



# RBES

Revista Brasileira de  
Engenharia e Sustentabilidade

ISSN 2448-1661

Pelotas, RS, UFPel-Ceng

<https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/RBES/index>

**V.10, esp, p.18-25, dez 2022**

## RESÍDUOS DE TAUARI DA AMAZÔNIA COMO MATÉRIA-PRIMA PARA A PRODUÇÃO DE ÓXIDO DE GRAFENO

FONSECA, C. <sup>1</sup>; JUNIOR, A. A. M. <sup>1</sup>; ISIDORIO, D. K. M. <sup>2</sup>; SILVA, J. M. L. S. <sup>1</sup>; MARCHI, B. Z.; ARAUJO, F. A. <sup>3</sup>; ALKIMIM, H. K. <sup>1</sup> P.; OLIVEIRA, P. H. A. <sup>1</sup>; ALTOÉ, L.; NASCIMENTO, L. F. C. <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instituto Militar de Engenharia, Seção de Engenharia de Materiais – Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais - Rio de Janeiro, RJ, Brasil

<sup>3</sup> Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais - São Carlos, SP, Brasil

<sup>4</sup> Universidade Federal do Espírito Santo, Departamentos de Engenharias e Tecnologia - São Mateus, ES, Brasil

**Palavras-chave:** nanomateriais, **Resumo**  
sustentabilidade, biomassa

A serragem de madeira é um dos resíduos mais abundantes e pouco aproveitados gerados pela indústria madeireira brasileira. Considerando o enorme potencial de reaproveitamento desses resíduos, o presente estudo propõe uma rota alternativa e sustentável para a produção de grafeno a partir da serragem de tauari, uma espécie de madeira da Amazônia. A síntese de grafeno foi realizada através da carbonização dos resíduos a diferentes temperaturas e tempos. Os resultados indicaram que a serragem de tauari apresentou um teor de umidade entre 80 e 81%, o que permite fácil remoção da água durante a secagem. Além disso, as cinzas produzidas a partir da carbonização apresentaram maiores percentuais de carbono quando expostas a temperaturas de 300 e 400 °C por 60 minutos. O perfil morfológico das amostras também sugere que esses resíduos são uma fonte promissora de carbono. Dessa forma, a serragem de tauari pode ser considerada uma matéria-prima viável para a produção de carvão ativado e óxido de grafeno. Essa pesquisa contribui para o desenvolvimento de alternativas mais sustentáveis e economicamente viáveis para a produção de grafeno. Além disso, o estudo aponta para a importância da reutilização dos resíduos da indústria madeireira como estratégia para reduzir o impacto ambiental.

### Tauari residues from the Amazon as a raw material for the production of graphene oxide

**Keywords:** nanomateriais, **Abstract**  
sustainability, biomass

Wood sawdust is one of the most abundant and underused residues generated by the Brazilian timber industry. Considering the enormous potential for reuse of these residues, the present study proposes an alternative and sustainable route to produce graphene from tauari sawdust, a species of wood from the Amazon. The synthesis of graphene was carried out through the carbonization of the residues at different temperatures and times. The results indicated that the tauari sawdust presented a moisture content between 80 and 81%, which allows easy removal of water during drying. Furthermore, the ash produced from carbonization showed higher percentages of carbon when exposed to temperatures of 300 and 400 °C for 60 minutes. The morphological profile of the samples also suggests that these residues are a promising source of carbon. Thus, tauari sawdust can be considered a viable raw material to produce activated carbon and graphene oxide. This research contributes to the development of more sustainable and economically viable alternatives for graphene production. In addition, the study points to the importance of reusing wood industry waste as a strategy to reduce environmental impact.

## INTRODUÇÃO

A biodiversidade brasileira pode conceber artefatos e inovar soluções tecnológicas (VALLI; RUSSO; BOLZANI, 2018). A indústria madeireira é responsável pelo processo de produção de itens para satisfazer as necessidades da sociedade, permitindo a inclusão de novos produtos, como combustíveis líquidos e embalagens. O setor também cria problemas colocando em risco a natureza, sem respeitar práticas sustentáveis (HURMEKOSKI et al., 2018).

