

AVALIAÇÃO DAS SUPERFÍCIES USINADAS DA MADEIRA DE CARVALHO VERMELHO EM RELAÇÃO AO DESEMPENHO DE UM REVESTIMENTO

Bruna UGULINO¹ e Roger E. HERNÁNDEZ¹

1 - Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval, Québec, Canada

Resumo: O desempenho de um revestimento sobre a madeira é influenciado por diversos fatores, incluindo o modo de preparação da superfície antes da aplicação do mesmo. Nesse sentido, buscou-se com o presente trabalho avaliar os efeitos de dois processos de usinagem (lixamento e corte oblíquo) sobre as propriedades de superfície e o desempenho de um verniz de uso interior. Testes de resistência à tração, antes e após envelhecimento acelerado foram realizados para avaliar o desempenho do verniz. A caracterização das superfícies usinadas foi realizada por meio das análises de rugosidade, imagens de microscopia eletrônica e molhabilidade. Os resultados mostraram que as superfícies lixadas apresentaram menores valores do parâmetro de rugosidade média (S_a) em relação às amostras obtidas pelo corte oblíquo, porém, maiores valores de profundidade da rugosidade do núcleo (S_k), parâmetro este que mostrou-se associado à rugosidade gerada pelo processo. Além disso, as imagens revelaram que estas amostras apresentaram maior nível de fibrilação, células danificadas e lumens preenchidos pelo pó gerado durante o processo, enquanto as superfícies de corte oblíquo apresentaram células abertas e sem danos. Os altos valores de energia de superfície, a alta molhabilidade e melhor resistência do revestimento das amostras lixadas envelhecidas foram associados ao maior nível de fibrilação de suas superfícies. Apesar das amostras de corte oblíquo terem apresentado menor energia de superfície e molhabilidade, estas tiveram valores de perda de adesão semelhantes às amostras lixadas.

Palavras-chave: usinagem da madeira, verniz, lixamento, corte oblíquo, carvalho vermelho.

Abstract: The performance of a coating on wood is influenced by several factors, including how surface is prepared prior to coating. The aim of the present study was to investigate the effects of two machining processes (sanding and oblique cutting) on surface properties and coating performance. Adhesion tests before and after accelerated aging treatments were carried out to evaluate the performance of an interior varnish. Surface quality was assessed through roughness, scanning electron microscopy and wettability analyses. Results showed that sanded surfaces had lower values of average surface roughness parameter (S_a) than oblique cutting samples. However, sanded surfaces also presented higher values of core roughness depth (S_k), which is associated with the surface roughness produced by the process. Moreover, SEM micrographs revealed that these samples had higher level of fibrillation, damaged cells, and lumens filled by the dust generated during the process, while oblique cutting surfaces showed undamaged open cells. The higher surface energy values, better wettability and good strength after aging of sanded samples were associated to the higher level of fibrillation of their surfaces. Despite oblique cutting samples have shown lower surface energy and wettability, these samples had loss in adhesion similar to sanded samples.

Keywords: wood machining, varnish, sanding, oblique cutting, red oak.



1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do efeito de diferentes métodos de usinagem sobre as superfícies de madeira, a fim de melhorar a sua preparação e a aderência de um revestimento é de grande interesse. Dessa forma, o entendimento sobre o correto modo de se usinar a madeira de uma determinada espécie é importante, pois influencia economicamente na produção, reduzindo perdas com a necessidade da adição de mais uma etapa de usinagem (DA SILVA 2010). A madeira de carvalho vermelho é vastamente utilizada para a fabricação de móveis, pisos, molduras e outros produtos de valor agregado. Por conseguinte, é importante que a sua superfície seja preparada de uma maneira satisfatória durante a etapa de acabamento.

O lixamento tem como principal objetivo produzir superfícies livres de defeitos visíveis, bem como tornar estas mais uniformemente absorventes para a aplicação de revestimentos (KOCH, 1964; RICHTER et al., 1995). Este processo é um dos mais utilizados na preparação das superfícies de madeira antes da aplicação de um acabamento. Porém a madeira lixada é caracterizada por uma camada de células esmagadas na superfície e sub-superfície, onde os lumens encontram-se entupidos pelo pó fino. É possível assim verificar arranhões e feixes de microfibrilas arrancadas das paredes celulares. O rasgamento e entupimento das células podem impedir a penetração (MEIJER et al., 1998), enquanto a desfibrilação e os arranhões aceleram a disseminação de revestimentos líquidos em superfícies polidas. Outras questões que envolvem o lixamento são o fato deste processo ser um dos mais demorado e caro na indústria da madeira (TAYLOR et al., 1999). No mais, o processo de lixamento pode gerar uma quantidade excessiva de poeira prejudicial à saúde dos trabalhadores. A este respeito, a utilização de outros processos, tais como o corte oblíquo, por exemplo, são considerados como boas alternativas de substituição ao lixamento.

