

ALESSANDRA DANTAS FONSECA

**MÉTODOS DE QUALIFICAÇÃO DA SUPEFÍCIE USINADA DA
MADEIRA: ESTADO DA ARTE**

SÃO CRISTÓVÃO – SE

2021

Alessandra Dantas Fonseca

**MÉTODOS DE QUALIFICAÇÃO DA SUPEFÍCIE USINADA DA
MADEIRA: ESTADO DA ARTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Sergipe, como requisito para obtenção do título de Engenheira Florestal.

São Cristóvão – SE

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADA - CCAA
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS - DCF

MÉTODOS DE QUALIFICAÇÃO DA SUPEFÍCIE USINADA DA MADEIRA: ESTADO DA ARTE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Sergipe, como requisito para obtenção do título de Engenheira Florestal.

_____: 22 de Julho 2021

Orientado: Alessandra Dantas Fonseca

Prof. Dra.

Anna Carolina de Almeida Andrade

Prof. Dr.

Antônio Américo Cardoso Júnior

Prof. Dra.

Alessandra Maria Ferreira Reis

AGRADECIMENTOS

Enfim, mais um ciclo finalizado, e esse demorou viu, mas consegui.

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por sempre ser meu ponto de esperança em dias difíceis. A minha mãe por ser minha fonte inspiração de mulher batalhadora e forte, por ser minha melhor amiga confidente e, que apesar das nossas adversidades sei que posso contar pra tudo, TE AMO MÃE. E ao meu irmão Márcio que mesmo nós não sendo muito unidos, sabemos que queremos o bem um ao outro.

À minha avó Benedita por apostar em mim, dando o suporte para minha entrada na universidade federal. Ao meu tio/padrinho João Xavier e meu primo Ricardo Douglas por me darem apoio lá no início, embora hoje não termos uma convivência mais assídua, nunca vou esquecer o que fizeram por mim no começo da minha caminhada, meu muito obrigada. Á todos os meus tios, tias, primos, primas, parentes paternos e maternos que de alguma forma pensaram em me com carinho e torceram pelo meu sucesso.

À Pedro Matheus, que esteve ao meu lado desde o início até quase ao fim dessa longa jornada acadêmica e foi uma das pessoas que me incentivou a retornar para o curso e finalizar. À família Oliveira Travassos por me receber e tratar sempre muito bem.

À minha amiga/irmã e comadre Cecilia que mesmo que passamos tempos sem nos ver, sei que posso contar pra rir, pra chorar, mesmo ela sempre se atrasando, eu ainda insisto em chamar pra sair, quando a gente ama é assim, não desiste, rrsrrs, obrigada por sempre torcer por mim. Não esquecendo também do meu compadre Magno e amigo Samuel, está com vocês é sempre uma alegria.

À minha orientadora, professora Anna Carolina, foi um anjo que surgiu na minha vida dentro da UFS, pena que já foi no finalzinho, pense numa mulher que inspira, só tenho a dizer obrigada, obrigada, obrigada por fazer tanto por mim. Á todos os professores da Engenharia Florestal por todos ensinamentos passado, para que eu chegasse até aqui.

Aos presentes que a UFS me deu, Larissa, Jéssica, Cris e Jú. Obrigada pelas conversas, palavras de incentivo, pelas dicas e ajudas acadêmicas, pelas tardes de estudo na biblioteca, pela troca de experiência de vida pessoal, pelos conselhos, enfim, obrigada pela amizade de vocês, quero levar pra sempre. Um especial vai para Ju, que nesses últimos dias por ser a que mora mais próximo de mim, sobrou pra ela rrsrrs, ouvir minhas

lamentações e me ajudar no que fosse preciso, miga obrigada por dispor do seu precioso tempo.

À cada um que se fez presente de algum modo, direto ou indireto durante esta caminhada. Sem vocês, nada seria possível.

GRATA.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
2.1. Parâmetros de Corte	8
2.1.1. Avaliação pelo avanço por dente calculado	9
2.1.2. Avaliação pelo avanço por dente medido	10
2.1.3. Avaliação da profundidade do arco ciclóide	10
2.2. Parâmetros de corte associados às características do material	11
2.2.1. Avaliação da rugosidade superficial	11
2.2.2. Avaliação visual e subjetiva - ASTM 1666-11 (2011)	13
2.2.3. Avaliação da superfície por meio do <i>Sunset Laser</i>	13
3. Influência das propriedades da madeira na usinagem	14
4. METODOLOGIA	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
6. CONCLUSÃO	20
7. REFERÊNCIAS	21

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo fazer um levantamento bibliográfico dos principais métodos de qualificação da madeira. Na metodologia, a pesquisa foi classificada como uma revisão narrativa através de documentos como artigo, estudos de casos, monografias, livros e textos que visam a busca de evidências disponíveis sobre o tema apresentado. Como principais resultados, através da revisão narrativa, foram verificados corpos-de-prova com diferentes velocidades de avanço, 15 e 30 m.min⁻¹, os quais não foram adequados para qualificar a superfície da madeira. Assim como, foram analisadas as qualificações das superfícies usinadas de acordo com a norma ASTM D 1666-11 (ASTM, 2011), método de rugosidade, além da técnica *sunset* laser. Contudo, foi identificado que a técnica *sunset* laser pode ser utilizada como metodologia alternativa às técnicas de qualificação da análise visual.

