



## INFLUÊNCIA DA CURA POR ULTRAVIOLETA NA RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DE JUNTAS COLADAS DE MADEIRA

BÁRBARA MARIA RIBEIRO GUIMARÃES DE OLIVEIRA; PEDRO HENRIQUE GARCIA DE CASTRO RIBEIRO; THIAGO ADORNO DE ALMEIDA; LETICIA CATTAPRETA; GUSTAVO HENRIQUE DENZIN TONOLI

### RESUMO

A cura através de radiação é uma tecnologia em expansão, proveniente de benefícios tanto em termos tecnológicos quanto ambientais e econômicos no setor de aplicações industriais para secagem de tintas, revestimentos, adesivos e outros materiais que são sensíveis à luz ultravioleta (UV). O sistema ultravioleta é um processo fotoquímico que utiliza luz ultravioleta como agente de cura em tintas, adesivos e vernizes entre outros materiais. Os adesivos curados por ultravioleta (UV) têm atraído muita atenção em diferentes áreas industriais graças a baixa perda de energia e poluição ambiental. Desta forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito da aplicação do ultravioleta (UV) e foto iniciador na redução do tempo de secagem em juntas de madeira de *Pinus* sp. A resistência desta linha de cola foi avaliada pelo teste de cisalhamento. Para tanto foram preparados 10 corpos de prova por tratamento com a dimensão de 0,7 x 2,5 x 10 cm (espessura x largura x comprimento). Foi utilizada a gramatura 190 g.m<sup>-2</sup> para a aplicação do adesivo sobre a madeira. Foram realizados 3 tratamentos que constituíram: 1) Controle: apenas silicato de sódio; 2) Silicato + UV (ultra violeta); 3) Silicato + UV (ultra violeta) + Fotoiniciador 2,4,6-trimetilbenzoidiFenilfosfineoxido (TPO) em uma concentração de 1% (m/m). A aplicação do ultravioleta sobre o adesivo seguiu os seguintes parâmetros: Tempo de aplicação de 5 segundos, distância entre a madeira e o ultravioleta de 5cm. Foi observado que o ultravioleta não alterou a resistência ao cisalhamento dos corpos de prova e que a adição de fotoiniciadores reduziu a resistência dos corpos de prova.

**Palavras-chave:** fotoiniciador; adesivo;luz, Pinus; cura.

### 1 INTRODUÇÃO

Tecnologias emergentes de cura por radiação têm sido amplamente aplicadas na indústria, como o uso de fontes de radiação ultravioleta (UV) e feixes de elétrons na fabricação de revestimentos, tintas, adesivos, artes gráficas, microeletrônica e encapsulamentos (CORCIONE, FRIGIONE, ACIERNO, 2009). Entre os vários métodos de fotocura, os sistemas de cura UV são especialmente populares devido às suas vantagens, como a cura rápida (geralmente em menos de 1 segundo), propriedades de filme superiores e a ausência de compostos orgânicos voláteis (VOC). Esses aspectos oferecem vantagens significativas em relação aos processos convencionais de cura térmica à base de solventes, que enfrentam crescente pressão das agências reguladoras para reduzir a emissão de solventes no meio ambiente (ABADIE; MANOLE; FETECAU, 2020).

Durante o processo de cura UV, os fotoiniciadores desempenham um papel crucial, pois têm a capacidade de absorver radiação de energia em comprimentos de onda específicos e gerar intermediários ativos (como radicais livres ou cátions), que iniciam a polimerização do sistema

de pré-polímero, resultando na formação de um revestimento polimérico ou de uma rede reticulada (KANDIRMAZ; GENÇOĞLU; KAYAMAN APOHAN, 2019; YU et al., 2019).

