



Efeito da modificação térmica na resistência biológica da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis*)

Amanda Grillo Francischetto¹; Juarez Benigno Paes¹; Flávia Maria Silva Brito¹; Ana Carla Bezerra de Lima¹; Glaucileide Ferreira¹; Rodolpho Stephan Santos Braga¹

¹ Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Jerônimo Monteiro/ES, Brasil – faengflorestal@gmail.com;

Resumo: As espécies de mogno africano produzem madeiras valorizadas no mercado, pelas suas propriedades tecnológicas e beleza. Com a restrição ao corte de espécies florestais nativas, plantações de mogno africano (*Khaya* spp.) são uma solução para suprir a demanda de madeira. Os tratamentos térmicos são uma alternativa para melhorar a coloração e a resistência biológica. O objetivo da pesquisa foi verificar o efeito do tratamento térmico da madeira de mogno (*Khaya ivorensis*) na melhoria da sua resistência a fungos apodrecedores. Para tanto, foram utilizadas as madeiras de duas posições no tronco. A madeira foi submetida a duas temperaturas de tratamento térmico (180 e 200 °C) e exposta à ação de fungos apodrecedores causadores da podridão parda (*Gloeophyllum trabeum* e *Rhodonia placenta*), a fim de certificar os efeitos da posição e das temperaturas na resistência da madeira. Conclui-se que a modificação térmica não causou melhorias na resistência da madeira aos fungos testados.

Palavras-chave: Madeira de reflorestamento, Ensaios biológicos, *Gloeophyllum trabeum*, *Rhodonia placenta*.

Effect of thermal modification on the biological resistance of African mahogany wood (*Khaya ivorensis*)

Abstract: African mahogany species produce wood that is valued on the market for its technological properties and beauty. With the restriction on the cutting of native forest species, plantations of African mahogany (*Khaya* spp.) are a solution to meet the demand for wood. Heat treatments are an alternative to improve coloring and biological resistance. The objective of the research was to verify the effect of heat treatment of mahogany wood (*Khaya ivorensis*) in improving its resistance to rotting fungi. For this purpose, wood from two positions in the trunk was used. The wood was subjected to two heat treatment temperatures (180 and 200 °C) and exposed to the action of rotting fungi that cause brown rot (*Gloeophyllum trabeum* and *Rhodonia placenta*), in order to certify the effects of position and temperatures on the resistance of the wood. It is concluded that thermal modification did not cause improvements in the resistance of wood to the fungi tested.

Keywords: Reforestation wood, Biological assays, *Gloeophyllum trabeum*, *Rhodonia placenta*.



1. INTRODUÇÃO

O mogno-africano (*Khaya* spp.) é uma árvore nativa da Região Oeste do Continente Africano, pertencente à família Meliaceae, a mesma do mogno brasileiro. Possui quatro espécies descritas, *Khaya anthotheca*, *Khaya grandifoliola*, *Khaya senegalensis* e *Khaya ivorensis* (Dipelet *et al.*, 2017). Esta última é uma das mais importantes do gênero, pois tem despertado o interesse no mercado nacional e internacional.

O mogno-africano é uma boa opção de investimento, pelas altas taxas de retorno, entre 14% e 25%, superior à maioria das outras espécies florestais no mercado (Ribeiro *et al.*, 2019). Considerando que esta madeira pertence a um gênero exótico, em fase inicial no Brasil, com plantios em desenvolvimento e escassas pesquisas científicas sobre características e propriedades da madeira (Souza *et al.*, 2022), interesse em que se apoia o desenvolvimento desta pesquisa, principalmente em relação a resistência biológica, que está atrelada a composição química da madeira.

Compostos que formam a madeira (celulose, hemicelulose e lignina) são fontes de nutrientes para agentes biológicos, como fungos, bactérias, térmitas, além das brocas marinhas, que possuem sistemas enzimáticos ou organismos simbiontes em seus tratos digestivos capazes de metabolizar estes constituintes (Vivian *et al.*, 2015). Em função disso há a necessidade de realizar pesquisas sobre as características biológicas das madeiras para definir usos mais adequados e sua viabilidade econômica.