Palavras-chave: Rugosidade, avanço por dente, análise visual e *sunset* laser.

1. INTRODUÇÃO

A importância da qualificação da madeira está associada a qual finalidade ela será destinada uma vez que o termo qualidade está intimamente ligado ao seu uso. Uma madeira com qualidade desejada para produção de papel não tem a mesma qualidade exigida para a produção de carvão vegetal, por exemplo. No uso de madeiras sólidas sabe-se que quando a madeira é de boa qualidade ela tem um maior valor agregado. Sendo assim, as indústrias madeireiras usam métodos de qualificação para diminuir os custos e otimizar o tempo, direcionando cada tipo de madeira para o uso adequado de acordo com sua qualidade.

Em indústrias do setor moveleiro que utilizam a madeira maciça como matéria-prima observa-se que, de modo geral, há grande deficiência na qualidade final dos produtos. Essa baixa qualidade muitas vezes está associada a fatores externos à matéria-prima, e são decorrentes principalmente de ineficiências no setor de secagem, usinagem e acabamentos superficiais da madeira.

As metodologias mais usadas para qualificar a superfície da madeira é a avaliação visual (CRUZ et al., 2020), a determinação por avanço por dente e a marca deixada sobre a superfície, após a usinagem ciclóide (WEING, 2000). No entanto, outras metodologias vêm ganhando espaço na área de qualificação de superfícies como a avaliação da rugosidade e avaliação da área dos defeitos por meio da técnica *sunset* laser.

Diante disso, esse trabalho teve como objetivo fazer um levantamento bibliográfico dos principais métodos de qualificação da madeira mostrando as aplicações de cada metodologia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Embora o Brasil esteja entre os dez maiores produtores mundiais de painéis (IBÁ, 2019), precisa melhorar muito para ficar entre os três primeiros colocados. Segundo dados obtidos no Setor Moveleiro (2020), ele importa mais móveis do que exporta, e isso pode estar associado à baixa qualidade do produto final. A China está no topo do ranking como maior exportadora para o Brasil e maior produtora de painéis do mundo.

Segundo Silva et al. (2009), quando a madeira é destinada para confecção de móveis, assoalhos, esquadrias e outros produtos que demandam alta qualidade da superfície, a usinagem bem executada melhora o seu desempenho frente aos processos de acabamento superficial, tornando a operação economicamente ajustada. A melhoria da qualidade do acabamento pode ser alcançada com a redução da velocidade de avanço da madeira e/ou o aumento do número de gumes ativos de corte e da frequência de rotação do eixo porta-ferramenta da máquina.

O conceito de qualidade da usinagem é apresentado diferentemente por dois grupos de pesquisadores. O primeiro grupo conceitua a qualidade apenas através dos parâmetros de corte; já o segundo grupo defini qualidade não somente os parâmetros indicados acima, como também a presença de falhas na superfície, que são geradas em função da estrutura da madeira pela presença dos diferentes tipos de células, de suas diferentes dimensões e orientações (SILVA, 2002).

Para o mercado de madeiras sólidas destinadas às indústrias madeireiras, o método mais difundido para determinar o potencial de uso da matéria-prima baseia-se na avaliação visual da superfície usinada seguindo os mesmos conceitos da norma ASTM D-1666 (2011) (CRUZ et al., 2020) que se enquadra no segundo grupo citado acima, pois é o método com menor custo quando empregado, mais que no final pode sair caro, pois conta com a sensibilidade do avaliador, fator esse que é sujeito a erros.

Dessa forma, torna-se necessário o estudo de técnicas capazes de qualificar a superfície usinada utilizando metodologias não destrutivas que possuam caráter de repetitividade e reprodutibilidade (ANDRADE et al., 2016).

2.1. Parâmetros de Corte

A velocidade de avanço mede a velocidade com que a peça de madeira se desloca em direção à ferramenta de corte. A velocidade de corte é definida como o caminho

percorrido pelo dente da ferramenta num determinado período de tempo, sendo expressa em metros por segundo (SILVA et al., 2016).

