

Sílica das cinzas de casca de arroz como proteção passiva para reduzir a flamabilidade da madeira

**FERREIRA, P.O.D.¹; GIMNECKI, R.D.²; BARBOSA, K.T.²; BELTRAME, R.¹;
GATTO, D.A.¹; DELUCIS, R. de A.¹**

¹Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), Pelotas/RS;

²Departamento de Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS

Resumo: A construção civil busca inovações sustentáveis, e a madeira se destaca por sua eficiência energética, sendo natural e renovável. No sul do Brasil, o Pinus é amplamente cultivado e selecionado para este estudo, junto com a casca de arroz, rica em sílica, um material valioso no mercado polimérico. O objetivo foi impregnar a madeira de Pinus com partículas de sílica extraídas da casca de arroz para reduzir sua flamabilidade, aumentando a segurança em edificações. O estudo comparou a madeira impregnada com partículas de sílica e amostras sem tratamento. A sílica foi extraída por lavagem ácida e impregnada na madeira por um processo de vácuo/pressão. As amostras tratadas com sílica apresentaram menor flamabilidade em comparação às não tratadas. Estudos futuros devem focar na melhoria dos processos de extração da sílica.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Pinus; Sílicas; Antichamas.

Silica from rice husk ash as passive protection to reduce de flamability of wood

Abstract: The construction industry is looking for sustainable innovations, and wood stands out for its energy efficiency, being and renewable. In the south of Brazil, Pinus is widely cultivated and selected for this study, along with rice husks, which are rich in silica, a valuable valuable material in the polymer market. The aim was to impregnate wood with silica particles extracted from rice husks in order to reduce its flammability flammability, increasing safety in buildings. The study compared wood impregnated with silica particles and untreated samples. The silica was extracted by acid washing and impregnated into the wood by a vacuum/pressure process. The silica-treated samples showed lower flammability than the untreated samples. Future studies should focus on improving the extraction processes.

Keywords: Sustainability; Pinus; Silica; Flame retardant.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, a prevenção de incêndios é discutida e estudada no país, considerando os acidentes dos últimos anos (Pereira *et al.*, 2020). Para que sejam evitadas ou minimizados essas ocorrências de eventos com fogo, cada

vez mais medidas preventivas são adotadas, e os engenheiros são os maiores garantidores de ambientes seguros aos usuários.

As medidas preventivas se dividem em duas grandes áreas: medidas de proteção ativas e passivas (Lin, 2018). As proteções ativas têm o objetivo de extinguir ou reduzir o risco de incêndio, como extintores de incêndio ou detectores de fumaça por exemplo.

As de proteção passiva são incorporadas à edificação, com objetivo de limitar a propagação do fogo, contemplando 5 nichos de medidas incorporadas nas identificações, são eles: a compartimentação vertical e horizontal, controle de materiais de acabamento, o revestimento estrutural, as saídas e as sinalizações de emergência. E a proteção passiva, por fazer parte da edificação, será abordada neste trabalho.

No Rio Grande do Sul não existe resolução técnica que trate sobre o controle de materiais, a Resolução Técnica de Transição (RTT) do Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul indica que seja utilizada a IT10 (2019) do Corpo de Bombeiros do Estado de São Paulo, que traz tabelas para os materiais e suas utilizações. No caso da madeira, ela pode ser empregada para forros, pisos, escadas e portas (IT 10 2019).

O gênero *Pinus* é o segundo mais plantado no Brasil, o clima subtropical e úmido favorece principalmente as espécies *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*. Porém, a madeira de *Pinus elliottii*, favorável para o reflorestamento será o alvo de estudo neste trabalho. As principais aplicações são na fabricação de móveis, construção civil e peças decorativas. (Acosta *et al.*, 2021). Essa madeira também é conhecida por ter baixa resistência à degradação, elevada instabilidade dimensional e elevada flamabilidade.