Os problemas da madeireira advêm da destruição de biomas, do corte de árvores em florestas nativas e áreas preservadas, e da rápida geração de resíduos (ASAMOA et al., 2020). 91% dos resíduos gerados no Brasil são de madeira, totalizando 30 milhões de toneladas por ano. Essa situação é mais crítica na Amazônia e nas regiões vizinhas (RAMOS et al., 2018).

Diante disso, a produção de grafeno e de outros materiais carbonáceos a partir das cinzas de serrarias é uma alternativa viável para o destino adequado dos resíduos madeireiros e agrofloretais (ZHANG et al., 2020; XIONG et al., 2021). O grafeno é um material bidimensional composto por estruturas hexagonais de átomos de carbono hibridizados em  $sp^2$  (YU et al., 2020).

O propósito deste estudo é elaborar uma forma alternativa de obter o óxido de grafeno (GO), através da análise do teor de umidade conforme as normas da ABNT NBR 7190/1997, o processo de carbonização da serragem de Tauari em diferentes tempos e temperaturas. A caracterização do perfil morfológico e microestrutural da matéria-prima realizada por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Obtenção da matéria-prima

A serragem utilizada foi doada pela empresa Madeireira Ananindeua do Pará e passou por processos de limpeza e secagem para obtenção de um material uniforme, onde foi lavada em água

destilada e secada à 100 °C por 24 horas em uma estufa.

Em seguida, foi calculado o teor de umidade da serragem com base na Eq. 1, relacionado ao risco de deterioração, o que influencia na escolha de métodos preventivos da madeira e no ajuste de propriedades mecânicas de resistência e rigidez.

$$\text{Teor de umidade (\%)} = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (1)$$

Onde respectivamente:  $m_i$  – massa inicial da amostra úmida; e  $m_f$  - massa final da amostra seca.

### Carbonização do resíduo

Para carbonização, as amostras foram colocadas em um cadinho e pesadas. Em seguida, foram colocadas em um forno mufla, marca EDG – modelo 3000, à 300, 400 e 500 °C por 40, 60 e 120 min. Foram realizadas triplicatas a fim de uma alta confiabilidade dos resultados.

A avaliação das cinzas foi calculada com base na Eq.2, resultando em uma porcentagem, que tem como relação a diferença entre o peso do cadinho mais o peso das cinzas totais da amostra e o peso inicial do cadinho fracionada pelo peso inicial da amostra.

$$\text{Teor de cinzas(\%)} = \frac{P_c + P_{ct} - C_v}{P_i} \times 100 \quad (2)$$

Onde respectivamente:  $P_c$ - peso das cinzas;  $P_{ct}$  - peso das cinzas totais;  $C_v$  – peso do cadinho vazio; e  $P_i$  - peso inicial da amostra.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Teor de umidade

Objetivando a otimização da qualidade do carvão e redução de custos, pesquisas buscam métodos para acelerar a secagem da serragem (OLIVEIRA, 2015). Portanto, para avaliar a umidade da serragem, as amostras foram submetidas ao método gravimétrico após secagem em estufa, conforme ABNT NBR 7190/1997. O teor médio de umidade foi de 80.37%, indicando estabilidade no processo (Tabela 1).

A Tabela 1 mostra que os teores de umidade não

diferiram significativamente, evidenciando a estabilidade do material para o processo de secagem. A variação de água livre foi de 80 a 81%, o que sugere que a água pode ser removida

facilmente durante a secagem, sendo eliminada também por capilaridade (PAPADOPOULOS, 2019).

Figura 1- Percentual em massa das amostras submetidas ao processo de queima

Número da amostra	Tara (MR)	Massa úmida (MAU)	T+U (MRAU)	T+S (MRAS)	Massa Seca (AS)	TU (%)
1	33.65	35.82	69.48	40.67	7.01	80.42%
2	47.93	35.08	83.02	54.42	6.48	81.51%
3	40.94	35.22	76.16	47.92	6.98	80.18%

Legenda: massa do recipiente (MR), massa da amostra úmida (MAU), massa do conjunto recipiente/ amostra úmida (MRAU), massa do conjunto recipiente/amostra seca (MRAS), massa da amostra seca (AS) e, teor de umidade (TU%).