As propriedades da superfície de madeira também afetam a aplicação e o desempenho dos revestimentos (WILLIAM 2010; ROWELL 2012). Uma característica importante utilizada para avaliar a qualidade das superfícies usinadas é a rugosidade que pode ser relacionada com o desempenho do revestimento. No entanto, somente a análise de rugosidade não consegue descrever completamente as superfícies usinadas. As imagens obtidas pela microscopia eletrônica de varredura (MEV) são frequentemente utilizadas como uma análise qualitativa das superfícies de madeira usinadas e pode corroborar com a avaliação da rugosidade de uma superfície. Outra análise importante que proporciona informação valiosa sobre o desempenho do revestimento é o comportamento de molhabilidade das superfícies de madeira logo depois dos tratamentos de usinagem. Uma alta capacidade de molhabilidade de uma superfície por um adesivo é pré-requisito necessário para a formação de uma forte ligação entre a madeira e o adesivo (FREEMAN e WANGAARD, 1960). Para uma perfeita umectação, a madeira deve estar com rugosidade adequada para que o adesivo possa ser espalhado uniformemente. Segundo Hernández e Cool (2008a), uma boa umectação por parte da madeira é essencial para a adesão, pois esta irá proporcionar melhores interações mecânicas, a nível molecular e entre forças secundárias entre o verniz e a superfície da madeira. Por outro lado, o desempenho de um revestimento pode ser avaliado através dos testes de aderência e de envelhecimento. A resistência à tração de um revestimento é medida por vários métodos tais como o teste de aderência (pull-off). Os testes de envelhecimento acelerado fornecem informações valiosas sobre a durabilidade do sistema de revestimento da madeira em um tempo menor do que os ensaios de intemperismo natural.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de dois processos de usinagem na madeira de carvalho vermelho sobre a qualidade da superfície e o desempenho de um verniz de uso interno. Além do método tradicionalmente utilizado para a preparação

des superfícies antes da aplicação de um revestimento, o lixamento, outro método alternativo, o corte oblíquo, foram estudados.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Cento e oitenta tábuas de carvalho vermelho (*Quercus rubra* L.) foram utilizadas no presente estudo. Inicialmente, essas tábuas foram armazenadas numa sala de condicionamento a 20°C e 40% de umidade relativa (UR) até alcançarem uma umidade final de aproximadamente 8%. As tábuas foram então orientadas na direção longitudinal e dimensionadas com as seguintes medidas: 900 mm (L) de comprimento, 60 mm de largura (T), e 20 mm (R) de espessura. Após o dimensionamento, as espécimens foram divididas em seis grupos, onde cada grupo foi submetido a um tratamento de usinagem. Após os tratamentos, amostras para microscopia (10 mm L), rugosidade (50 mm L), molhabilidade (130 mm L), e aplicação do revestimento (630 mm L) foram retiradas de cada tábua. As amostras envernizadas foram divididas em duas sub-amostras. Uma seção de cada amostra foi submetida a um tratamento de envelhecimento acelerado e a outra permaneceu sem tratamento (Figura 1).

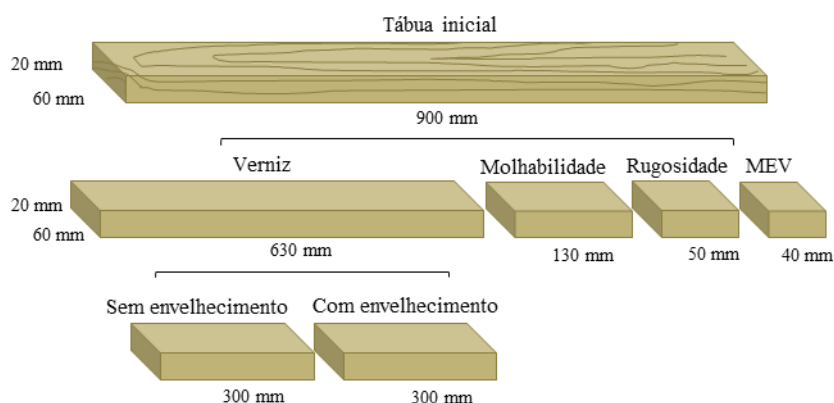


Figura 1. Esquema com as dimensões da tábua inicial e respectivas amostras e sub-amostras utilizadas nas análises estudadas

2.2 Tratamentos de usinagem

Para a realização do tratamento de lixamento foi utilizado uma lixadeira de cinta (Costa, Costa and Grisson Machinert Co, Inc.) equipada com lixas novas de óxido de alumínio. As tábuas destinadas ao ensaio de lixamento foram submetidas a um programa de duas etapas: em um primeiro momento usou-se uma lixa com tamanho de grão P100, seguida por uma lixa P150. As tábuas tiveram suas faces tangenciais lixadas seguindo a orientação das fibras com três diferentes velocidades de avanço 7, 10 e 14 m/min. O corte oblíquo foi realizado com ajuda do equipamento Marunaka Super Meca. As tábuas foram cortadas com três ângulos oblíquos (i) 15, 25 e 35°. A velocidade de avanço e a profundidade de corte utilizadas foram mantidos constantes à 65 m/min e 0,02 mm, respectivamente. A faca de aço de alta velocidade utilizada foi recém afiada e possuía ângulos de ataque (α) e de faca (β) de 32° e 58°, respectivamente. No total, realizou-se seis tratamentos de usinagem com 30 repetições (=30 tábuas) cada.

