

## Resistência da madeira furfurilada de *Pinus* sp. à ação do fungo xilófago *Rhodonia placenta* em laboratório

Carlos Fernando Ferreira da Silva<sup>1</sup>; João Vinicius Lourenço Coelho Netto<sup>2</sup>; Vinicius José Fernandes<sup>2</sup>; Henrique Trevisan<sup>1</sup>; Alexandre Monteiro de Carvalho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Produtos Florestais, Instituto de Florestas (IF), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica/RJ, Brasil; <sup>2</sup> Departamento de Entomologia e Fitopatologia, Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica/RJ, Brasil – [cffs8005@gmail.com](mailto:cffs8005@gmail.com)

**Resumo:** A madeira é um material renovável, no entanto pode estar sujeita à deterioração, necessitando, portanto, de tratamento preservativo. Embora tenha inúmeras características desejáveis, a madeira de *Pinus* é suscetível a diversos xilófagos. Assim é imprescindível que receba tratamento preservativo para sua utilização. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a eficiência do álcool furfurílico (AF) em agregar resistência à madeira de *Pinus* sp, ao fungo apodrecedor *Rhodonia placenta*. Confeccionou-se 75 corpos de prova, onde, em grupos de quinze repetições, incorporou-se quatro diferentes concentrações de AF (10, 25, 50 e 100%). Essas amostras foram expostas à ação de *R. placenta* em laboratório. Todas concentrações de AF, demonstraram agregar resistência à madeira de *Pinus* de forma equivalente ao fungo, reduzindo à perda de massa, significativamente, em comparação à madeira natural. Conclui-se que o álcool furfurílico, em qualquer concentração testada, agrupa resistência na madeira de *Pinus* sp. à ação de *R. placenta* em condições laboratoriais.

**Palavras-chave:** tratamento de madeira, impregnação, *Rhodonia placenta*.

**Furfurylated *Pinus* sp. wood resistance under xylophagous fungus *Rhodonia placenta* action in laboratory**

**Abstract:** Wood is a renewable material, however it can be subject to deterioration, therefore requiring preservative treatment. Although it has numerous desirable characteristics, *Pinus* wood is susceptible to several xylophages. Therefore, it is essential that it receives preservative treatment for its use. In this context, the objective was to evaluate the efficiency of furfuryl alcohol (FA) in adding resistance to *Pinus* sp wood and the rot fungus *Rhodonia placenta*. 75 specimens were prepared, where, in groups of 15 repetitions, four different concentrations of AF were incorporated (10, 25, 50 and 100%). These samples were exposed to the action of *R. placenta* in the laboratory. All concentrations of AF demonstrated resistance addition to *Pinus* wood

in a way equivalent to the fungus, significantly reducing mass loss compared to natural wood. It is concluded that AF, at any concentration tested, adds resistance to *Pinus* sp wood against *R. placenta* action under laboratory conditions.

**Keywords:** wood treatment, impregnation, *R. placenta*.

## 1. INTRODUÇÃO

A árvore de *Pinus* é uma espécie florestal de rápido crescimento em ambiente tropical, sendo cultivada em reflorestamentos. Fornece madeira como alternativa a regulamentação cada vez mais rigorosa em torno do uso de madeiras nativas, tendo em vista o rápido crescimento e, ainda, por possuir propriedades físicas e mecânicas favoráveis a diversos usos, como aplinar, chapear, dentre outros (IPT, 2023). Essa madeira, apesar de seu extenso uso, como em móveis e outras estruturas (Ladeira *et al.*, 2018), é altamente porosa e macia, o que a torna menos densa e, consequentemente, suscetível à ação de organismos xilófagos, como os fungos xilófagos.