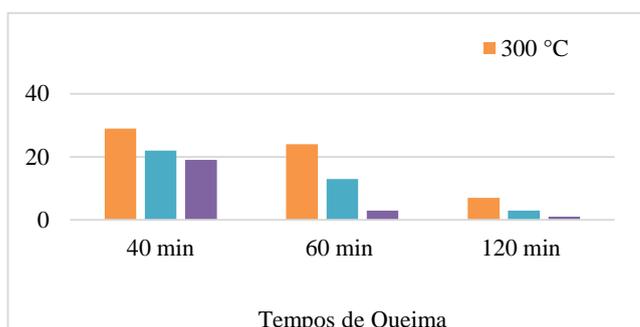
Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

No entanto, a água de constituição do material que faz parte da composição química dos componentes primários da madeira só pode ser eliminada se for acompanhada de degradação irreversível, normalmente próximo ou acima de 200°C, com o início da degradação da hemicelulose (BRITO et al., 2006; PEREIRA et al., 2013).

### Teor de cinzas

Para caracterizar resíduos lignocelulósicos, a determinação do teor de cinzas é crucial, pois está sujeita à composição inorgânica do material, podendo influenciar o rendimento e a qualidade do carvão (DIAS JUNIOR et al., 2020; CIUTA et al., 2016). As condições de operação (temperatura e tempo) foram definidas com base em informações disponíveis na literatura e estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1- Percentual em massa das amostras submetidas ao processo de queima



Fonte: Autores

De acordo com a Figura 1, a redução do tempo de queima gerou maior produção de massa residual. As amostras carbonizadas a 300, 400 e 500 °C por 40 minutos apresentaram maior teor de cinzas em relação aos outros grupos. No segundo grupo, amostras queimadas a 300 e 400 °C por 60 minutos apresentaram rendimentos de 24 e 13%, respectivamente.

Para amostras carbonizadas a 500 °C por 60 e 120 minutos, a massa residual foi de 3% e 1%, respectivamente. Verificou-se que o aumento da temperatura e tempo de retenção leva a um decréscimo no teor de cinzas, possivelmente devido à volatilização de substâncias presentes nas amostras, como mostrado na Figura 2A; Figura 2B; Figura 2C.

Segundo Pouey (2006), a cor escura da cinza queimada é um bom indicativo de que a substância já contém carbono, pois a cor mais clara da cinza indica haver uma quantidade excessiva de matéria orgânica queimada. Essa quantidade excessiva de matéria orgânica queimada reduz a produção de carbono.

Figura 2 - Cinzas da madeira queimada: (A) 400°C em 60 min, (B) e

(C) 500°C em 120 min



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

### Morfologia

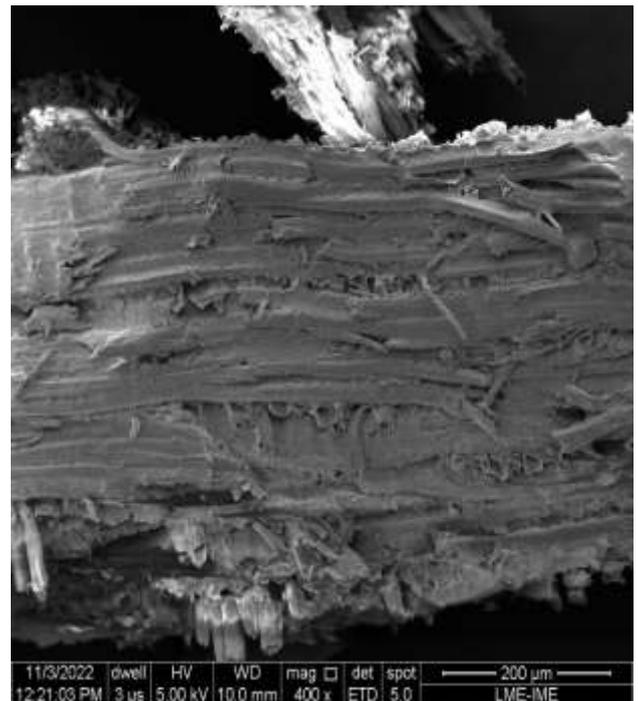
A análise morfológica de elementos celulares fornece informações valiosas sobre a madeira, incluindo a idade da planta, diâmetro da fibra, ângulo microfibrilar, comprimento crítico, tratamentos superficiais nas fibras e a composição da planta em relação a celulose, hemicelulose, lignina e fração de solúveis. Essas informações são relevantes para estudos ecológicos e climáticos (REIS-AVILA; OLIVEIRA, 2017).