2.3 Análise microscópica

As superfícies usinadas foram observadas através das imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura (JSM-6360LV, JEOL) operando a uma tensão de aceleração de 15 kV. Duas amostras por tratamento foram selecionadas e redimensionadas em pequenos cubos (1 cm³) que foram utilizados para observar as superfícies tangenciais. Estes cubos foram então anexados a um suporte de alumínio e metalizados. O nível de fibrilação e a presença de lúmens abertos foram os parâmetros utilizados para avaliar estas superfícies.

2.4 Rugosidade

As análises de rugosidade foram realizadas por meio de um rugosímetro óptico (Micromesure) com um sistema de medição em 3D. Uma área de 12,5 mm (L) x 15 mm (T) foi analisada em cada amostra com o auxílio do software Surface Map 2.4.13 utilizando uma frequência de aquisição e uma taxa de leitura de 30Hz e 3mm/s, respectivamente. Os parâmetros de rugosidade foram determinados através do software Mountain. O comprimento de amostragem (cut-off) utilizado foi de 2,5 mm combinado com a aplicação de um filtro Gaussiano Robusto (ISO 1996). O parâmetro de rugosidade média (S_a) foi calculado de acordo com a norma ISO 4287 (ISO 1997). Enquanto os parâmetros de profundidade da rugosidade do núcleo (S_k) e a profundidade da rugosidade reduzida dos vales (S_{vk}) foram calculados a partir da curva de Abbot de acordo com a norma ISO 13565-2 (ISO 1996).

2.5 Molhabilidade e energia de superfície

Para analisar a molhabilidade, foram realizadas medições do ângulo de contato obtidas pela gota séssil com o uso de um goniômetro (FTA D200) logo em seguida dos tratamentos. Água destilada, di-iodometano e formamida foram os líquidos utilizados. Uma gota de cada líquido (2 µl) foi depositada sobre uma mesma amostra com a ajuda de uma micro-seringa. As medições foram realizadas na direção longitudinal das fibras. Os ângulos de contato foram medidos a cada 0,1s, por um período de 120s para água destilada e 30s para os líquidos formamida e diiodometano. Os ângulos de contato de cada líquido foram utilizados para o cálculo da energia de superfície pelo método ácido-base (VAN OSS et al. 1988).

2.6 Procedimento do revestimento

As superfícies foram revestidas logo em seguida dos tratamentos de usinagem. As amostras foram mantidas face à face antes de aplicação do revestimento, a fim de minimizar o risco de contaminação. Três camadas de um verniz à base de solvente foram pulverizadas com uma pistola de pressão à temperatura ambiente de acordo com as especificações do fabricante. A espessura média molhada do filme foi de 200 µm.

2.7 Envelhecimento acelerado

Antes do envelhecimento, as amostras tiveram suas extremidades seladas com parafina para diminuir a troca de umidade durante o tratamento. As amostras foram em seguida colocadas numa câmara climática de simulação ambiental Cincinnati Sub Zero (WM-906-MP2H-3-SC/CC) e foram submetidas a um tratamento de envelhecimento, que consistia de quatro ciclos de 48h à 15% de UR e 50°C, seguido de 48h a 90% de UR e 50°C. Após envelhecimento, as amostras foram re-condicionadas à 20°C e 40% de UR.



2.8 Testes de aderência

O desempenho do verniz sobre as amostras envelhecidas e não-envelhecidas foi avaliado pelo teste de aderência (pull-off), tal como descrito na norma ASTM D4541 (ASTM 2002). Um pino metálico (20 mm de diâmetro) foi colado com um adesivo epóxi de duas partes em cada amostra e deixou-se curar durante 48 horas. Um sulco circular foi, em seguida, feito em torno dos pinos para evitar a propagação de falhas para fora da área ensaiada. Finalmente, os pinos foram retirados do substrato a uma velocidade constante em uma máquina universal de ensaios (MTS QT5, 5kN). A força atingida na ruptura foi registrada e utilizada para determinar a força de resistência à tração de cada amostra.