Na polimerização de tintas, vernizes e resinas curáveis por UV, utiliza-se uma unidade de cura que emite luz ultravioleta (UV), cuja frequência eletromagnética ativa o fotoiniciador para gerar radicais livres por meio de uma reação fotoquímica (COKBAGLAN et al., 2003). Os fotoiniciadores absorvem a radiação UV, produzindo as espécies reativas necessárias para iniciar a reação de polimerização. A radiação UV também fornece calor ao sistema, permitindo que as condições ideais de cura sejam atingidas (MELO et al., 2020).

Para avaliar o desempenho de um adesivo, é comum submetê-lo a tensões, como no teste de resistência ao cisalhamento na linha de cola, sob condições controladas de umidade e temperatura durante um tempo específico (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

A formação da linha de cola e a qualidade da ligação adesiva dependem de vários fatores, incluindo: a) as propriedades físicas e estruturais do adesivo; b) as propriedades químicas do adesivo e da madeira/substrato (como capacidade tampão e viscosidade); e c) as propriedades físicas e estruturais da madeira/substrato (como porosidade, densidade e resistência mecânica) (FOLLRICH et al., 2007). Além disso, o tipo de adesivo utilizado, o tempo de cura e a pressão aplicada durante o processo de colagem também influenciam a adesão (NASCIMENTO et al., 2013).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a cura e fotocura de resina de silicato de sódio, analisando a resposta de resistência ao cisalhamento.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### Materiais utilizados

Para esse trabalho utilizou madeira de *Pinus sp.* obtidas do laboratório de Engenharia de Biomateriais da Universidade Federal de Lavras.

Para a colagem da madeira foi utilizado o adesivo silicato de sódio obtido da empresa PQ Corporation apresentando as seguintes características: densidade básica: 1,410g/cm<sup>3</sup> e viscosidade: 88 cP.

### Preparo das amostras

Para o preparo dos corpos de prova para o teste de cisalhamento, as amostras de madeira previamente aclimatadas foram aplainadas e cortadas utilizando uma serra circular, resultando em dimensões finais de 0,7 x 2,5 x 10 cm (espessura x largura x comprimento). Foi utilizada uma gramatura de 190 g/m<sup>2</sup> de adesivo para aplicação do adesivo sobre a madeira. Para aplicação desse adesivo sobre a madeira utilizou-se uma espátula para espalhamento do adesivo sobre toda superfície desejada. A área de colagem de cada corpo de prova foi de 2,5 x 5 cm (largura x comprimento). Esses procedimentos foram repetidos para todos os tratamentos. A concentração de fotoiniciador utilizada foi de 1% (m/m).

A aplicação da radiação ultravioleta sobre o adesivo seguiu os seguintes parâmetros: tempo de aplicação de 5 segundos, distância de 5 cm entre a madeira e a fonte de ultravioleta, sendo a radiação aplicada logo após o espalhamento do adesivo. O equipamento utilizado para a aplicação da radiação ultravioleta foi o Fast Curing One 200W, com as seguintes especificações: área de exposição de 210 x 90 mm a 10 cm (120°), tensão de 220V, frequência de 50/60 Hz, potência nominal de 240W e tipo de onda UVA. Ao todo, foram realizados três tratamentos, cujos corpos de prova foram avaliados após 24 horas de secagem ao ar livre.

O delineamento experimental foi: T1: Corpos de prova que receberam apenas o adesivo, enquanto nos tratamentos T2, os corpos de prova receberam adesivo de silicato de sódio, seguido da aplicação de radiação ultravioleta. Já o tratamento T3 os corpos de prova receberam adesivo de silicato de sódio misturados ao fotoiniciador 2,4,6-

trimetilbenzoildiFenilfosfineoxido, seguido da aplicação de radiação ultravioleta. Após essa etapa os diferentes corpos de prova foram secos por 24 horas ao ar livre para posterior avaliação da resistência da linha de cola.

