

INCREMENTO DE NANOFIBRILAS DE CELULOSE EM COMPÓSITOS POLÍMERO-MADEIRA

ANDREY PEREIRA ACOSTA¹; MARIO PINTO DA SILVA JÚNIOR²; KELVIN
TECHERA BARBOSA²; EZEQUIEL GALLIO²; HENRIQUE VAHL RIBEIRO²;
DARCI ALBERTO GATTO³

¹Universidade Federal de Pelotas– andreysvp@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas– mariosilva.eng@gmail.com; egeng.florestal@gmail.com;
kelvintecherabarbosa@gmail.com; henrique.vahl.ribeiro@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas– darcigatto@yahoo.com

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um material que pode apresentar limitações quando usada de forma *in natura*, em função da finalidade, precisando assim de tratamentos que modifiquem positivamente suas propriedades (ACOSTA et al., 2019).

Diferentes monômeros poliméricos e resinas têm sido empregadas em tratamentos de gêneros florestais, incluindo metacrilato de metila (DING et al., 2012; KOUBAA et al., 2012). O interesse da utilização de metil metacrilato (MMA) na impregnação de derivados madeireiros, é devido a sua fácil sintetização, baixo custo, translucidez, boa estabilidade química e pela facilidade de catálise (ZHANG et al., 2005; DONG et al., 2015).

Ainda assim o incremento de outros materiais podem potencializar a matriz, com isso as fibras e cristais de nanocelulose são frequentemente adicionados para melhorar sua resistência mecânica. (PRAMANIK, 2019).

Com a exploração desenfreada das florestas nativas, alternativa mais imediata tem sido o emprego da madeira de reflorestamento, em particular, o gênero de *Pinus*, frequente nas regiões sul e sudeste do país. (STOLF, 2005). O *Pinus elliottii*, é uma das alternativas mais viáveis atualmente, visto que é uma madeira que tem um rápido crescimento e o uso dessa madeira tem diversas aplicações.

Entretanto, a espécie de *Pinus elliottii* que é disponível no mercado não apresenta propriedades físico-mecânicas que as tornem capazes de promover a substituição das espécies tradicionalmente empregadas (STOLF, 2005).

Com isso este trabalho teve como objetivo a avaliação de propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus elliottii* polimerizada *in situ* com MMA incrementando nanofibrilas de celulose.

2. METODOLOGIA

Utilizou-se para o desenvolvimento deste trabalho madeira de alburno da espécie de *Pinus elliottii*, com cerca de 22 anos de idade. Confeccionaram-se 10 corpos de prova com medidas de 15 x 15 x 250 mm nos planos radial, tangencial e longitudinal, respectivamente, para os tratamentos controle e metil metacrilato (MMA).

Após a obtenção dos corpos de provas, os mesmo foram encaminhados para sala climatizada a 20 °C e 65% de umidade relativa, assim tendendo as amostras estabilizarem a um equilíbrio higroscópico de 12% de umidade. Posteriormente, determinou-se as massas e volumes das amostras com o auxílio de balança analítica e paquímetro, respectivamente.

A impregnação do tratamento de MMA deu-se pelo método vácuo-pressão (célula cheia) em autoclave horizontal, no qual consistiu em um vácuo inicial de 600 mmHg durante 40 minutos para a retirada de ar do interior da madeira. Em seguida, pela diferença de pressão do interior da autoclave, a solução de MMA foi inserida na mesma e adicionou-se uma pressão de 8 kgf/cm² durante 180 minutos. A solução impregnada era composta por metacrilato de metila 99%, peróxido de benzolila na proporção de 1,5% em massa (iniciador de polimerização) e um incremento de nanofibrilas de celulose na consistência de 4%.

Pós impregnação, os corpos de prova foram encaminhados para uma estufa laboratorial, seguindo a sequência de 50 °C por 24h, posteriormente 70 °C num intervalo de 72h, para assim finalizar a polimerização *in situ* do MMA no interior da madeira. Logo após este processo, os corpos de prova foram novamente levados a câmara climatizada para estabilização.

Verificou-se a massa e o volume dos corpos de prova estabilizados a 12%, afim de determinar a massa específica aparente (Equação 1).

$$\rho_{12} = \left(\frac{M_{12\%}}{V_{12\%}} \right) \quad \text{Equação (1)}$$

Em que: $\rho_{12\%}$ - massa específica aparente 12%; M_{12} - massa a 12% de umidade; V_{12} - volume a 12% de umidade.

Para a determinação da resistência mecânica, procedeu-se com o teste de flexão estática (ASTM D 143-94 2014), obtendo os valores para os parâmetros de módulo de elasticidade (MOE) e módulo de ruptura (MOR). Para esse ensaio em específico, acoplou-se à máquina universal de ensaios uma célula de carga com capacidade de 3 toneladas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Percebe-se que os tratamentos causaram variações no módulo de ruptura (MOR), entretanto não houve modificações no módulo de elasticidade (MOE) e densidade da madeira de *Pinus elliottii* (Tabela 1).

Tabela 1-Resumo estatístico e valores médios relacionado aos parâmetros obtidos por meio do ensaio de flexão estática.