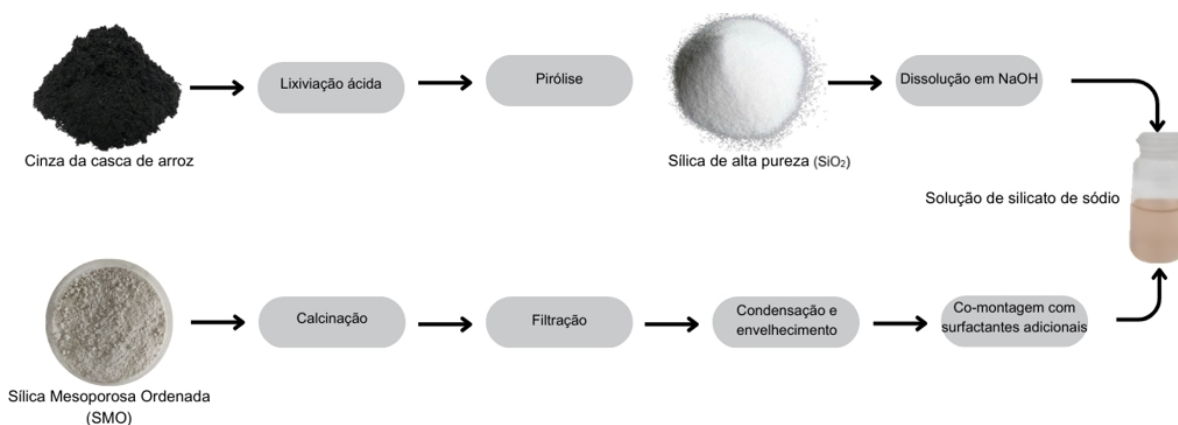
Para redução da flamabilidade são possíveis diferentes tratamentos, destacando-se as impregnações. A sílica, composta majoritariamente por dióxido de silício, considerada um material com elevada estabilidade térmica e baixo custo, tornando a impregnação promissora. Estudos apontam a produção de sílica de diversas matérias primas, sendo a casca de arroz um exemplo (Camargo *et al.*, 2018; Chun *et al.*, 2020).

Neste estudo, serão extraídos 2 tipos de sílica das cinzas da casca de arroz e impregnadas em *Pinus* e o controle será

2. MATERIAL E MÉTODOS

No presente estudo será feita a modificação da madeira da espécie *Pinus elliottii* por impregnação de diferentes tipos de sílica mesoporosa ordenada com várias estruturas de nanoporos que serão sintetizadas a partir de cinzas provenientes da queima completa da casca de arroz, dissolução química e co-montagem com surfactantes adicionais (Figura 1), conforme Chun *et al.* (2020). Após, será apresentado um comparativo entre os dois métodos de tratamento e a madeira não tratada, avaliando os produtos utilizados e qual a melhor alternativa para a redução da flamabilidade da madeira de pinus.

Figura 1. Fluxograma da obtenção das sílicas mesoporosas ordenadas.

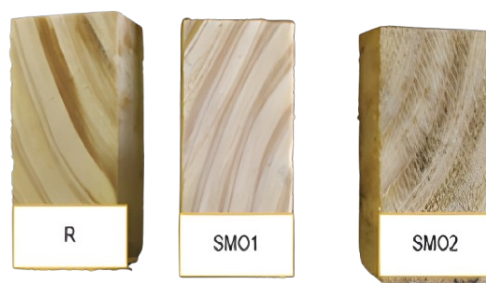


Para sintetizar a sílica SMO1, foi utilizado apenas 217 mL da solução de silicato de sódio, levada para a estufa a 100°C por 24h e em seguida calcinada a 550 °C por 4h.

Para sintetizar a sílica SMO2, 18,98 g de P-123 e 8,72 mL de ácido acético foram misturados em 400 mL da água destilada. Logo após, 217 mL da solução de silicato, anteriormente diluída em 400 mL de água destilada, foi adicionada e agitada magneticamente durante 12 h. A solução resultante foi resguardada na estufa a 100 °C por 24 h. Em seguida, o produto foi filtrado e calcinado a 550 °C por 4 h. O processo de impregnação se dará por meio de uma autoclave horizontal fabricada no laboratório, seguindo um procedimento publicado em um trabalho anterior do grupo de pesquisa (Acosta, *et al.*, 2021).