Tendo em vista a baixa durabilidade da madeira de *Pinus*, se faz necessário o uso de técnicas para agregar resistência biológica, para que possa ser empregada em diversas finalidades (Gallio *et al.*, 2019; Schulz *et al.*, 2019), como por exemplo em construções, estruturas externas e qualquer outro tipo de uso que a exponha a processos de deterioração. Uma das técnicas mais promissoras presente no mercado é a impregnação, que consiste na introdução de um ou mais produtos químicos na parede celular da madeira, conferindo alterações na estrutura da madeira, podendo torná-la tóxica ou imprópria aos organismos xilófagos (Esteves; Pereira, 2009; Sandberg *et al.*, 2017).

Tendo em vista os métodos de impregnação, um dos mais promissores é a furfurilação. Esse tratamento consiste na utilização de uma solução contendo álcool furfurílico, que é um material composto de monômeros, para que o mesmo polimerize no interior da madeira e faça com que os espaços presentes sejam preenchidos com uma resina, chamada resina furfurílica. O álcool furfurílico é produzido a partir do furfural (Zelinka *et al.*, 2022), que pode ser obtido a partir dos resíduos produzidos pela indústria da cana-de-açúcar e do milho, por exemplo.



A madeira furfurilada se torna menos suscetível à ação de diversos organismos xilófagos, como os fungos (Skrede *et al.*, 2019), devido ao seu preenchimento do espaço intracelular, conferindo maior estabilidade dimensional, resistência e diminuição da higroscopicidade (Lande *et al.*, 2004, Sandberg *et al.*, 2017), fazendo com que esse método seja altamente eficaz contra a ação de diversos fungos xilófagos, como os de podridão parda.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo avaliar a resistência da madeira de *Pinus sp.* tratada com álcool furfurílico à ação do fungo xilófago *R. placenta*.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A madeira de *Pinus sp* utilizada neste trabalho foi obtida a partir de árvores cultivadas no campus da UFRRJ. Dessas árvores, tábuas foram confeccionadas e em seguidas processadas para a obtenção dos corpos de prova na medida 2,54 x 1,0 x 2,0 cm, de acordo com a norma AWPA Standard E30-16 (2016), totalizando 75 corpos de prova.

Os corpos de prova confeccionados foram em seguida tratados, para isso foram mantidos imersos em 4 soluções contendo diferentes cargas de álcool furfurílico, totalizando 4 tratamentos distintos (Tabela 1). Esse procedimento permitiu a saturação dos mesmos com a solução preservativa, tendo decorrido um período de 30 dias.

**Tabela 1:** Composição da solução preservativa, empregada para a furfurilação da madeira de *Pinus sp.*

Tratamento	AF* (%)	AE* (%)	Água (%)	AC* (%)
Controle	-	-	-	-
10%	10	80	5	5
25%	25	65	5	5
50%	50	40	5	5
100%	100	-	-	-

\*AF= álcool furfurílico; \*AE= álcool etílico; \*AC= Ácido Cítrico

Nessas soluções, o álcool furfurílico é o produto responsável por agregar resistência à madeira, o álcool etílico atua como catalisador, a água homogeneiza melhor a solução e o ácido cítrico age como agente anti-lixiviente.



Após 30 dias submersos nas respectivas soluções, os corpos de prova foram pesados e postos em estufa laboratorial por um período de 7 dias, na temperatura de 70°C, visando que ocorra a polimerização, e, em seguida, pesados novamente.

Após o preparo dos corpos de prova, 38 frascos foram preparados para receber os corpos de prova. Frascos de vidro com capacidade de 500 ml e tampa rosqueável foram preparados com 180g de terra e 40ml de água, seguindo a norma AWPA Standard E10-16 (2016).

Após a saturação, iniciadores de madeira foram postos nos frascos e então fechados e esterilizados em autoclave. Após essa etapa, os frascos foram inoculados dentro de uma capela de fluxo laminar horizontal, e incubados por 30 dias até que ocorresse a total colonização por parte do fungo *R. placenta*.