A partir das juntas coladas, confeccionou-se 10 corpos de prova para cada tratamento para avaliação ensaios de resistência ao cisalhamento na linha de cola conforme a metodologia descrita na NBR 7190 (ABNT, 1997).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para que a colagem seja eficiente o adesivo deve apresentar um desempenho superior ao da própria madeira, de modo que as tensões resultantes causem a ruptura da madeira e não da linha de cola. Desta forma, a figura 1 vem mostrar o comportamento dos diferentes tratamentos realizados na resistência ao cisalhamento.

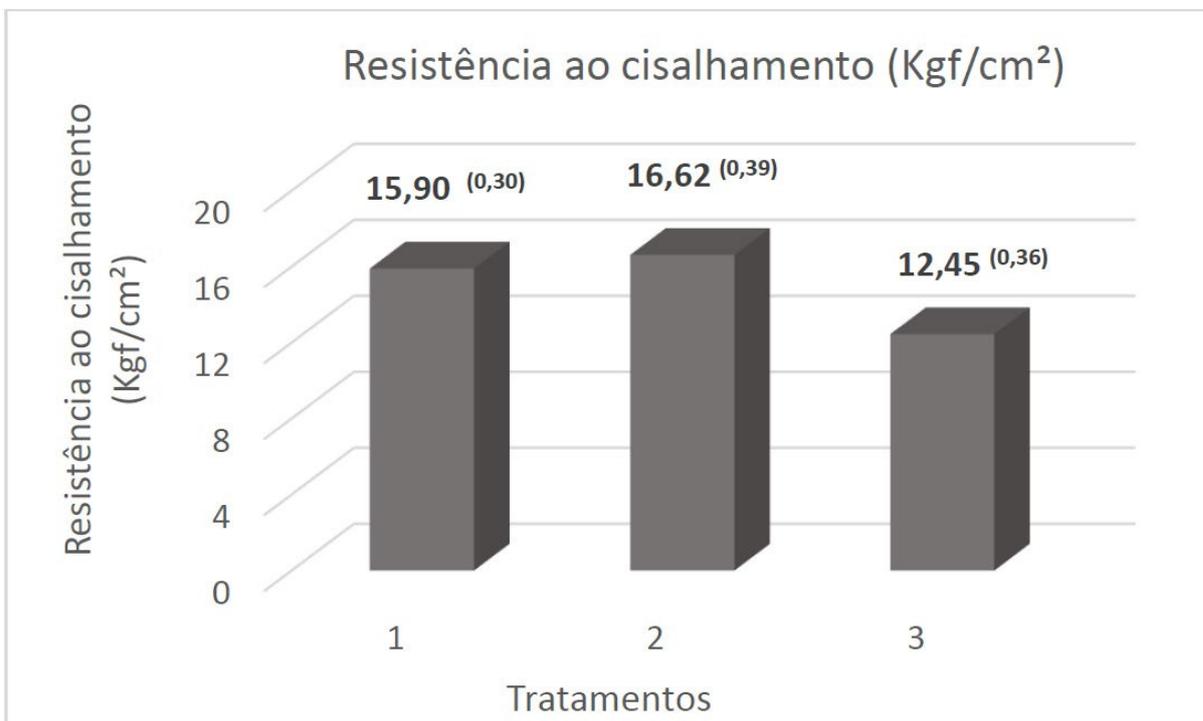


Figura 1 Resistência aos cisalhamentos em Kgf/cm<sup>2</sup> para os diferentes tratamentos. Onde 1: Corpos de prova que receberam apenas o adesivo, enquanto 2 foi o tratamento onde os corpos de prova receberam adesivo de silicato de sódio, seguido da aplicação de radiação ultravioleta, 3 tratamentos onde os corpos de prova receberam adesivo de silicato de sódio misturados ao fotoiniciador 2,4,6-trimetilbenzoil-diFenil fosfine oxido, seguido da aplicação de radiação ultravioleta.

