiras processadas mecanicamente com qualidades visuais semelhantes.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se a primeira tora de duas árvores de duas espécies de mogno africano, *Khaya ivorensis* e *K.*

senegalensis. A escolha dessas espécies se deu devido seus usos nas indústrias moveleiras. As árvores utilizadas foram escolhidas e derrubadas aleatoriamente em um plantio comercial, de 11 anos, no município de São Miguel do Guamá/PA, Brasil. As toras foram desdobradas em serra de fita na Unidade Experimental de Desdobro e Secagem, do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras (DCF/UFLA). Posteriormente as tábuas foram secas até umidade de equilíbrio de Lavras que é em média 14% (LIMA; MENDES, 1995).

Foram confeccionados 44 corpos de prova com dimensões de 800 x 140 x 30 mm (C x L x E), sendo 22 corpos de prova por espécie. Os corpos de prova foram aplainados em plaina desempenadeira com cabeçote de 105 mm de diâmetro, três facas novas e sistema de exaustão no Laboratório de Usinagem da Madeira (DCF/UFLA). Durante os ensaios de usinagem, os corpos de prova foram aplainados nas duas faces, totalizando 88 faces de análise da qualidade. Foram utilizados três rotações do eixo porta ferramentas, 2400, 3600 e 4000 min^{-1} e duas velocidades de avanço, 6 e 15 $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. A utilização de três rotações e duas velocidades de avanço em 88 faces aplainadas foi suficiente para gerar superfícies com todas as classes de defeitos segundo a classificação visual proposta pela ASTM D 1666 – 11 (ASTM, 2011).

Anterior a avaliação visual os corpos de prova foram encaminhados a câmara climática com temperatura $[(22 \pm 3)^\circ\text{C}]$ e umidade relativa $[(60 \pm 5)\%]$ controladas. Em conformidade com a norma ASTM D 1666-11 (ASTM, 2011) e Silva (2002) foi realizada a qualificação visual das superfícies usinadas. A fim de diminuir a subjetividade das avaliações, elas foram realizadas por três avaliadores, previamente treinados pelo grupo de pesquisa da Ciência e Tecnologia da Madeira (DCF/UFLA). As notas foram comparadas duas a duas e posteriormente com a nota dos três avaliadores juntos, de forma a obter consenso sobre a nota final atribuída a cada face do corpo de prova avaliada.

Posteriormente, as faces classificadas como nota 3 ou nota 4 (ASTM, 2011) foram iluminadas com laser de estado sólido utilizando a técnica sunset laser. Essa técnica consistiu em iluminar a superfície da madeira utilizando a luz laser com baixa inclinação (3°), garantindo que o feixe de luz fique quase paralelo à superfície. Utilizou-se laser com comprimento de onda de 632 nm e 3 mW de potência. O feixe de luz cobriu toda a extensão da face o corpo de prova. Em seguida foram feitas imagens com câmera de alta resolução das superfícies iluminadas pelo laser. A câmera estava distante em 30 cm e posicionada de modo perpendicular ao corpo de prova (Figura 1).

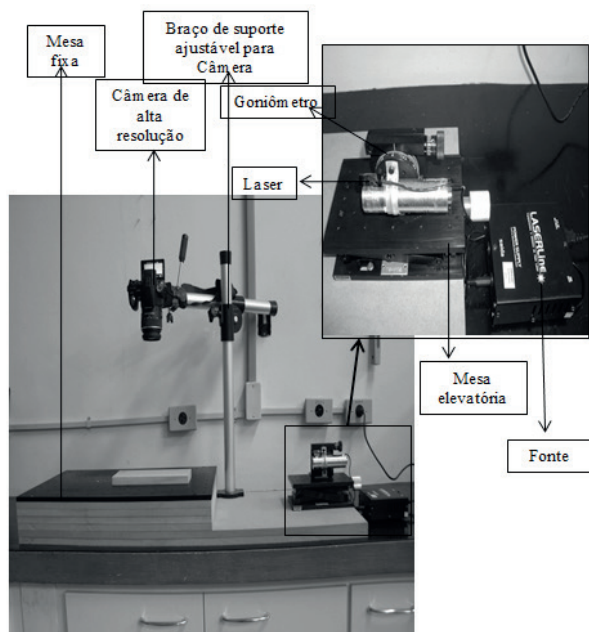


FIGURA 1 Setup da obtenção das imagens para análise.
FIGURE 1 Setup of obtaining the images for analysis.

As imagens dos corpos de prova classificados como notas 3 e 4 foram arquivadas e analisadas utilizando o software *ImageJ*. Os defeitos se mostram como imagens de áreas sombreadas, isto é com tons mais escuros. A análise realizada foi a medição da área do defeito ocorrido durante o processo de usinagem, sendo necessários a realização de ajustes, sendo: 1) as imagens no formato RGB color foram transformadas em imagens de 8 bit para seu melhor processamento; 2) foi feita a binarização da imagem; 3) redução da amplitude dos pixels de 0 à 255 para 0 à 40 (Figura 2). A binarização foi necessária para que fosse contabilizado somente os defeitos como arrancamento e arrepiamento da fibra, pois essas são as características avaliadas visualmente.