2.1.1. Avaliação pelo avanço por dente calculado

A velocidade de avanço (V_f) é definida em função da produtividade desejada. Pode ser calculado como o comprimento da peça a ser usinado dividido pelo tempo que ela leva para ser usinada. Pode ser interpretada pela formula (1):

$$V_f = \frac{Cu}{t} \quad (1)$$

Em que:

V_f = Velocidade de avanço em m/min^{-1}

Cu = Comprimento de usinagem (m)

t = tempo necessário para peça ser usinada (min)

Segundo Júnior (2009), o avanço por dente definido como o passo das marcas deixadas na madeira e esta grandeza é, na maioria das vezes, visível nas superfícies usinadas. Então ele se torna o fator que vai determinar o estado da superfície. Quanto menor o avanço por dente, melhor será o acabamento, porém, maior será o desgaste da ferramenta. Sempre existe essa correlação entre qualidade e rapidez do desgaste dos gumes, (BONDUEELE, 2001). O avanço por dente pode ser calculado pela equação (2):

$$f_z = \frac{V_f * 1000}{n * z} \quad (2)$$

Onde:

f_z = avanço por dente, em mm;

V_f = velocidade de avanço da peça, em $m * min^{-1}$;

n = frequência de rotação do eixo porta ferramenta, em min^{-1} ;

z = número de gumes ativos da ferramenta (adimensional).

Tabela 1 – Classificação da qualidade do acabamento das fresas, desempenho e desengrosso, em função dos valores do avanço por dente (fz)

Avanço por dente (fz), em mm	Qualidade do Acabamento
0,3 a 0,8	Fino
0,8 a 2,5	Médio
2,5 a 5,0	Grosso

Fonte: SENAI (1995).

2.1.2. Avaliação pelo avanço por dente medido

É realizado a medição com o auxílio de uma régua graduada e é calculado pela seguinte fórmula (3):

$$fz_{medido} = \frac{C_{total}}{NC - 1} \quad (3)$$

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 do campo de leitura (adimensional).

2.1.3. Avaliação da profundidade do arco ciclóide

Consiste na penetração da ferramenta, sendo expresso em marcas por polegada linear ou em milímetros de acordo com Weissenetein (2002). Ela pode ser medida no plano de trabalho. A penetração pode ser passiva, de trabalho e de avanço. A penetração passiva (ap) é a quantidade que a ferramenta penetra na peça, medida perpendicularmente ao plano de trabalho. No fresamento periférico corresponde à largura de corte. A penetração de trabalho (ae) é a quantidade que a ferramenta penetra na peça, medida no plano de trabalho e perpendicular à direção de avanço (JUNIOR, 2009). Figura 1

É possível calcular a profundidade do arco ciclóide, também conhecido como profundidade da marca de faca, pela seguinte equação (4):

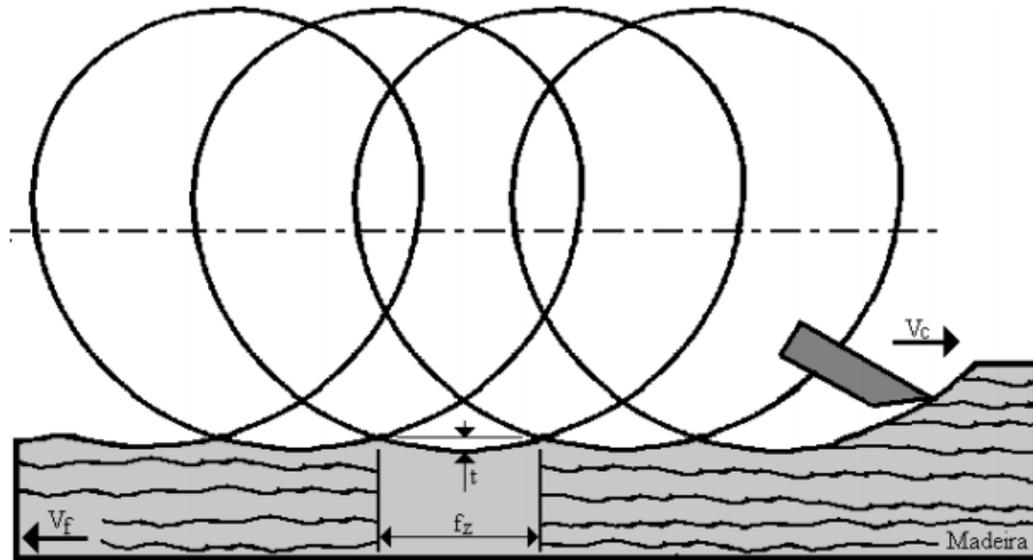
$$t = \frac{fZ^2}{4 \times D} \quad (4)$$

Sendo:

t = profundidade da marca da faca (ou do arco ciclóide) em mm;

f z = avanço por dente em mm;

D = diâmetro da fresa em mm



Fonte: Adaptação de Silva (2002) e Weissenstein, (2000).