É importante destacar que os processos convencionais utilizados para o tratamento da madeira, vêm tendo seu uso restringido, em função de serem constituídos de compostos químicos danosos ao ser humano e ao ambiente. Esses produtos exigem cuidados com manuseio, dosagem e descarte, dificultando o processo final e tornando inviável a reciclagem da madeira tratada (Wang *et al.*, 2016). Desta forma, são de interesse mundial, pesquisas que envolvam outros métodos de prolongar a vida útil da madeira, como os tratamentos térmicos.

Com o decorrer do tempo algumas pesquisas vêm sendo realizadas com a modificação térmica que pode ser definida como um processo que consiste em expor o material em uma faixa de temperatura (100 e 300 °C) durante 15 min a 24 horas. Conforme os parâmetros adotados no ciclo de tratamento, é possível obter várias

características no produto final (Jones *et al.*, 2019). Estudos realizados por Vidholdová *et al.* (2022) e Brito *et al.* (2023) demonstraram efeito positivo da modificação térmica na resistência biológica da madeira.

Assim, a modificação térmica para a madeira de *Khaya ivorensis* visa à proteção da madeira sem a necessidade e aplicação de produtos químicos, que podem ser nocivos ao homem e ao ambiente. A madeira tratada tem uma série de problemas relacionados com a reutilização, no entanto, a termicamente modificada pode ser empregada para outras finalidades após o uso (Paes *et al.*, 2016). Desse modo, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito do tratamento térmico da madeira de mogno (*Khaya ivorensis*) na melhoria de sua resistência a fungos apodrecedores.

2. MATERIAL E MÉTODOS

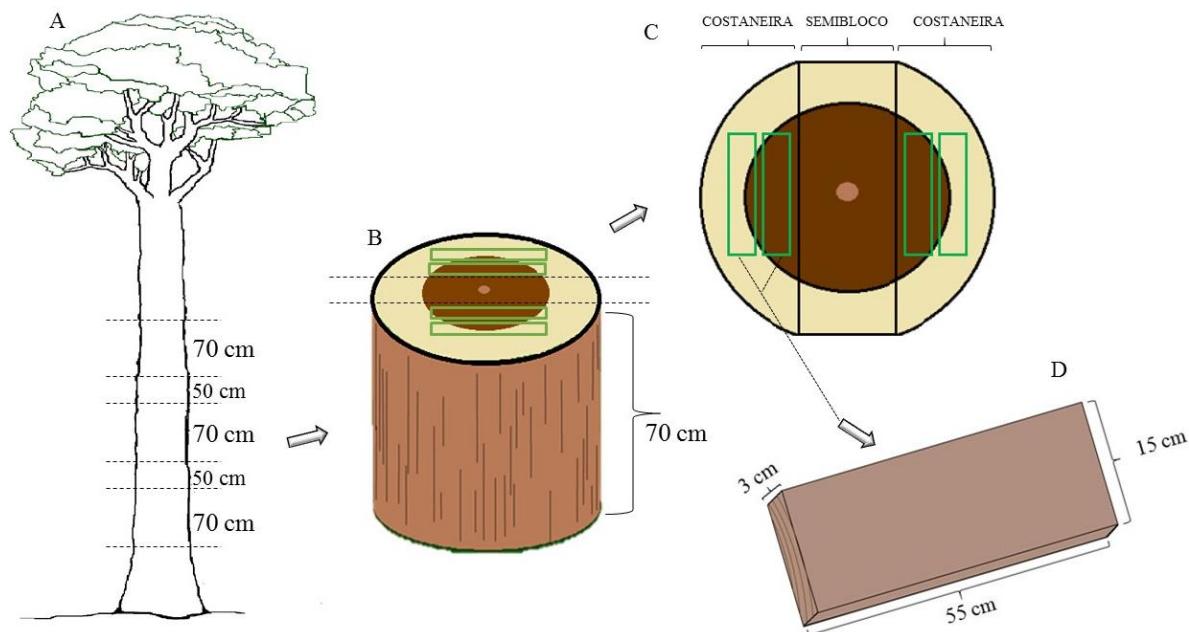
2.1 *Procedência, coleta e amostragem da madeira*

A madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) foi obtida em um plantio seminal com 25 anos, da Reserva Natural Vale, localizada no município de Sooretama, Espírito Santo (19° 06' a 19° 18' S e 39° 45' a 40° 19' W, altitude entre 28 – 65 m). O clima local é o tropical úmido, com precipitação média anual de 1.200 mm, temperatura média de 25,1°C e umidade relativa de 83%. O espaçamento inicial do plantio foi de 3 x 2 m, sendo aplicados durante a sua implantação 200 g de superfosfato simples por cova. Foram selecionadas três árvores da espécie, das quais foram coletados três toretes por árvore, com 70 cm de comprimento (Figura 1 A e 1 B).