2.9 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa SAS, versão 9.4. Análises de variância foram realizadas para avaliar os dados de rugosidade e energia de superfície. Os resultados de resistência à tração foram analisados como medidas repetidas com uso do procedimento MIXED.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise das imagens obtidas por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)

Apartir das imagens obtidas por MEV (Figura 2) observou-se que o processo de corte oblíquo gerou superfícies sem defeitos visíveis. As superfícies tangenciais produzidas por este processo aparentam ser mais lisas que as superfícies lixadas. Os lumens das células foram visíveis e livres de resíduos com paredes celulares rompidas ligeiramente. Cool e Hernández (2011a) ao estudarem o desempenho ao colado das superfícies da espécie black spruce (*Picea mariana* Mill. B.S.P.) usinadas por corte oblíquo, reportaram que conforme diminui a quantidade dos lumens disponíveis, diminui a penetração do adesivo nessas superfícies. Visualmente, a variação no ângulo oblíquo (i) não afetou o nível de fibrilação sobre as superfícies da madeira de carvalho vermelho. Dessa forma, a escolha de um ângulo oblíquo que requeira menos potência de corte deve ser favorecido. Porém, o intervalo entre os ângulos oblíquos investigados no presente estudo foi pequeno. Futuros estudos a respeito do efeito do ângulo oblíquo sobre as forças de corte e, conseqüentemente sobre o desgaste da faca devem ser realizados. Além disso, áreas planas foram mais freqüentes sobre estas superfícies. Segundo alguns autores (de MOURA et al., 2010; HERNÁNDEZ e COOL, 2007), estas áreas são, provavelmente, formada durante a ação do corte que ocorre próximo e/ou na lamela média, retirando inteiramente as células das superfícies (Figura 2A, B e C).

As superfícies lixadas tiveram um alto nível de fibrilação. O nível de fibrilação foi maior nas amostras lixadas com as velocidades de avanço 10 e 14 m/min (Figura 2E e F). Conforme aumenta a velocidade de avanço, aumenta a taxa de material removido das superfícies. No mais, as estruturas das células foram severamente modificadas por este processo. A presença de microfibrilas esmagadas e paredes celulares rasgadas caracterizaram estas superfícies (Figura 2D, E e F). Além disso, os grãos abrasivos criaram micro-ranhas ao longo das superfícies, e os lumens foram parcialmente preenchidos pelo pó e tecidos danificados gerados pelo processo. A fibrilação aumenta a área real disponível para a aderência mecânica que pode melhorar a ligação do revestimento com a madeira (HERNÁNDEZ e COOL, 2008a; HERNÁNDEZ e COOL, 2008b; COOL e HERNÁNDEZ, 2011b; RICHTER et al., 1995). No entanto, a penetração de revestimentos ou colas para a

madeira pode ser limitada pela camada de células danificadas na superfície (FUJIWARA et al., 2003). Isto sugere que uma combinação de lúmens abertos e certo grau de fibrilação sejam desejáveis para melhorar a difusão do revestimento e assim melhorar o seu desempenho.

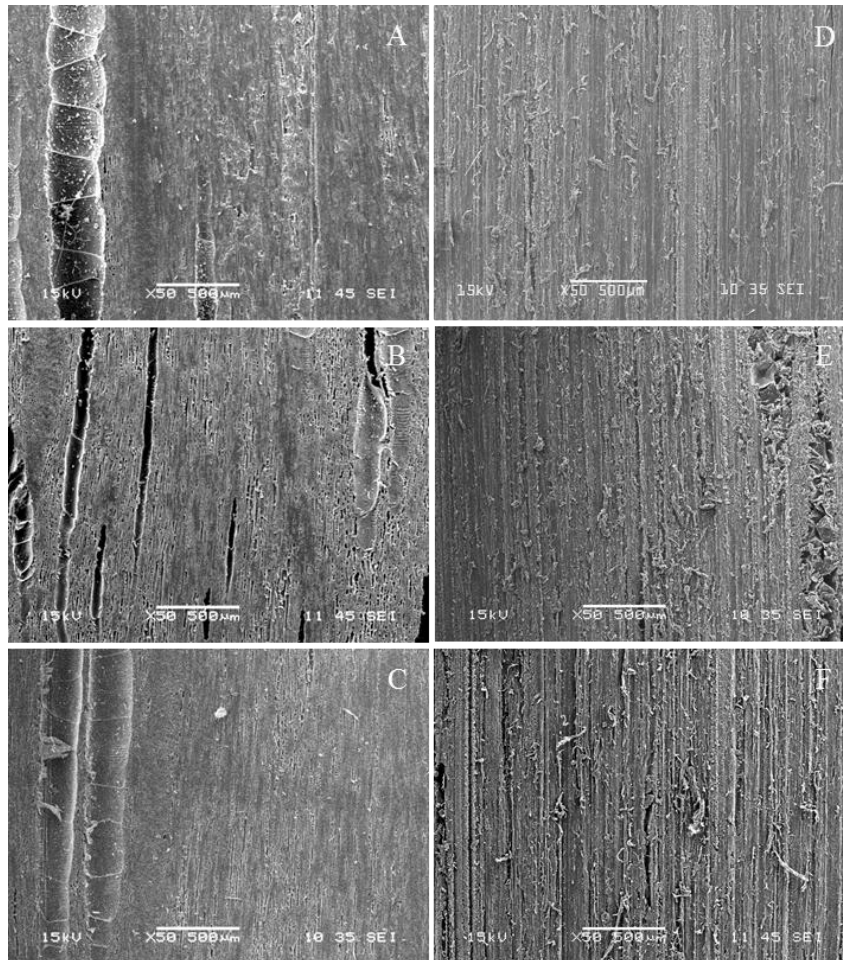


Figura 2. Imagens de microscopia eletrônica de varredura das faces tangenciais das amostras usinadas, onde A, B e C correspondem as amostras usinadas com corte oblíquo com os respectivos ângulos i :15, 25 e 35°, e D, E e F correpondem as amostras lixadas com a seqüência de lixas de grã P100-150 e respectivas velocidades de avanço: 7, 10 e 14 m/min