As amostras de madeira foram cortadas orientadas em relação aos anéis de crescimento com as seguintes dimensões: 50mm × 25mm × 15mm e introduzidas na autoclave, enquanto a solução de SMO será inserida em um tanque aparte. Inicialmente, as amostras serão submetidas ao vácuo de -100 kPa por 20 min para a retirada do ar presente nas células da madeira e abertura dos poros do material. Em seguida, o vácuo será cessado e a solução de sílica será transferida para a autoclave sob pressão positiva de 0,8 MPa por 120 min. Esta etapa do trabalho também sofreu adaptação da metodologia a qual serve de referência, nesse momento o tempo de pressão positiva foi reduzido em 60 min, essa adaptação se deu pela menor viscosidade da solução utilizada por Acosta *et al.* (2021). Em seguida, a pressão foi aliviada e o restante da solução retornou para o tanque e, sob vácuo, o excedente da solução será retirado da superfície das amostras. Esses procedimentos foram efetuados para as 2 soluções SMO. Após a impregnação, as amostras de madeira tratadas foram levadas à estufa anteriormente mencionada a uma temperatura de 80 °C por 24 h e posteriormente foi levada para câmara climática a fim de proceder a estabilização do teor de umidade presente nas amostras.

Figura 2. Amostras de madeira prontas para o ensaio de chama.



Durante o procedimento, tanto a amostra quanto os tempos de queima foram controlados com o auxílio de um cronômetro. Para cada amostra foram anotados os dados referentes ao tempo de ignição e chama. O tempo de ignição é o tempo mínimo de exposição necessário para o início da queima de modo espontâneo. O tempo de chama mede o tempo que a amostra requer para extinguir a chama após a exposição contínua.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, observa-se que o tempo de chama entre os corpos de prova referência e aqueles impregnados com sílica. A análise dos dados revela que os corpos de prova tratados com SMO1 e SMO2 apresentaram uma redução na perda de massa em comparação com o grupo controle. O tratamento com SMO1 demonstrou uma leve vantagem sobre o controle, mostrando uma menor perda de massa em todos os pontos de tempo medidos. No entanto, o tratamento com SMO2 proporcionou uma proteção ainda mais eficaz contra a perda de massa, especialmente a partir dos 240 segundos. Segundo LI *et al.* 2020 a madeira impregnada com silicato de sódio tem maior resistência á retardamento de chama e efeitos de supressão de fumaça em comparação com a madeira não tratada.

Tabela 1: Perda de peso no decorrer do ensaio de longa exposição de chama.

Tempo (s)	Peso das amostras (%)		
	R	SMO1	SMO2
0	100	100	100
60	98,74	97,56	97,19
120	88,05	87,36	87,42
240	55,51	60,41	57,76
360	27,09	29,36	34,27
480	21,24		25,35