Tratamento	MOR (Mpa)	MOE (Mpa)	Mea (g/cm ³)
Controle	54,20 a ^(1,24)	7.323,18 a ^(1,20)	0,458 a ^(0,041)
Metil metacrilato	63,69 a ^(1,39)	7.350,21 a ^(1,11)	0,462 a ^(0,058)
CV%	6,85%	1,70%	10,60%
Valor P	0,2046	0,9641	0,8360
F	1,73*	0,00*	0,04*

Em que: CV é o coeficiente de variação, valores entre parênteses e sobrescritos apresentam o desvio padrão (MPa) dos tratamentos, e as médias nas colunas, seguidas por mesma letra, não apresentam diferenças significativas conforme o teste LSD Fisher, com probabilidade de erro de 5%; * - significativo pelo teste F ($p < 0,05$); ns- não significativo pelo teste F ($p \geq 0,05$).

Conforme resultados obtidos verificou-se para as propriedades de flexão estática um incremento de 17,50% para o módulo de ruptura do tratamento em relação ao tratamento controle. Quanto aos valores de módulo de elasticidade a

variação se apresentou muito pequena entorno de 0,36% em relação ao tratamento para o controle.

Mattos et al. (2015) ao analisar a madeira tratada com o monômero metacrilato de metila, observou incrementos significativos tanto na resistência à flexão (MOR) como no módulo de elasticidade (MOE), todavia os acréscimos mais significativos são geralmente no MOR, apresentado em sua pesquisa de compósitos polímero-madeira preparados por polimerização *in situ*. Esse acréscimo pode ser atribuído ao preenchimento do lúmen celular com um monômero que apresenta elevada resistência.

A nanocelulose é um material que causa modificações e melhoria em determinadas propriedades de compósitos se imersos em sua matriz, causando aumento de rigidez (MISHNAEVSKY, 2019)

O incremento de nanocelulose na matriz polimérica faz com que haja uma tendência a maiores resistências mecânicas do compósito, entretanto pode ser que cause menores ganhos de massa para este material, prejudicando assim o tratamento.

Para Ang et al. (2009), a pequena variação do MOE sugere que os polímeros em si, sintetizados *in situ*, não são suficientemente elásticos a ponto de aumentar elasticidade da madeira. Já o incremento de nanocelulose, por esta possuir natureza plástica, acarreta em um compósito frágil.

4. CONCLUSÕES

A impregnação na madeira de *Pinus elliottii* com metacrilato de metila adicionando nanofibrilas de celulose proporcionou um aumento no módulo de ruptura (MOR) em cerca de 17,50% enquanto o módulo de elasticidade (MOE) e a massa específica aparente a 12% não demonstraram diferenças com a impregnação.

O tratamento com MMA incrementado com nanofibrilas pode se tornar um promissor tratamento com uma maior impregnação da matriz no interior da madeira, tornando-a assim um material com alta resistência mecânica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA, Andrey Pereira et al. COMPOSITOS POLÍMERO-MADEIRA PREPARADOS POR POLIMERIZAÇÃO in situ COM MMA EM PROPRIEDADES FÍSICAS DE *Pinus elliottii*. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 1, p. 80-85, 2019. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). Standard test methods for small clear specimens of timber. ASTM D 143 – 94. Philadelphia, 2014.

ANG, A. F.; ZAIDON, A.; BAKAR, E. S.; HAMAMI, S. M.; ANWAR, U. M. K. Enhancing the Properties of Mahang (*Macaranga* spp.) Wood through Acrylic Treatment in Combination with Crosslinker Modern Applied Science, v. 3, n. 11, p. 2-10, 2009.

DING, W., KOU BAA, A, CHAALA, A. 2013. Mechanical properties of MMA-hardened hybrid poplar wood. **Industrial Crops and Products**. 46: 304-310. doi: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.02.004>.

DONG, X. et al. 2015. Structure and properties of polymer-impregnated wood prepared by **in-situ** polymerization of reactive monomers. **BioResources**. 10 (4): 7854-7864. doi: [10.15376/biores.10.4.7854-7864](https://doi.org/10.15376/biores.10.4.7854-7864).

MATTOS, Bruno Dufau; GATTO, Darci Alberto; MAGALHÃES, Washington Luiz Esteves. Compósitos polímero-madeira preparados por polimerização in situ: conceitos, parâmetros de processo e propriedades. **Embrapa Florestas**-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2015.

Mishnaevsky, L., Mikkelsen, L. P., Gaduan, A. N., Lee, K.-Y., & Madsen, B. (2019). Nanocellulose reinforced polymer composites: Computational analysis of structure-mechanical properties relationships. **Composite Structures**, 111024. doi:10.1016/j.compstruct.2019.111024

PRAMANIK, R. et al. Influence of nanocellulose on mechanics and morphology of polyvinyl alcohol xerogels. **Journal of the mechanical behavior of biomedical materials**, v. 90, p. 275-283, 2019.

STOLF, Denise Ortigosa. **Influência da impregnação com estireno e com metacrilato de metila em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* e de *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. 2005. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

ZHANG, Y. et al. 2006. Effect of impregnation and *in-situ* polymerization of methacrylates on hardness of sugar maple wood. **Journal of applied polymer science**. 99 (4): 1674-1683. doi: [10.1002/app.22534](https://doi.org/10.1002/app.22534).