3.2 Rugosidade

Apesar do corte oblíquo ter visualmente apresentado superfícies mais lisas do que as de amostras lixadas (Figura 2); estas superfícies apresentaram maiores valores do parâmetro de rugosidade média da superfície (S_a), conforme mostrado na Tabela 1. Os lumens dos vasos, raios e fibras são claramente visíveis nestas superfícies o que provavelmente aumentou esse valor de rugosidade da superfície. Como relatado anteriormente, as superfícies lixadas são mais uniformes devido à combinação de danos celulares e o preenchimento dos lumens pelo pó gerado durante o lixamento (GURAU et al., 2005). S_a é um indicador de rugosidade que representa uma medida geral da textura compreendendo uma superfície. Além disso, estudos anteriores (TAN et al., 2012; GURAU, 2014; HERNÁNDEZ e COOL, 2007; de MOURA e HERNÁNDEZ, 2006a) demonstraram que a caracterização da rugosidade da superfície apenas com base no parâmetro de rugosidade média não é suficiente para a avaliação do

processo de usinagem em madeiras que apresentam a textura grossa (como o carvalho vermelho), devido ao fato deste parâmetro de rugosidade ser extremamente sensível aos valores produzidos pela presença dos vasos.

Por outro lado, os valores mais baixos dos parâmetros de profundidade da rugosidade do núcleo (S_k), o qual descreve a rugosidade devido o processo de usinagem (TAN et al., 2012; WESTKÄMPER e RIEGEL, 1993), foram encontrados para as superfícies usinadas com corte oblíquo (Tabela 1). Os maiores valores de S_k foram encontrados nas superfícies lixadas. Este resultado pode ser explicado pelas irregularidades na superfície causadas pelas partículas de grão abrasivo durante o processo de lixamento, que mudam drasticamente as estruturas anatômicas aumentando a rugosidade devido ao processo. Além disso, esses resultados foram corroborados pelos achados das imagens MEV (Figura 2), onde o efeito dos grãos abrasivos pode ser visualizado nas superfícies tangenciais.

Tabela 1. Valores médios dos parâmetros de rugosidade (μm)

Tratamentos		Parâmetros de rugosidade (μm)		
		S_a	S_k	S_{vk}
Lixamento	P100-150 7m/min	8,6 ^{C*} (1,0)	14,0 ^A (0,6)	43,9 ^C (5,8)
	P100-150 10m/min	8,0 ^C (1,0)	14,3 ^A (0,6)	38,7 ^C (5,8)
	P100-150 14m/min	8,0 ^C (1,0)	14,6 ^A (0,6)	38,1 ^C (5,8)
Corte oblíquo	15°	18,7 ^A (1,0)	5,1 ^C (0,6)	110,9 ^B (5,8)
	25°	15,9 ^B (1,0)	7,4 ^B (0,6)	95,1 ^B (5,8)
	35°	19,9 ^A (1,0)	6,7 ^{BC} (0,6)	127,9 ^A (5,8)

*Os valores são médias (valores entre parênteses são de erro padrão) de 30 repetições. Médias seguidas de uma mesma letra, dentro de cada coluna, não diferem entre si, a 5% de significância. Onde S_a : rugosidade média, S_k : profundidade da rugosidade do núcleo, e S_{vk} : a profundidade da rugosidade reduzida dos vales.

As amostras preparadas pelo processo de lixamento apresentaram valores menores e estatisticamente diferentes do parâmetro de profundidade da rugosidade reduzida dos vales (S_{vk}), em relação as amostras usinadas com corte oblíquo. Parâmetro este que é relacionado com rugosidade devido à anatomia da madeira (TAN et al., 2012; WESTKÄMPER e RIEGEL, 1993). Isto sugere que a presença de lúmens abertos nas superfícies preparadas por corte oblíquo contribuiu para aumentar o parâmetro S_{vk} através do aumento da linha média do perfil de rugosidade (GURAU et al., 2005). Além disso, este resultado confirma o fato do lixamento uniformizar a superfície e minimizar a influência da anatomia da madeira (de MOURA e HERNÁNDEZ, 2005).

3.3 Molhabilidade

Os ângulos de contato em função do tempo são apresentados na Figura 3. Amostras lixadas tiveram um umedecimento mais rápido, seguido por corte oblíquo. Como citado anteriormente, as imagens obtidas pela MEV das amostras de carvalho vermelho mostraram que superfícies lixadas apresentaram superfícies rugosas e mais danificadas do que aquelas de

cutâneo oblíquo. O alto nível de fibrilação produzido pelo lixamento ofereceu a melhor condição para o espalhamento da água ao longo das superfícies da madeira. Os riscos deixados pelos grãos abrasivos acelerou a condução de água através da ação capilar (de MOURA e HERNÁNDEZ, 2006a).