Depois de colonizados esses frascos receberam os corpos de prova, onde a manipulação ocorreu dentro da capela de fluxo laminar, para serem incubados por um período de 4 meses. Após esse período, foram limpos e secos a 70°C por 24h, visando retirar todo o excesso de umidade, sendo pesados em sequência. Com o peso registrado novamente, foram classificados acordo com os critérios da norma AWPA Standard E30-16 (2016), onde: altamente resistente (perda de massa de 0 a 10%); resistente (perda de massa de 11 a 24%); moderadamente resistente (perda de massa de 25 a 44%) e pouco ou não resistente (perda de massa acima de 45%).

A análise de dados foi feita no programa BioEstat 5.0 (AYRES et al. 2007). Para isso, a normalidade foi conferida pelo teste de Lilliefors (5% de significância), constatando-se normalidade, aplicou-se o teste de Tukey (5% de significância). Para os dados não normais, empregou-se o teste de Kruskal-Wallis, com o pós-teste de Dunn (5% de significância), para análise de variâncias dos postos médios.

O cálculo do percentual ganho de polímero (PGP) foi realizado utilizando-se a fórmula:  $[(PP-PS)/PS]*100$ , onde PP = peso polimerizado; PS = peso seco.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que no tratamento com AF na madeira de *Pinus*, a madeira teve sua resistência à ação de *R. placenta* otimizada, sendo classificada com resistência moderada, na condição natural e altamente resistente, na condição tratada com AF (Tabela 2). Esse efeito pode ser explicado devido ao preenchimento dos espaços existentes no interior da madeira pela resina furfúlica. Isso permite que ocorra a



diminuição da higroscopidez, tornando a madeira um substrato menos adequado para o desenvolvimento da maioria dos fungos xilófagos (Lande *et al.*, 2004; Mayowa *et al.* 2023).

Tabela 2: Classe de resistência e peso de polímero ganho (PGP) da madeira de *Pinus* sp. tratada com álcool furfurílico em quatro concentrações e submetida à ação de *R. placenta* durante quatro meses.

Tratamento	Classe de resistência	PGP (%)
Testemunha	Resistência moderada	---
10%	Altamente resistente	12 ± 5 d
25%	Altamente resistente	25 ± 5 b
50%	Altamente resistente	39 ± 6 a
100%	Altamente resistente	16 ± 3 c

Letras distintas, entre linhas, diferem estatisticamente (Tukey 5% de significância).

Ainda, observou-se que esse aporte de resistência ocorreu em qualquer uma das concentrações avaliadas, indicando, portanto, que teores mais baixos de AF, como os de 10%, são tão eficientes como os maiores, 25; 50; e 100%, em agregar resistência à *R. placenta* (Tabela 2).

A essas observações, convém ressaltar que as concentrações avaliadas em cada tratamento, proporcionaram à incorporação de resina furfurílica na madeira, de forma distinta. O percentual de ganho desse polímero na madeira diferiu, estatisticamente, conforme a carga furfurílica empregada no tratamento (Tabela 2). No entanto, ressalta-se também, que esse fato não proporcionou impactos significativos na eficiência da inibição da ação de *R. placenta*, ou seja, nas amostras onde o PGP foi inferior, a inibição foi similar estatisticamente às amostras onde se registrou PGP superiores. Portanto, esses resultados sugerem que concentrações menores de AF, ao serem impregnadas na madeira, podem proporcionar agregação de resistência eficiente ao fungo xilófago, com economia da quantidade do líquido impregnante. Ainda, nota-se que na aplicação do AF puro (100%), a incorporação de polímero na madeira, demonstrou-se inferior quando comparada com os tratamentos onde houve diluição a 25 e 50%. Isso sugere que os aditivos empregados nessa diluição, álcool etílico, água e ácido cítrico, podem aumentar a eficiência do processo de polimerização na madeira.