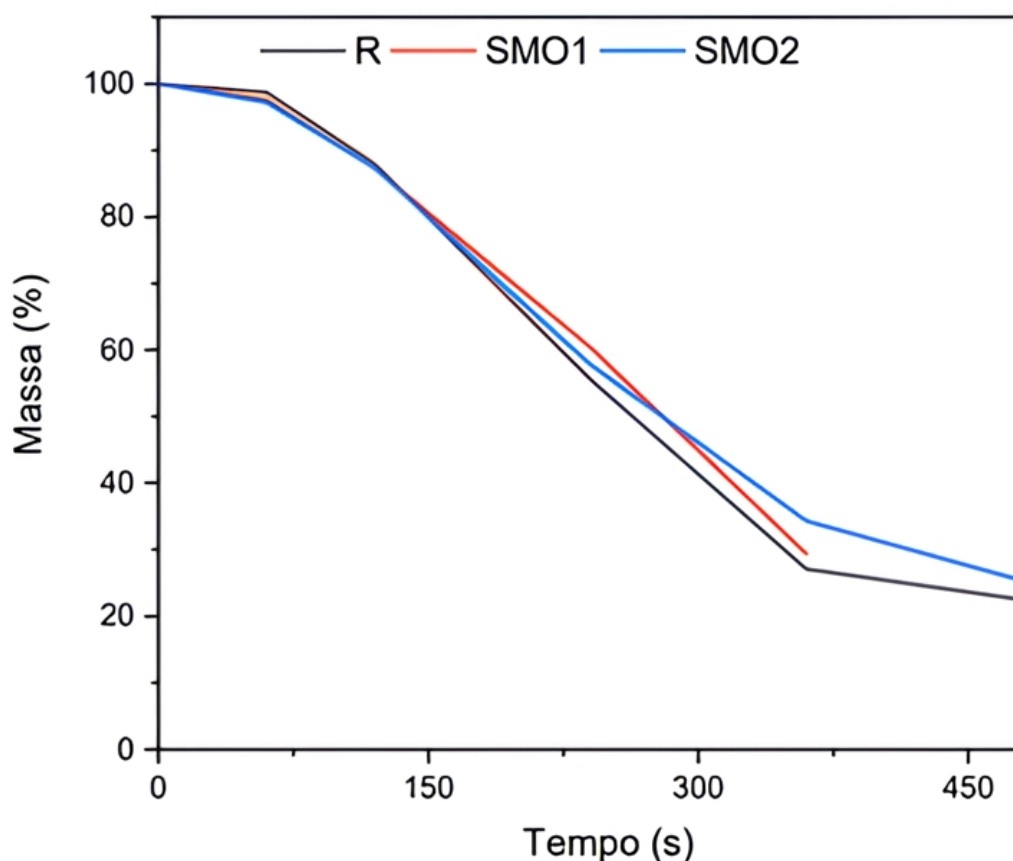
Em que: R – Corpo de prova referência, madeira não tratada; SMO1 – Corpo de prova tratado com SMO1; SMO2 – Corpo de prova tratado com SMO2.

Fonte: AUTORA, 2024

Em comparação ao controle, a perda de massa foi consistentemente menor para os corpos de prova tratados com SMO2, destacando sua superioridade em relação ao SMO1 e ao controle. Esta diferença pode ser atribuída às propriedades específicas dos tratamentos SMO1 e SMO2, que parecem conferir uma maior resistência à degradação ao longo do tempo. A madeira tratada com sílica modificação acida apresentou melhoria significativa no retardamento de chama em comparação com a madeira tratada com sílica comum (Liu *et al.*, 2020). Isso sugere que, embora o tratamento com sílica não tenha prolongado significativamente o tempo de chama, ele contribuiu para uma menor degradação do material. A eficiência no controle da perda de

massa está diretamente relacionada à inflamabilidade do material e à sua resistência estrutural. O SMO1, sintetizado apenas com silicato de sódio, mostrou-se o mais eficiente, com aproximadamente 30% de massa remanescente após a combustão, superior em 4% ao SMO2 e em cerca de 9% à madeira não tratada, respectivamente. Embora o tempo de ignição do SMO2 tenha sido levemente superior, o SMO1 se destacou no quesito extinção da chama e menor perda de peso.

Figura 3: Teste de Longa Exposição a Chama.



Fonte: AUTORA, 2024

As amostras tratadas com SMO1 e SMO2 mostram uma menor degradação comparada à madeira não tratada, com destaque para o SMO1, que preservou mais sua integridade estrutural, corroborando os dados de perda de massa observados anteriormente. Segundo Lin *et al.* (2023) o tratamento com silicato de sódio aumenta a resistência ao fogo dos compósitos de madeira sem deteriorar as principais propriedades de sua estrutura. Outros

autores ainda relatam que com a adição de grafite no silicato de sódio pode obter uma redução em 79% a perda de massa e o aumento da temperatura na superfície da madeira (Kmeťová *et al.*, 2022). deixando aberto para possíveis estudos posteriores.

Estes resultados sugerem que, embora a impregnação com sílica não tenha significativamente prolongado o tempo de chama, contribuiu de maneira eficaz para a redução da perda de massa e, portanto, para a resistência estrutural da madeira. A escolha entre SMO1 e SMO2 pode depender de fatores adicionais, como o custo e a aplicação prática, mas ambos os tratamentos oferecem melhorias significativas em relação à madeira não tratada, destacando-se como alternativas promissoras para aumentar a resistência ao fogo da madeira de *Pinus elliottii*.