Para uma colagem de sucesso é necessário que o adesivo tenha um desempenho superior ao da madeira, ou seja, as tensões devem gerar um rompimento na madeira e não na linha de cola. Foi observado pouca alteração quando aplica-se o ultravioleta sem adição de fotoiniciador na resistência ao cisalhamento. Indicando que o adesivo silicato de sódio não pode ser fotoativado na presença de luz ultravioleta.

Já o tratamento utilizando a mistura do fotoiniciador (TPO com silicato de sódio) foi o tratamento que promoveu os mais baixos valores de resistência ao cisalhamento na linha de cola, ou seja, este apresentou uma adesão mais fraca. Esse fato pode explicado devido a solidificação instantânea superficial ocorrida durante a aplicação do ultravioleta sobre o adesivo e fotoiniciador. Essa polimerização superficial do adesivo prejudica a etapa de colagem das faces de madeira, pois quando ocorre a etapa de união das faces da madeira o adesivo encontra-

se parcialmente polimerizado prejudicando desta forma o desempenho na linha de cola do adesivo. Esse fato corrobora com a afirmação de Carneiro (2012), segundo os autores o tempo de trabalho dos adesivos não deve curto, pois pode acarretar polimerização rápida do adesivo, provocando queda na resistência da linha de cola.

#### 4 CONCLUSÃO

- A madeira de Pinus pode ser utilizada na avaliação da resistência da linha de cola de silicato de sódio.
- A aplicação de ultravioleta ao adesivo silicato de sódio não altera sua resistência.
- A adição de fotoiniciador ao adesivo acelera a fotocura promovendo redução da resistência da linha de cola pela polimerização instantânea do adesivo.

#### REFERÊNCIAS

ABADIE, M. J.M.; MANOLE, I.; FETECAU, C. Photosensitive formulation for additive manufacturing-3D printing. **Materiale Plactice**, v. 57, n.1, p.141-152, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. São Paulo, 1997. 107p.

CARNEIRO, A et al. Kinetic parameters of adhesives produced from tannin *Anadenanthera peregrina* and *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**. 36. 767-775,2012.

COKBAGLAN, L.; ARSU, N.; YAGCI, Y.; JOCKUSCH, S.; TURRO, N.J. 2-Mercaptothioxanthone as a Novel Photoinitiator for Free Radical Polymerization. **Macromolecules**, V. 36, p. 2649, 2003.

CORCIONE, C. E.; FRIGIONE, M.; ACIERNO, D. Rheological Characterization of UV-Curable Epoxy Systems: Effects of o-Boehmite Nanofillers and a Hyperbranched Polymeric Modifier. **Journal of Applied Polymer Science**, Vol. 112, 1302–1310, 2009.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook: wood as an engineering material. Madison: U.S. **Department of Agriculture**; 1999. 463 p.

FOLLRICH, J.; TEISCHINGER, A.; GINDL, W.; MÜLLER, U. Effect of grain angle on shear strength of glued end grain to flat grain joints of defect-free softwood timber. **Wood Science and Technology**, v. 41, p. 501-509, 2007.

KANDIRMAZ. E.A.; GENÇOĞLU, E.N.; KAYAMAN APOHAN, N. The synthesis of new type II polymeric photoinitiator (thioxantone) via atom transfer radical polymerization and their curing and migration studies, *Macromol. Res.* n. 27, p. 756–763,2019.

MELO, S. R. DE ANDRADE et al. (2020). Analysis of different photopolymerization systems of resin materials - Literature Review. **Rev Fac Odontol Univ Fed Bahia**, V. 50, n. 2, p. 41-52, 2020.

NASCIMENTO, A. M.; GARCIA, R. A.; DELLA LUCIA, R. M. Qualidade de adesão de juntas coladas de diferentes espécies comerciais de madeira. **Cerne**, v. 19, n. 4, p. 593-601, 2013.

YU, J. et al. Naphthalimide aryl sulfide derivative norrish type I photoinitiators with excellent stability to sunlight under Near-UV LED, **Macromolecules**, v. 52, 1707–1717. 2019.