Figura 1 - Valores normativos de um aplainamento, sendo fz = avanço por dente, t = profundidade do arco de ciclóide, Vc = velocidade de corte das facas e Vf = velocidade de avanço da peça de madeira.

2.2. Parâmetros de corte associados às características do material

2.2.1. Avaliação da rugosidade superficial

Segundo Arand (1989), a rugosidade pode ser definida como os desvios apresentados em uma superfície, tendo frequências periódicas e aperiódicas, produzidas diretamente pelo contato da ferramenta de corte ou abrasão sobre a superfície da peça sofrendo uma influência sobre o tipo de formação de cavaco. Já as ondulações são desvios predominantemente periódicos, que surgem devido a fixação fora de centro, batimento no processo de usinagem ou por vibrações nas máquinas, ferramentas ou peças (apud SIQUEIRA et al., 2003).

A avaliação da superfície é realizada com um rugosímetro de arraste, este possui uma pequena agulha que percorre a superfície da amostra definindo numericamente ou graficamente para determinar os perfis lineares da madeira.

Os parâmetros de medição de rugosidade são divididos em três classes distintas: aqueles que se baseiam na medida da profundidade da rugosidade, os que se baseiam em medidas horizontais e os que se baseiam em medidas proporcionais. Para aqueles que se fundamentam em medidas de profundidade, os seguintes parâmetros ficam definidos: Ra - dado pelo comprimento de amostragem, que indica a medida da rugosidade; Rq - que é a raiz da média dos quadrados das ordenadas do perfil efetivo; Rz - a média aritmética dos valores de rugosidade parcial; Rt - a distância vertical entre o pico mais alto e o vale mais profundo; Rmax - a maior das rugosidades parciais; e R3z - a média aritmética dos valores de rugosidade parcial. Naqueles, onde as medidas horizontais são fundamentais, os parâmetros a serem medidos são: Lc - que é o comprimento do contato a uma profundidade abaixo da saliência mais alta; e Tp - a fração de contato a determinada profundidade. Por último, os parâmetros de medição de rugosidade fundamentados em medidas proporcionais têm como variáveis: Ke - definido como coeficiente de esvaziamento; e Kp - que é o coeficiente de enchimento (GONZALEZ, 1987)

Os parâmetros de rugosidade Ra e Rz são os mais utilizados, fornecidos pelo rugosímetro auxiliam na qualificação da superfície usinada, uma vez que eles representam uma forma da expressão matemática entre a variação vertical das superfícies, expresso pelos picos e vales e o deslocamento horizontal do sensor (TAYLOR HOBSON, 2010).

O parâmetro Ra é a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas Z (x) dentro de um comprimento dos desvios avaliados (Equação 5).

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_j| \quad (5)$$

Em que:

Ra = Parâmetro de rugosidade absoluto (μm)

Yi = Valores absolutos das ordenadas de afastamento, em relação à linha média

n = Número de leituras

O parâmetro Rz é soma da altura média dos cinco picos mais altos do perfil e a profundidade dos cinco vales mais profundos do perfil, medidos de uma linha paralela à linha média (Equação 6).

$$R_Z = 1/5 \sum_{i=1}^5 Y_{pi} + 1/5 \sum_{i=1}^5 Y_{vi}$$

Em que:

Rz = Parâmetro de rugosidade absoluto (µm) médio

Y_{pi} = Picos mais altos

Y_{vi} = vales mais altos

2.2.2 Avaliação visual e subjetiva - ASTM 1666-11 (2011)

A norma ASTM D 1666-11 (ASTM, 2011) leva em consideração alguns defeitos como arrancamento de fibras, lasqueamento e falhas de usinagem. Através de inspeção visual, geralmente realizada por três pessoas, são atribuídas notas para qualificar essas superfícies, levando em conta os defeitos citados acima gerados pelo ataque da ferramenta de corte (Tabela 2).

TABELA 2 - Notas atribuídas para cada qualidade da superfície de madeira usinada.

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)

2.2.3 Avaliação da superfície por meio do *Sunset* Laser

É uma técnica não destrutiva com a utilização de um laser, no qual o feixe de luz é jogado sobre a madeira, sendo possível qualifica-la de acordo com a luminosidade.

Em suas pesquisas Soragi (2009) notou que o laser vem ganhando mais espaço como metodologia de qualificação de superfícies de materiais biológicos. A luz do laser ao

incidir e penetrar em um material biológico sofre interferências de raios, permitindo uma avaliação de alterações internas e também superficiais (RABELO, 2000).