Em relação à anatomia da madeira, o tauari é composto por fibras, de células alongadas com extremidades afiladas, cujas paredes costumam ser mais espessas e possuem maior amplitude na direção do eixo. Tais características são responsáveis pela resistência mecânica, bem como vasos, raios e parênquima axial (CORADIN et al., 2020; SCHWEINGRUBER; BÖRNER; SCHULZE, 2006; CURY; TOMAZELLO FILHO, 2011).

A serragem *in natura* apresenta superfície heterogênea com células parenquimáticas (Figura 3). Após queimada a 400 °C por 60 minutos (Figura 4), ocorre degeneração das fibras lignocelulósicas, essencial para a formação de microporosidade na superfície do material, importante para a produção de carvão ativado (FIGUEIREDO et al., 2012).

Figura 3- Micrografia obtida por MEV da serragem *in natura*,

ampliada em 400x



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Figura 4- Micrografia obtida por MEV da serragem após a queima

de 400 °C em 60 minutos, ampliada em 300x



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados das análises químicas e físicas, foi possível observar que o processo de queima afeta significativamente a composição química e as propriedades físicas das cinzas obtidas, o que é importante para a seleção do melhor material a ser utilizado na produção de carvão ativado ou grafeno.

Os resultados da análise térmica mostram que a queima da serragem produz uma quantidade significativa de cinzas, o que é importante do ponto de vista ambiental, uma vez que a serragem é um resíduo industrial que pode ser reaproveitado.

A quantidade de material diminui à medida que a temperatura e o tempo de queima aumentam, devido à queima de matéria orgânica.

As melhores cinzas selecionadas foram das amostras obtidas em temperaturas de 300 e 400°C por 60 minutos que apresentaram uma alta porcentagem de carbono.

As amostras carbonatadas por 120 minutos apresentaram menor valor de rendimento de carbono, especialmente a 500 °C.

A análise morfológica mostrou que a degeneração das fibras lignocelulósicas é importante para a formação de microporosidade na superfície do material, o que facilita posteriormente a ativação química do carvão.

Além disso, os resultados sugerem que a temperatura e o tempo de queima podem ser otimizados para a produção de cinzas com a composição química e propriedades físicas ideais para a produção de carvão ativado ou grafeno.

Os resultados indicam que a serragem de tauari é uma fonte promissora de cinzas para a síntese de grafeno, com baixo custo e de forma limpa e ecológica, sem emitir gases nocivos ao meio ambiente.

O estudo contribui para o desenvolvimento de novos materiais a partir de resíduos naturais, com potencial de aplicação em diferentes áreas, como a indústria de eletrônicos, por exemplo.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de

Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

## REFERÊNCIAS

ADHIKARI, S.; OZARSKA, B. Minimizing environmental impacts of timber products through the production process “From Sawmill to Final Products”. *Environmental Systems Research*, v. 7, n.1, p. 1-15, 2018.

ASAMOAH, O.; KUITTINEN, S.; ABREFA DANQUAH, J.; QUARTEY, E. T.; BAMWESIGYE, D.; MARIO BOATENG, C.; PAPPINEN, A. Assessing wood waste by timber industry as a contributing factor to deforestation in Ghana. *Forests*, v.11, n 9, p. 939, 2020.

BRITO, J. O.; GARCIA, J. N.; BORTOLETTO, G.; DAS CHAGAS PESSOA, A. M.; DA SILVA, P. H. M. Densidade básica e retratibilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, submetida a diferentes temperaturas de termorretificação. *Cerne*, v. 12, n 2, p. 182-188, 2006.

CIUTA, S.; ZHANG, Y.; TAN, X.; WU, S.; SPLIETHOFF, H. A review of biomass ash properties towards high-temperature applications. *Fuel*, v. 175, p. 480-499, 2016.

CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A.; PASTORE, T. C. M.; CHRISTO, A. G. Madeiras comerciais do Brasil: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, Laboratório de Produtos Florestais, 2020. CD Rom.

CURY, G.; TOMAZELLO FILHO, M. Descrição anatômica de espécies de madeira utilizadas na construção civil. *Floresta e Ambiente*, v.18, n 3, p.227-236, 2011.

DIAS JUNIOR, A. F.; ESTEVES, R. P.; DA SILVA, A. M.; SOUSA JÚNIOR, A. D.;

- OLIVEIRA, M. P.; BRITO, J. O.; BRAGA, B. M. Investigating the pyrolysis temperature to define the use of charcoal. **European journal of wood and wood products**, v.78, n 1, p. 193-204, 2020.
- FIGUEIREDO, J. L.; PEREIRA, M. F. R.; FREITAS, M. M. A.; ORFAO, J. J. M. Modification of lignocellulosic materials for enhanced performance as activated carbons: a review. **Industrial Crops and Products**, v. 36, n. 1, p. 481-493, 2012.
- GANIRON JR, T. U.; UCOL-GANIRON, N.; GANIRON III, T. U. Recycling of waste coconut shells as substitute for aggregates in mix proportioning of concrete hollow blocks. **World Scientific News**, v. 77, n. 2, p. 107-123, 2017.
- HURMEKOSKI, E.; JONSSON, R.; KORHONEN, J.; JÄNIS, J.; MÄKINEN, M.; LESKINEN, P.; HETEMÄKI, L. Diversification of the forest industries: role of new wood-based products. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 48, n. 12, p. 1417-1432, 2018.
- KOBETIČOVÁ, K.; ČERNÝ, R. Terrestrial eutrophication of building materials and buildings: An emerging topic in environmental studies. **Science of The Total Environment**, v. 689, p. 1316-1328, 2019.
- OLIVEIRA, A. C. **Secagem de toras de eucalipto**. 2015. 81f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa.
- PAPADOPOULOS, A. N.; TAGHIYARI, H. R. Innovative wood surface treatments based on nanotechnology. **Coatings**, v. 9, n. 12, p. 866, 2019.
- PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. D. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A.; OLIVEIRA, A. C. Estudo da degradação térmica da madeira de Eucalyptus através de termogravimetria e calorimetria. **Revista Árvore**, v.37, p.567-576, 2013.
- POUEY, M. T. F. **Beneficiamentos da cinza de casca de arroz residual com vistas à produção de cimento composto e/ou pozolânico**. 2006. 196f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- RAMOS, W. F.; RUIVO, M. D. L. P.; JARDIM, M. A. G.; SOUSA, L. M. D. Geração de resíduos madeireiros do setor de base florestal na região metropolitana de Belém, Pará. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 1823-1830, 2018.
- REIS-AVILA, G.; OLIVEIRA, J. M. Lauraceae: A promising family for the advance of neotropical dendrochronology. **Dendrochronologia**, v. 44, p. 103-116, 2017.
- SCHWEINGRUBER, F. H.; BÖRNER, A.; SCHULZE, E. **Atlas of woody plant stems: evolution, structure, and environmental modifications**. 1.ed. Springer Science & Business Media, 2007. 230p.
- VALLI, M.; RUSSO, H. M.; BOLZANI, V. S. The potential contribution of the natural products from Brazilian biodiversity to bioeconomy. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, p. 763-778, 2018.
- XIONG, C.; LI, B.; DUAN, C.; DAI, L.; NIE, S.; QIN, C.; NI, Y. Carbonized wood cell chamber-reduced graphene oxide@ PVA flexible conductive material for supercapacitor, strain sensing and moisture-electric generation applications. **Chemical Engineering Journal**, v. 418, p. 129518, 2021.
- YU, W.; SISI, L.; HAIYAN, Y.; JIE, L. Progress in the functional modification of graphene/graphene

oxide: A review. **RSC advances**, v. 10, n. 26, p. 15328-15345, 2020.

ZHANG, X.; HUANG, Q.; ZHANG, M.; LI, M.; HU, J.; YUAN, G. Pine wood-derived hollow carbon fibers@ NiO@ rGO hybrids as sustainable anodes for lithium-ion batteries. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 822, p. 153718, 2020.