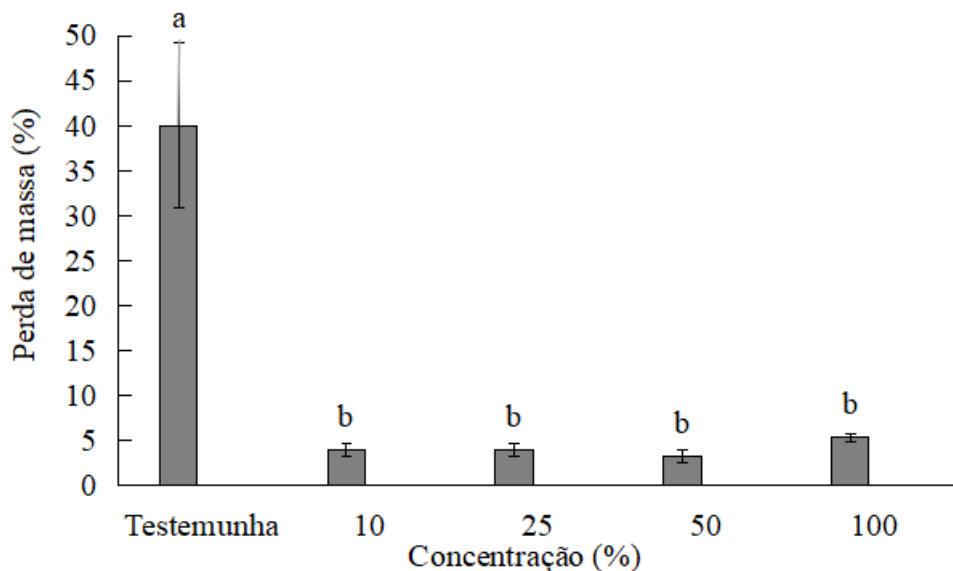
Schulz *et al.* (2019), ao furfuriarem a madeira de *Pinus elliotti* em concentrações de 10, 25 e 50% de AF, registraram valores percentuais de PGP de: 4,28; 8,55



e 7,01 respectivamente, inferiores aos observados nesse trabalho. Já Lande *et al.* (2004), empregando o mesmo tratamento, em *Pinus sylvestris*, nas concentrações de 15, 30 e 42% de AF, registraram um PGP de 22; 41 e 60, respectivamente, superiores aos demonstrados nesta pesquisa.

De forma análoga ao aumento da classe de resistência da madeira *Pinus* sp, observou-se, também, que a concentração de 10 % de AF, quando incorporada à madeira, viabilizou uma perda de massa estatisticamente igual às soluções com maiores teores de AF (Figura 1). Esse resultado ratifica a hipótese anteriormente sinalizada, de que, concentrações inferiores de AF, tem efeito similar às concentrações superiores, em agregar resistência à madeira de *Pinus* sp à decomposição proporcionada por *R. placenta*.

**Figura 1:** Perda de massa percentual da madeira de *Pinus* sp. tratada com álcool furfúlico em quatro concentrações e submetida à ação do fungo xilófagos *R. placenta* durante quatro meses.



Letras distintas, entre barras, diferem estatisticamente (Dunn, 5% de significância).

Skrede *et al.* (2019) obtiveram uma perda de massa de 28.8 % para a madeira de *Pinus radiata* natural, sob à ação de *R. placenta*. Valor esse inferior ao observado nesta pesquisa, que foi em torno de 40%, para *Pinus* sp. Por outro lado, quando Skrede *et al.* (2019) furfilararam essa madeira com soluções de AF concentradas à 10, 40 e 70%, obtiveram um PGP de 4, 24 e 37, respectivamente. Essas amostras, ao serem submetidas à ação do fungo *R. placenta* em laboratório,

perderam massa na ordem de: 42,5; 34,6 e 16,0 respectivamente. Valores superiores demonstrados nesse trabalho.