Em um estudo realizado por Silva et al. (2006), através da iluminação com laser de baixa potência aplicada em diferentes ângulos foi possível avaliar a técnica de captura das imagens de superfícies de madeira de *Eucalyptus* sp. 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. Nesse trabalho os autores concluíram que a iluminação aproximadamente paralela entre a madeira e o laser foi a que apresentou imagens mais bem definidas, possibilitando a visualização das cristas e relacioná-las aos distintos fz. Dessa 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.

Andrade (2015) também realizou estudos com madeira de *Corymbia* e *Eucalyptus* utilizando um laser de diodo com comprimento de onda de 632 nm e 3 mW de potência. Foram feitas imagens com câmera de alta resolução das superfícies iluminadas pelo laser assegurando a perpendicularidade entre a superfície do corpo de prova e a câmera. As imagens foram arquivadas e analisadas utilizando o software *ImageJ*. Os defeitos da usinagem são identificados como imagens de áreas sombreadas, isto é, com tons mais escuros. Foi realizada a binarização das imagens para não contabilizar como defeitos as sombras geradas pelas cristas de avanço por dente, permitindo assim avaliar somente os defeitos como arrancamento e arrepiamento da fibra, pois essas são as características avaliadas visualmente.

3. Influência das propriedades da madeira na usinagem

As propriedades da madeira variam em função de cada espécie. Existem ainda variações entre árvores de uma mesma espécie, afetadas principalmente, por fatores genéticos e ambientais. Ocorrem também variações influenciadas pelo sistema de manejo adotado (REMADE, 2004). Nas relações entre a anatomia da madeira, a qualidade da usinagem e o acabamento da superfície são perceptíveis que a qualidade final de um produto se relaciona com as operações de usinagem e com a estrutura física e anatômica da madeira (LUCAS FILHO, 2004).

Alguns defeitos naturais presentes na madeira também têm influência sobre o desempenho dos processos de usinagem. Entre os principais defeitos da madeira para a sua utilização industrial estão a grã irregular, variações na largura dos anéis de crescimento, crescimento excêntrico, o lenho de reação, nós, tecidos de cicatrização, defeitos na forma do tronco, defeitos de secagem, defeitos de processamento e a influência de agentes físicos e bióticos (JUNIOR, 2009)

De acordo com Lucas Filho (2004), à estrutura microscópica da madeira, em qualquer operação de usinagem, as fibras da madeira são arrancadas e, raramente, cortadas. Este efeito pode ser explicado pela grande dimensão dos gumes de corte das ferramentas em relação às dimensões das fibras. As fibras apresentam dimensões, geralmente, menores que os raios dos gumes das ferramentas utilizadas na usinagem, principalmente quando são utilizados materiais que não permitem a confecção de gumes muito “vivos”. Neste caso as fibras da madeira são raspadas ou arrancadas e não cortadas.

Na usinagem de compostos de madeira, o principal mecanismo de desgaste é a abrasão (LUCAS FILHO, 2004). Existem poucos trabalhos sobre a relação da vida da ferramenta com os mecanismos de desgastes envolvidos, sobretudo para as várias combinações ferramenta-peça-máquina-ferramenta (FARIAS, 2000).

Um dos fatores que afetam significativamente o processo de usinagem da madeira é o teor de umidade, com a sua redução, alguns elementos químicos existentes na seiva acabam ficando cristalizados entre as fibras, afetando a atuação das ferramentas de corte nos processos de usinagem (TEIXEIRA et al. 2011). Na fabricação de móveis, a madeira utilizada precisa estar na umidade de equilíbrio, pois há necessidade do controle dimensional das peças durante o processo de fabricação, devido à anisotropia dimensional da madeira que ocorre juntamente com o processo de perda ou ganho de umidade. Por isso, dificilmente, a madeira é usinada com teores de umidade diferentes da umidade de equilíbrio (LUCAS FILHO, 2004).

Pigozzo (1983) citado por Lucas Filho (1997) também verificou haver um aumento de resistência com redução do teor de umidade. Uma peça de madeira na umidade de equilíbrio ao ar pode ser até duas vezes mais resistente em relação à mesma peça na condição verde.

4. METODOLOGIA

A coleta de dados foi realizada através dos artigos de revisão narrativa que são publicações amplas apropriadas para descrever e discutir o desenvolvimento ou o ‘estado da arte’ de um determinado assunto, sob ponto de vista teórico ou conceitual”. (ROTHER, 2017).

A revisão narrativa tem amplitude para descrever e desenvolver sobre determinados assuntos de forma teórica ou contextual mediante interpretações e análises. A busca das fontes de pesquisa ocorreu principalmente no Google acadêmico e na Scienificelronic Library (cielo), teve como base a utilização de termo para delimitar a pesquisa como, método de rugosidade; qualidade da madeira; processamento mecânico da madeira; método *sunset* laser; método da qualificação da madeira, qualificação da superfície usinada, assim selecionando textos que atendam ao critério de inclusão.