Além disso, a maior energia de superfície total (γ_s) foi observada em superfícies lixadas. Os maiores valores do componente apolar (γ_s^{LW}) também foram encontrados nessas amostras (Tabela 2). Segundo Garnier e Glasser (1996), a componente γ_s^{LW} em materiais celulósicos depende principalmente da presença e da concentração de grupos de hidroxilas livres na superfície. As microfibrilas destacadas das paredes celulares podem aumentar a quantidade desses grupos disponíveis na superfície. Assim, o valor mais elevado da componente γ_s^{LW} em superfícies lixadas pode ser devido ao aumento das áreas de grupos de hidroxilas expostas na superfície. O componente receptor de elétrons (γ_s^+) e o componente doador de elétrons (γ_s^-) da energia de superfície podem ser utilizados na contribuição dos caracteres ácidos e básicos para a adesão na interface (GINDL et al., 2001). Os valores de γ_s^- foram muito mais elevados do que os dos γ_s^+ em todos os tratamentos de usinagem (Tabela 2). Isto significa que estas superfícies são capazes de participar em interações polares com materiais ácidos. As amostras lixadas e geradas pelo corte oblíquo apresentaram valores semelhantes de ambos componentes, o que poderia indicar que estas superfícies podem apresentar um desempenho semelhante após o revestimento.

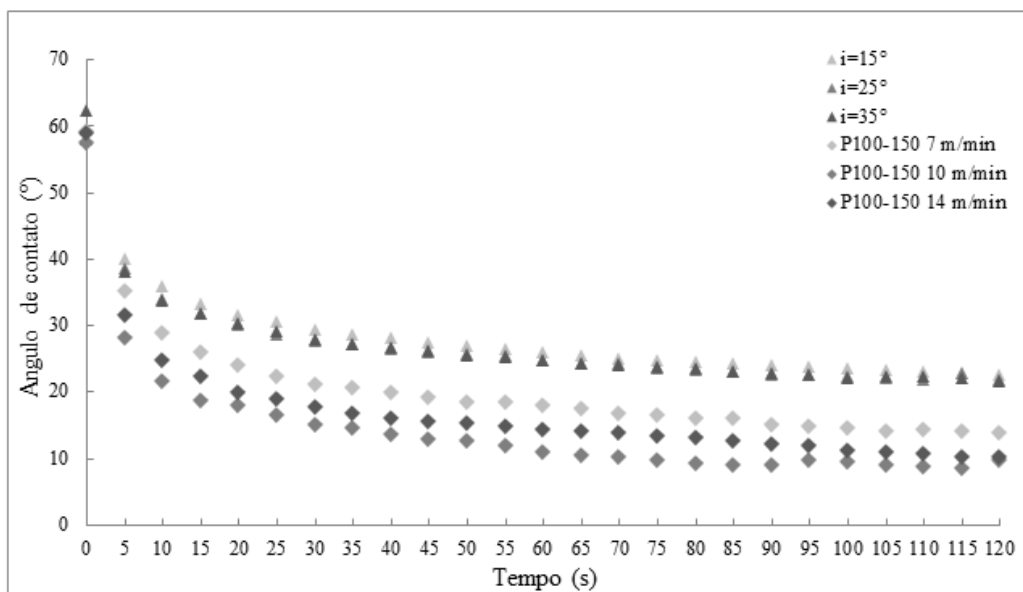


Figura 3. Ângulos de contato de água destilada (H₂O) em função do tempo (s) sobre as superfícies usinadas

**Tabela 2.** Valores médios dos componentes de energia de superfície (mJ/m²)

Tratamentos		Componentes da energia de superfície (mJ/m ²)				
		γ_s	γ_s^{LW}	γ_s^{AB}	γ_s^+	γ_s^-
Lixamento	P100-150 7m/min	59,3 ^{A*} (0,3)	50,3 ^A (0,3)	9,0 ^{BC} (0,3)	1,5 ^{AB} (0,1)	14,9 ^B (1,4)
	P100-150 10m/min	59,1 ^A (0,3)	50,3 ^A (0,3)	8,8 ^C (0,3)	1,3 ^B (0,1)	18,5 ^A (1,4)
	P100-150 14m/min	59,4 ^A (0,3)	50,3 ^A (0,3)	9,1 ^{BC} (0,3)	1,5 ^{AB} (0,1)	16,1 ^{AB} (1,4)
Corte oblíquo	15°	54,8 ^C (0,3)	45,2 ^C (0,3)	9,6 ^A (0,3)	1,6 ^{AB} (0,1)	17,8 ^A (1,4)
	25°	55,9 ^B (0,3)	46,4 ^B (0,3)	9,5 ^{AB} (0,3)	1,4 ^B (0,1)	18,7 ^A (1,4)
	35°	54,7 ^C (0,3)	44,8 ^C (0,3)	9,9 ^A (0,3)	1,7 ^A (0,1)	18,1 ^A (1,4)

*Os valores são médias (valores entre parênteses são de erro padrão) de 30 repetições. Médias seguidas de uma mesma letra, dentro de cada coluna, não diferem entre si, a 5% de significância.