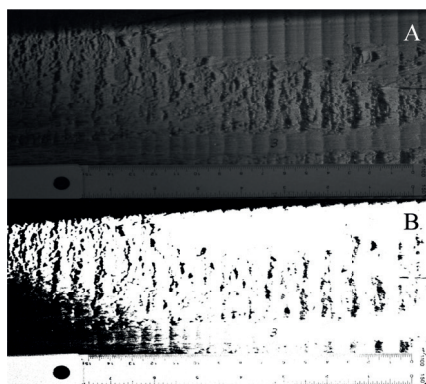


FIGURA 2 Imagem iluminada com o sunset laser. A: Imagem 8 bit; B: Imagem binarizada
FIGURE 2 Image illuminated with Sunset laser. A: 8 bit image; B: thresholded image

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores dos percentuais de defeitos dos corpos de prova das espécies *K. ivorensis* e *K. senegalensis* que foram classificados como nota 3 e nota 4 nas diferentes rotações e velocidades de avanço encontram-se na Tabela 2.

TABELA 2 Valores percentuais de faces de corpos de prova avaliados com qualidade regular (nota 3) e ruim (nota 4), segundo a ASTM D 1666-11 (ASTM, 2011)

TABLE 2 Percentage values faces evaluated sample with regular quality (note 3) and poor (note 4), according to ASTM D 1666-11 (2011)

Velocidade de avanço (m·min ⁻¹)	Rotação (min ⁻¹)	Percentual de corpos de prova classificados (%)			
		<i>K. ivorensis</i>		<i>K. senegalensis</i>	
		Nota 3	Nota 4	Nota 3	Nota 4
15	2400	0	50	50	0
15	3600	0	0	0	50
15	4000	0	25	25	75
6	2400	50	25	50	50
6	3600	50	50	75	0
6	4000	75	25	50	0

Observou-se que houve maior concentração de corpos de prova com defeitos para a espécie *K. ivorensis* na velocidade de avanço de 6 m·min⁻¹ e rotação de 3600 e 4000 min⁻¹, para *K. senegalensis* a concentração mais elevada de defeitos foram encontrados na velocidade de avanço de 15 m·min⁻¹ e rotação de 4000 min⁻¹ e na velocidade de avanço de 6 m·min⁻¹ e rotação de 2400 min⁻¹.

Para a espécie *K. ivorensis*, 13 corpos de prova foram classificados como regulares (nota 3) e 15 corpos de prova foram classificados como ruins (nota 4), para a *K. senegalensis*, 18 e 13 corpos de prova foram classificados como regulares e ruins, respectivamente.

Os defeitos classificados como regular (nota 3) e ruim (nota 4) pela norma ASTM D 1666-11 (ASTM, 2011) possuem pouca diferença e dificulta a avaliação visual. No presente trabalho observou-se que 67% dos corpos de prova foram classificados visualmente como regular e ruim (TABELA 3).

Verificou-se que algumas amostras classificadas como regular pela análise visual foram diferentes quando classificadas pela técnica sunset laser. Dos 31 corpos de prova classificados como regular pela análise visual, 23 tiveram a mesma classificação pela técnica sunset laser e oito foram reclassificados como qualidade ruim. Isso sugere que a classificação visual pode ser realizada com menor exatidão em comparação com a técnica sunset laser.

TABLE 3 Número de corpos de prova classificados como regular e ruim pela avaliação visual e Sunset laser.

TABLE 3 Number of sample classified as regular and poor by visual assessment and Sunset laser.

Qualidade superficial	Número de corpo de prova	
	Avaliação Visual (ASTM D1666-11, 2011)	Avaliação Visual Sunset laser
Regular	31	23
Ruim	28	36

CONCLUSÃO

A utilização do laser de estado sólido na técnica sunset laser é eficiente para classificar a superfície de madeiras processadas mecanicamente. Essa técnica mostrou-se mais eficiente para avaliar pequenas diferenças de defeitos da madeira usinada em comparação com a avaliação visual.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da CAPES, FAPEMIG e CNPq por conceder recursos financeiros para bolsas de estudo e aquisição de suplementos fundamentais a realização desse trabalho.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1666-11**: standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials. Philadelphia, 2011. p. 226-245.
- LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Estimativa da umidade de equilíbrio para madeiras em trinta e duas cidades de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 272-276, 1995.
- RABELO, G. F. **Avaliação da aplicação do "speckle" dinâmico no monitoramento da qualidade da laranja**. 2000. 149 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.
- SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus Grandis Hill Ex. Maiden***. 2002. 179 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - 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 de superfícies usinadas em madeiras de *Eucalyptus* sp. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: EBRAMEN, 2006. 1 CD-ROM.
- SILVA, M. R.; MORI, F. A.; RABELO, G. F.; BRAGA, R. A. Interação da luz laser para a avaliação da textura de madeiras nativas e de *Eucalyptus grandis* W. Hill exMaiden laser light interaction for texture evaluation of native woods and *Eucalyptus grandis* W. Hill exMaiden. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 167-175, 2005.
- SORAGI, L. C. **Qualidade de superfícies usinadas em madeira de *Toonaciliata M. Roem.*** Lavras: UFPA, 2009. 61 p.