Como critérios de inclusão, foram analisados artigos em língua portuguesa e inglesa, assim como artigos, estudos de caso, monografias, e livros em sua forma integral, em formato eletrônico, na base de dados e que trate da temática. Os critérios de exclusão de periódicos foram os que tratem apenas da madeira não se relacionando a outros tipos de matéria prima.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

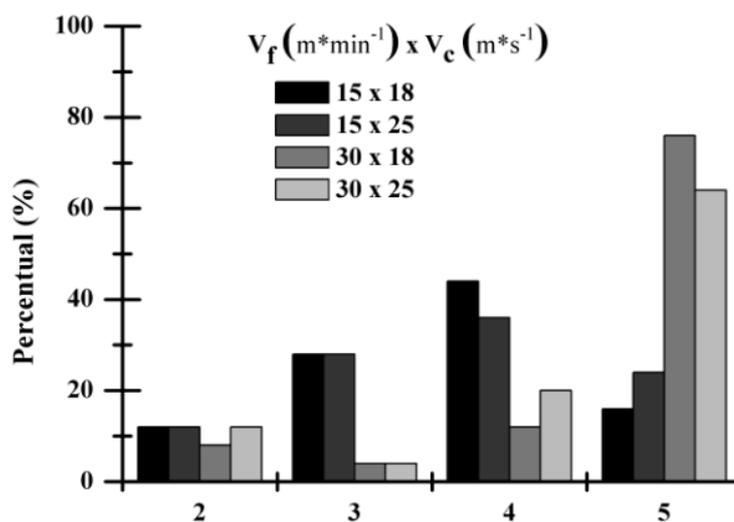
Entre os estudos realizados para qualificação da madeira usinada, têm-se vantagens e desvantagens associadas aos principais métodos utilizados e que balizam a escolha de um deles, como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 – Vantagens e desvantagens dos métodos de qualificação da madeira usinada

Método	Vantagem	Desvantagem
Avaliação visual pela Norma ASTM 1666-11	Não tem custo.	É subjetiva, apresenta interferência do avaliador, necessita de intensivo treinamento dos avaliadores.
Avanço por dente	Não tem custo.	Difícil visualização a olho nu quando a madeira é usinada em velocidades de avanço muito baixas.
Rugosidade	Método eficaz.	Necessita de aquisição de aparelho e a avaliação deve ser realizada em uma superfície plana retificada.
<i>Sunset</i> laser	Método eficaz e elimina a subjetividade.	Necessita aquisição de um bom laser.

Comparando os quatro métodos de avaliação em estudos presente na literatura utilizando madeira de *Corymbia* e *Eucalyptus* temos os seguintes resultados:

- Conforme a classificação da ASTM D1666-11 (ASTM, 2011), Silva et al. (2016) observaram que os tratamentos obtiveram percentuais de notas muito baixo para classificação tida como boa (Figura 2) e foi possível visualizar que os maiores índices de madeira apresentaram notas 4 e 5. Andrade (2015) em seu estudo realizado com espécies semelhantes, também com 37 anos de idade, encontrou resultados parecidos, sendo que mais de 50% dos corpos de prova avaliados tiveram notas de 4 e 5, classificando a madeira como grosseira.



Nota

Fonte: Silva et al. (2016)

Figura 2 - Média das notas segundo ASTM D1666-11(2011) entre as espécies para as diferentes velocidades de avanço (V_f) x velocidade de corte da ferramenta (V_c).

- De acordo com Silva et al. (2016) os autores também constaram que os tratamentos não apresentam o avanço por dente (f_z) adequado para qualificar a superfície da madeira como boa, segundo a classificação proposta por SENAI (1995), conforme Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios de avanço por dente medido para diferentes velocidades de avanço e velocidades de corte.

Condição de usinagem (tratamento)	Velocidades		fZ medido (mm)
	de avanço (m.min ⁻¹)	de corte (m.s ⁻¹)	
1	15	18	4,9
2	15	25	3,7
3	30	18	10,0
4	30	25	7,5