3.4 Desempenho do verniz

Os resultados de resistência à tração das amostras não envelhecidas mostram que aquelas lixadas apresentaram valores superiores as amostras de corte oblíquo (Tabela 3). Todavia, após o tratamento de envelhecimento, as amostras de corte oblíquo apresentam valores similares. Apesar dos valores mais baixos de força de resistência à tração antes do envelhecimento, as amostras de corte oblíquo apresentaram perda de adesão (%) semelhante ao lixar (Tabela 3). Em geral, as amostras de corte oblíquo perderam 24%, enquanto as amostras lixadas 31% de adesão. Como mencionado antes, o certo nível de fibrilação é o que provavelmente assegurou uma melhor aderência do revestimento às superfícies lixadas após o teste de envelhecimento acelerado. A área entre substrato e revestimento aumenta à medida que aumenta a rugosidade da superfície, o que poderia explicar a melhor adesão das superfícies mais ásperas. Os resultados de adesão das amostras lixadas concordam com os resultados em estudos anteriores (de MOURA e HERNÁNDEZ 2005, 2006a, 2006b; COOL e HERNÁNDEZ 2011b) que relataram que a fibrilação pode melhorar a adesão de revestimentos ao aumentar a área disponível para a ancoragem mecânica. No entanto, a fibrilação pode reduzir a aderência do revestimento, se as células danificadas não estão firmemente ligadas à superfície (COOL e HERNÁNDEZ 2011b). A presença de áreas planas nas superfícies com corte oblíquo pode ter sido responsável pelo baixo valor de aderência das amostras sem envelhecimento. Porém, a disponibilidade de lumens, vasos e raios abertos poderia ter aumentado à penetração adesiva e ter diminuído o impacto do intemperismo nessas superfícies.

Tabela 3. Valores médios de resistência à tração (MPa) das amostras com e sem o tratamento de envelhecimento acelerado

Tratamentos		Resistência à tração (MPa)		Perda de adesão (%)
		Amostras não envelhecidas	Amostras envelhecidas	
Lixamento	P100-150 7m/min	5,9 ^{A*} (0,3)	4,0 ^B (0,1)	29 ^B (2,1)
	P100-150 10m/min	6,7 ^A (0,3)	4,0 ^B (0,1)	38 ^A (2,1)
	P100-150 14m/min	6,4 ^A (0,3)	4,5 ^A (0,1)	28 ^B (2,1)
Corte oblíquo	15°	5,4 ^B (0,3)	3,9 ^{BC} (0,1)	26 ^{BC} (2,1)
	25°	4,6 ^C (0,3)	3,4 ^D (0,1)	24 ^{BC} (2,1)
	35°	4,8 ^C (0,3)	3,7 ^C (0,1)	22 ^C (2,1)

*Os valores são médias (valores entre parênteses são de erro padrão) de 30 repetições. Médias seguidas de uma mesma letra, dentro de cada coluna, não diferem entre si, a 5% de significância.

4. CONCLUSÃO

As superfícies lixadas mostraram boa molhabilidade, alta rugosidade devido ao processo e altos valores de resistência à tração após o tratamento de envelhecimento acelerado em comparação as amostras de corte oblíquo. O nível de fibrilação produzido por este processo promoveu uma melhor adesão entre estas superfícies e o verniz. As amostras de corte oblíquo apresentaram uma molhabilidade intermediária, menor rugosidade devido ao processo e valores de perda de adesão semelhante as amostras lixadas, mostrando potencial como processo de usinagem alternativo ao lixamento para as superfícies de carvalho vermelho. Porém, a realização de mais estudos para otimizar o nível de fibrilação para garantir uma melhor aderência à longo prazo e não ser considerado como um defeito de superfície é necessário.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e ao Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC) pela concessão da bolsa de estudo e pelo financiamento do projeto de pesquisa, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM D4541. Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers. ASTM, Philadelphia, 2002.

COOL, J.; HERNÁNDEZ, R.E. Evaluation of four surfacing methods on black spruce wood in relation to poly (vinyl acetate) gluing performance. WOOD AND FIBER SCIENCE, v.43, n.2, p.194-205. 2011a.