#### 4. CONCLUSÃO

- A madeira natural de *Pinus* sp é moderadamente resistente à *R. placenta* em condições de laboratório. Quando impregnada com álcool furfurílico, torna-se altamente resistente, em qualquer uma das concentrações testadas neste trabalho. A concentração de álcool furfurílico impregnado na madeira de *Pinus* sp, influencia na quantidade de resina furfurílica incorporada na madeira, porém não afeta a eficiência na inibição do fungo, e dessa forma, a concentração mais baixa avaliada (10%), tem eficiência análoga as maiores concentrações testadas. Os aditivos usados para realizar as diluições, álcool etílico, água e ácido cítrico, aparentam melhorar o processo de polimerização, em relação à impregnação com álcool furfurílico puro, conferindo maiores percentuais de incorporação de resina furfurílica na madeira de *Pinus* sp.

#### 5. REFERÊNCIAS

ALFREDSEN, G.; FOSSDAL, C.G.; NAGY, N.E.; JELLISON, J. & GOODELL, B. **Furfurylated wood: impact on Postia placenta gene expression and oxalate crystal formation.** De Gruyter, 2016. V. 70, p. 947 – 962.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION STANDARD. **AWPA E10-16.** Laboratory method for evaluating the decay resistance of wood-based materials against pure basidiomycete cultures: soil/block test. EUA: AWPA, 2016.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION STANDARD. **AWPA E30-16.** Standard method for evaluating natural decay resistance of wood using laboratory decay tests. EUA: AWPA, 2016.

AYRES, M.; AYRES Jr, M.; AYRES, D. L. & SANTOS, A. A. A. **BioEstat 5.0 – Aplicações Estatísticas nas Áreas das Ciências Biológicas e Médicas.** Sociedade Civil Mamirauá, Tefé, 2007. 380p.

ESTEVES, B. & PEREIRA, H. **Novos Métodos de Proteção da Madeira.** 6º Congresso Florestal Nacional – A floresta num mundo globalizado, 2009.

GALLIO, E.; ZANATTA, P.; CRUZ, N. D. *et al.* **Influência dos tratamentos de termorretificação e furfurilação em propriedades tecnológicas de uma conífera.** Revista Matéria, 2019. V. 24, N. 03.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (IPT). **Informações sobre madeira: Pinus eliote**, 2023. Disponível em: [https://www.ipt.br/noculação\\_madeiras3.php?madeira=7](https://www.ipt.br/noculação_madeiras3.php?madeira=7). Acesso em: 04/07/2023.

LADEIRA, L.A.; PEREIRA, C.C.A.; COUTO, L.C. *et al.* **Determinação das propriedades físicas da madeira de pinus.** sp. Brazilian Applied Science. V. 2, n. 7, Edição Especial, p. 2244-2251, 2018.

LANDE, S., WESTIN, M., SCHNEIDER, M. **Properties of furfurylated wood.** Scandinavian Journal of Forest Research, 2004. V. 19, p. 22-30.

MAYOWA, O.J.; ESTHER, F.O.; ADEYEMI, I.E.; *et al.* **An Analysis of Impact of Furfurylation Treatments on the Physical and Mechanical Properties of Pterygota macrocarpa Wood.** Journal of Materials Science Research and Reviews, 2023. V. 11, Ed. 1, p. 6-23.

SANDBERG, D.; KUTNAR, A.; MANTANIS, G. **Wood modification technologies - a review.** I Forest, 2018. V.10, p.895-908.

SCHULZ, H.R.; GALLIO, E.; ACOSTA, A. P. *et al.* **Efeito da furfurilação em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Pinus elliottii*.** Revista Matéria, 2019, V. 24, N. 03.

SKREDE, I.; SOLBAKKEN, M. H.; HESS, J.; FOSSDAL, C.G.; HEGNAR, O. & ALFREDSEN, G. **Wood Modification by Furfuryl Alcohol Caused Delayed Decomposition Response in *Rhodonia (Postia) Placenta*.** Applied and Environmental Microbiology, 2019.