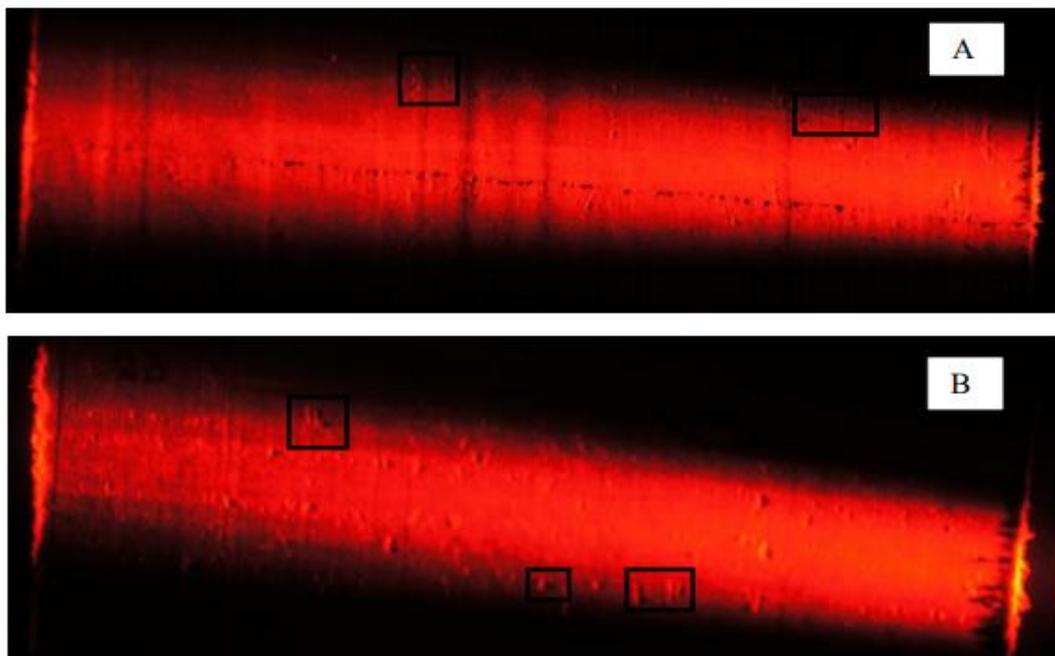
Fonte: Silva et al. (2016)

Esse resultado pode ter sido em decorrência do aumento da velocidade de avanço por dente, visto que Silva et al. (2009), também encontraram os seguintes valores 1,4; 3,1 e 6,3 pra as velocidades de avanço de 6, 15 e 30 m.min⁻¹ respectivamente.

- Para a avaliação da rugosidade os autores compararam os resultados obtidos na avaliação visual de acordo com a norma ASTM (2011) e observaram a distinção entre eles, pois, na velocidade de avanço de 30 m.min⁻¹ e velocidade de corte de 18 e 25 m.s⁻¹

foram obtidas mais peças qualificadas como muito ruins conforme a norma, enquanto na rugosidade foram semelhantes os parâmetros de usinagem.

- Andrade (2015) também classificou a madeira de *Corymbia* e *Eucalyptus* utilizando a técnica *sunset* laser que foi capaz de qualificar a madeira mesmo em situações em que a qualificação não foi possível a olho nu. Esse método também eliminou a subjetividade na avaliação, principalmente quando é realizada a classificação visual, facilitando a distinção entre as notas 3 e 4. Nesse mesmo trabalho a autora observou que 70% dos corpos de prova foram classificados com notas 3 e 4, quando os corpos de prova são iluminados pelo *sunset* laser (Figura 3) as características que os classificam em excelente a muito ruim foram identificadas com mais facilidade do que a olho nu, conforme a norma ASTM (2011).



Fonte: Andrade (2011)

Figura 3 Corpos de prova iluminados pelo *sunset* laser e qualificados por meio da classificação da ASTM D 1666 11 (ASTM, 2011) A) corpo de prova qualificado como nota 3 e classificado como regular, nos detalhes destacados estão os arrancamentos leves B) corpo de prova qualificado como nota 4 e classificado como ruim, nos detalhes destacados estão os arrancamentos leves a médios.

Dentre todas as características do laser, a que permite sua utilização na técnica *sunset* laser é a capacidade de ser uma luz direcionável e concentrada (HECHT, 2001). Essas peculiaridades da luz laser possibilitam sua utilização na qualificação de materiais biológicos.

6. CONCLUSÃO

Diante das pesquisas realizadas foi possível observar que no padrão de usinagem por avanços por dente, quanto maior a velocidade do avanço, pior será a qualidade da superfície usinada, porém isso não foi constatado no método de rugosidade, pois apresentou parâmetros semelhantes.

O uso da técnica *sunset* laser mostrou-se capaz de qualificar a superfície usinada, com caráter de reprodutibilidade e repetitividade. Essa técnica pode ser utilizada como metodologia alternativa às técnicas de qualificação da análise visual proporcionando uma maior qualificação para a superfície usinada em madeira, principalmente quando outros métodos não são viáveis por não ser possível a visualização a olho nu.

7. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1666- 11:** standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials. Philadelpia, 2011. 20 p.