COOL, J.; HERNÁNDEZ, R.E. Performance of three alternative surfacing processes on black spruce wood surfaces in relation to water-based coating adhesion. *WOOD AND FIBER SCIENCE*, v.43, n.4, p.365-378. 2011b.

da SILVA, B.T.B. Avaliação da usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). 2010. 29p. Monografia (bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade Rural Federal do Rio de Janeiro, Seropédica.

de MOURA, L.F.; HERNÁNDEZ, R.E. Evaluation of varnish coating performance for two surfacing methods on sugar maple wood. *WOOD AND FIBER SCIENCE*, v.37, n.2, p.355-366, 2005.

de MOURA, L.F.; HERNÁNDEZ, R.E. Effects of abrasive mineral, grit size and feed speed on the quality of sanded surfaces of sugar maple wood. *WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY*, v.40, n.6, p.517-530, 2006a.

de MOURA, L.F.; HERNÁNDEZ, R.E. Evaluation of varnish coating performance for three surfacing methods on sugar maple wood. *FOREST PRODUCTS JOURNAL*, v.56, n.11/12, p.130-136, 2006b.

de MOURA, L.F.; COOL, J.; HERNÁNDEZ, R.E. Anatomical evaluation of wood surfaces produced by oblique cutting and face milling. *IAWA JOURNAL*, v.31, n.1, p.77-88, 2010.

FREEMAN, H.A.; WANGAARD, F.F. Effect of wettability of wood on glue-line behavior of two urea resins. *FOREST PRODUCTS JOURNAL*, v.9, n.12, p.451-458, 1960.

FUJIWARA, Y.; FUJII, Y.; OKUMURA, S. Effect of removal of deep valleys on the evaluation of machined surfaces of wood. *FOREST PRODUCTS JOURNAL*, v.53, p.58-62, 2003.

GARNIER, G.; GLASSER, W.G. Measuring the surface energies of spherical cellulose beads by inverse gas chromatography. *POLYMERS ENGINEERING AND SCIENCE*, v.36, n.6, p.885-894, 1996.

GINDL, M.; SINN, G.; REITERER, A.; TSCHEGG, S. Wood surface energy and time dependence of wettability: A comparison of different wood surfaces using an acid-base approach. *HOLZ ALS ROH- UND WERKSTOF*, v.55, n.4, p.433-440, 2001.

GURAU, L. The influence of earlywood and latewood upon the processing roughness parameters at sanding. *PRO LIGNO*, v.10, n.3, p.26-33, 2014.

GURAU, L.; MANSFIELD-WILLIAMS, H.; IRLE, M. The influence of wood anatomy on evaluating the roughness of sanded solid wood. *JOURNAL OF INSTITUTE OF WOOD SCIENCE*, v.17, n.2, p.65-74, 2005.

HERNÁNDEZ, H.; COOL, J. Evaluation of water and solvent-borne coating performance for three surfacing methods on paper birch wood. In: *PROCEEDINGS OF THE THIRD INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD MACHINING*, Lausanne, Switzerland, 2007. p. 55-58.



HERNÁNDEZ, R.E.; COOL, J. Effects of cutting parameters on surface quality of paper birch wood machined across the grain with two planing techniques. *HOLZ ALS ROH-UND WERKSTOFF*, v.66, n.2, p.147-154, 2008a.

HERNÁNDEZ, R.E.; COOL, J. Evaluation of three surfacing methods on paper birch wood in relation to water and solvent-borne coating performance. *WOOD AND FIBER SCIENCE*, v.40, n.3, p.459-469., 2008b.

KOCH, P. Wood machining processes. Ronald Press, New York. 1964. 530 p.

ISO 13565-2. Geometrical product specifications (GPS). Surface texture. Profile method; Surfaces having stratified functional properties. Part 2: Height characterization using the linear material ratio curve. International Standards Organization. British Standards Institute, London, 1996.

ISO 4287. Geometrical product specifications (GPS) – Surface Texture: profile method – Terms – Definition and surface texture parameters. British Standards Institute, London, 1998.

MEIJER, M.; THURICH, K.; e MILITZ, H. Comparative study on penetration characteristics of modern wood coatings. *WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY*, n.32, v.5, p.347-365, 1998.

RICHTER, K.; FEIST, W.C.; KNAEBE, M.T. The effect of surface roughness on the performance of finishes. Part 1. Roughness characterization and stain performance. *FOREST PRODUCTS JOURNAL*, v.45, n.7/8, p.91-97, 1995.

ROWELL, R.M. Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Second Edition. CRC Press, New York, 2012, 703p.

TAN, P.L.; SHARIF, S.; SUDIN, I. Roughness models for sanded wood surfaces. *WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY*, v.46, p.129-142, 2012.

TAYLOR, J.B.; CARRANO, A.L.; LEMASTER, R.L. Quantification of process parameters in a wood sanding operation. *FOREST PRODUCTS JOURNAL*, v.49, n.5, p.41-46, 1999.

VAN OSS, C.J.; CHAUDHURY, M.K.; GOOD, R.J. Interfacial Lifshitz-van der Waals and polar interactions in macroscopic systems. *CHEMISTRY REVIEWS*, v.88, p.927-941, 1988.

WESTKÄMPER, E.; RIEGEL, A. Qualitätskriterien für Geschliffene Massivholzoberflächen. *HOLZ ALS ROH-UND WERKSTOFF*, v.51, n.2, p.121-125, 1993.

WILLIAMS, S.R. General Technical Report FPL-GTR-190. In: Wood Handbook, chapter 16: Finishing of Wood. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products. Madison: 2010.