4. CONCLUSÃO

A pesquisa destacou a eficácia dos tratamentos com impregnação de sílica para melhorar a resistência ao fogo da madeira de *Pinus elliottii*. Ambos os tratamentos estudados demonstraram vantagens significativas em comparação com a madeira não tratada, sugerindo que a impregnação com sílica pode ser uma estratégia eficaz para aumentar a segurança e a durabilidade do material em aplicações onde a resistência ao fogo é crítica.

Os achados indicam que a escolha do tratamento pode depender de fatores como custo e especificidades da aplicação prática. A pesquisa também abre caminho para investigações futuras sobre a otimização dos tratamentos e a incorporação de outros aditivos que possam potencializar ainda mais a proteção contra o fogo. Esses estudos adicionais poderão fornecer novas perspectivas sobre a eficácia e a viabilidade dos métodos de impregnação para diferentes necessidades e contextos.

5. REFERÊNCIAS

ACOSTA, Andrey Pereira, BARBOSA, Kelvin Techera, AMICO, Sandro Campos, *et al.* **Improvement in mechanical, physical and biological properties of eucalyptus and pine woods by raw pine resin in situ polymerization**, Industrial Crops and Products, v. 166, n. April, 2021

ACOSTA, Andrey Pereira, SCHULZ, Henrique Römer, BARBOSA, Kelvin Techera., *et al.* **Dimensional stability and colour responses of Pinus**

Elliottii wood subjected to furfurylation treatments, Maderas: Ciencia y Tecnologia, v. 22, n. 3, p. 303–310, 2020.

CAMARGO, Aline F., BRANDLER, Danieli, MODKOVSKI, Tatiani A., *et al.* **A Review on the Effect of Burning Processes in the Composition of Rice Husk Ash for the Production of Silica**, Revista CIATEC-UPF, v. 10, n. 2, p. 42–57, 2018, Erechim.

CHUN, J., MO GU, Y., HWANG, J., *et al.* **Synthesis of ordered mesoporous silica with various pore structures using high-purity silica extracted from rice husk**, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 81, p. 135–143, 2020.

Corpo de bombeiros militar do Rio Grande do Sul. **INSTRUÇÃO TÉCNICA No 10/2019: Controle de materiais de acabamento e de revestimento**. 2019.

Corpo de Bombeiros Militar do Rio Grande do Sul. **Resolução Técnica de Transição 2020**. 2020.

Kmeťová, E., Kačík, F., Kubovský, I., & Kačíková, D. (2022). **Effect of Expandable Graphite Flakes on the Flame Resistance of Oak Wood**. Coatings.x

Lin, C., Zhang, C., Karlsson, O., Martinka, J., Mantanis, G., Rantuch, P., Jones, D., & Sandberg, D. (2023). **Phytic Acid-Silica System for Imparting Fire Retardancy in Wood Composites**. Forests.

Li, P., Zhang, Y., Zuo, Y., Lu, J., Yuan, G., & Wu, Y. (2020). **Preparation and characterization of sodium silicate impregnated Chinese fir wood with high strength, water resistance, flame retardant and smoke suppression**. Journal of materials research and technology, 9, 1043-1053.

Liu, Q., Chai, Y., Ni, L., & Lyu, W. (2020). **Flame Retardant Properties and Thermal Decomposition Kinetics of Wood Treated with Boric Acid Modified Silica Sol**. Materials, 13.

MORAES, Poliana Dias, VALLE, Ângela, TEREZO, Rodrigo Figueiredo, SZÜCS, Carlos Alberto. **Estruturas De Madeira**. Florianópolis, 2008.

MURARO, Pérsio, CAMELO, Caeverton de Oliveira, DENIS, Fabiula Arenhardt

Aproveitamento e Valorização da Casca de Arroz: Uma revisão bibliométrica, In: VI Simpósio Brasileiro da Ciência do Agronegócio, p. 10, 2018, Porto Alegre.

PEREIRA, Tavares Galvão Tamires, FARIA, Douglas Lamounier, ARAÚJO, Jônatan Enan Carvalho de, *et al.* **Estudo comparativo das legislações de prevenção e combate a incêndio dos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro**, Engineering Sciences, v. 8, n. 2, p. 75–82, 2020.