ANDRADE, A. C. de A. **Sunset laser na análise de defeitos em madeiras usinadas.** 2015. 40p. Dissertação (mestrado acadêmico). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

ANDRADE, A. C de A. SILVA, F. A. V. da; SILVA, J. R. M. da; OLIVEIRA, M. B. O; LIMA, J. T.; MOULIN, J. C.; BRAGA JÚNIOR, R. A. Rugosidade da Superfície Usinada de Madeiras de Corymbia e Eucalyptus. **II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira**, Belo Horizonte: 2015.

ANDRADE, A. C. de A.; SILVA, J. R. M. da; JUNIOR, R. A. B.; MOULIN, J C. Utilização da Técnica *Sunset* Laser para Distinguir Superfícies Usinadas de Madeira com Qualidades Similares. **Cerne**, v. 22, n. 2, p. 159-162, 2016.

BONDUELLE, Arnaud. **Usinagem, qualidade e custo.** Curso de Engenharia Industrial Madeireira e do Programa de Pós-graduação em Eng. Florestal, UFPR, Curitiba, 2001.

CRUZ, T. M.; BORGES, C. C.; DUARTE, P. J.; SIMETTI, R.; ROSADO, S. C. da S.; SILVA, J. R. M. da. Análise da superfície usinada da madeira de clones de *Toona ciliata* M. Roemer var. *australis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n. 3, p. 809-818, 2020.

FARIAS, M. G. **As questões ambientais e o processo de fresamento em alta velocidade de madeiras de floresta plantada *eucalyptus grandis* e *eucalyptus dunnii*.** 2000. 198p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

GONZÁLEZ, R. V. B. **Rugosidade superficial.** Joinville. 1987.

Indústria Brasileira de Árvores – **IBÁ**. Relatório 2019. Disponível em:< http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf >. Acesso em: 24 de Jan. 2021.

JUNIOR, N. D. De S. **Qualidade de Superfície na Produção de Peças S2S no Setor de Usinagem de uma Indústria de Molduras de Pinus**.2009. 40 p. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

LUCAS FILHO, F. C. **Influência do teor de umidade e da massa específica aparente sobre a resistência e rigidez das madeiras de *Pinus elliottii*, *E.* e *Pinus taeda* L.** 1997. Dissertação de mestrado, PPGEF – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

LUCAS FILHO, F. C. **Análise da usinagem de madeiras visando a melhoria de processos em indústrias de móveis**. 2004. 1741p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

SERPA, P., N.; VITAL, B., R. Propriedades da Madeira de *Pinus Elliottii*. In:**Revista da Madeira**. Viçosa, Ed.89, abr. 2005. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=735&subject=Pinus&title=Propriedades%20da%20madeira%20de%20Pinus%20elliottii. Acesso em: 15 Jul. 2021.

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.

ROTHER, E. T. **Revisão sistemática X revisão narrativa**. *Acta paul. Enferm* 2017; 20(2):v-vi.

SILVA, F. A. V. da; SILVA, J. R. M. da; MOULIN, J. C. M.; NOBRE, J. R. C.; ANDRADE, A. C. de A.; CASTRO, J. P. Qualidade da Superfície Usinada em Pisos de Madeira De *Corymbia* e *Eucalyptus*. **FLORESTA**, Curitiba, v. 46, n. 3, p. 397 - 403, 2016.

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 Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SILVA, J. R. M. et al. A utilização de rugosímetro na qualificação de superfícies usinadas em madeiras de *Eucalyptus* sp. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: EBRAMEN, 2006. 1 CD-ROM.

SILVA, J. R. M.; MARTINS, M.; OLIVEIRA, G. M. V.; BRAGA, P. P. B. Parâmetros de qualidade da usinagem para determinação dos diferentes usos da madeira de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p. 75-83, 2009.

SIQUEIRA, K. P.; MONTEFUSCO, A. R. G.; NETO, A. B. G.; Bonduelle, Arnaud. Principais metodologias de medição de estado de superfícies. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Curitiba, n.32, p.20-28, 02 dez. 2003.

Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI). **Acabador de móveis**. Ubá: CFP/JAGS, 1995. 29 p.

SORAGI, L. C. **Qualidade de superfícies usinadas em madeira de *Toona ciliata* M. Roem.** 2009. 61p. Dissertação (mestrado acadêmico). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

TAYLOR HOBSON. Surtronic 3+ operating instructions. Disponível em: Acesso em: 24 jan. 2021.

TEIXEIRA, C. R., CASANOVA, C. A. M., FERREIRA FILHO, D., FERNANDES, J. A., BALZARETTI, N. M. Influência da anisotropia da madeira no desgaste das ferramentas diamantadas. **Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, 6, 2011, Caxias do Sul: Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas 2011.

WEING, A. Oberflächen qualität. Werkzeug: Präsentation Hydrotechnik, 2000. 1 CD-ROM.

WEISSENSTEIN, C. Usinagem, condições da ferramenta decide bom acabamento. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 57, p. 30-32, 2000.