Os toretes foram desdobrados com motosserra, produzindo um semibloco de 14 cm de espessura e duas costaneiras de altura variável (média de 12 cm) (Figura 1 C). As costaneiras originaram duas peças. A primeira contendo alburno e cerne externo; e a segunda, apenas com cerne externo/mediano (Figura 1C). Essas peças (Figura 1 D) foram utilizadas na modificação térmica. Após o desdobra, elas foram aplinadas e climatizadas ($25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa - UR) por cerca de 20 dias, como descrito por Lima (2019). As costaneiras foram utilizadas, por terem uma boa proporção de madeira de transição alburno/cerne e cerne externo/mediano e menor quantidade de lenho produzido pelos primeiros anos de crescimento.



Figura 1. Preparo do material: A) amostragem dos toretes nas árvores; B) torete em perspectiva; C) seção transversal do torete; D) peças utilizadas na modificação térmica.



Fonte: Lima (2019).

Das costaneiras foram obtidas 18 peças, contendo alburno/cerne e cerne externo/mediano. Estas foram desdobradas, obtendo-se 36 amostras de $55 \times 15 \times 3$ cm (comprimento \times largura \times espessura), sendo a metade delas proveniente da parte interna (cerne) e a externa (alburno/cerne).

2.2 Modificação térmica e preparo das amostras

Os tratamentos de modificação térmica da madeira consistiram em controle (25 - 30 °C) e modificada termicamente (180 e 200°C), com duas horas de duração na temperatura máxima de ensaio (Lima, 2019). Para todas as análises previstas, foram realizadas amostragem em duas regiões do tronco (cerne externo/mediano) e na região de transição (alburno/cerne). Da interação desses fatores, resultaram seis tratamentos estatísticos, cada um com seis amostras modificadas termicamente a 180 e 200°C, além do controle (25 a 30°C).

Para os ensaios com fungos xilófagos causadores da podridão parda foram retiradas amostras de $2,54 \times 2,45 \times 0,9$ cm (radial \times tangencial \times longitudinal) das



regiões citadas, as quais foram avaliadas como descrito na American Wood Protection Association - AWPA E 30-22 (2022).

2.3 Resistência à deterioração por fungos xilófagos

Para o ensaio de resistência biológica da madeira ao apodrecimento foram utilizadas três temperaturas [25 - 30 (controle), 180 e 200 °C], duas posições (cerne externo/mediano e alburno/cerne), dois fungos e cinco repetições. Para tanto, as amostras de cada posição e temperatura foram lixadas para eliminar defeitos e secas em estufa à temperatura de 103 ± 2 °C, até atingirem massa constante, pesadas em balanças de 0,01 g de precisão e destinadas à montagem dos ensaios.

Para o ensaio foram utilizados fungos que causam a podridão parda *Gloeophyllum trabeum* (Pers.) Murrill (Mad 617) e *Rhodonia placenta* (Fr.) Niemelä, K.H.Larss. & Schigel (Mad R698). No preparo do meio de cultura foi seguida a AWPA E 10-22 (2022). O ensaio foi montado em frascos de 600 mL, preenchidos com 300 g de solo com pH de 6,9 e capacidade de retenção de água de 24,7%. O solo foi umedecido para 130% da capacidade de retenção, com adição de 73,5 mL de água destilada por frasco, conforme AWPA E 10-22 (2022), e posteriormente adicionados dois alimentadores de madeira de *Pinus elliottii*, de dimensões 3 x 28 x 35 mm e o conjunto esterilizados em autoclave a 103 kPa e 121 °C por 30 min.

Após a esterilização, fragmentos de ± 1 cm² de culturas puras dos fungos foram adicionados sobre as placas alimentadoras em câmara de fluxo laminar. Após o desenvolvimento dos fungos nos frascos (aproximadamente 15 dias), foram inseridas duas amostras teste, de tratamentos diferentes, por frasco. Todas as operações de manipulação de fungos foram realizadas em condições assépticas.

O ensaio foi mantido em sala climatizada (25 ± 2 °C e 65 ± 5 % UR) por oito semanas, e não 12 a 16 semanas, como preestabelecido pela AWPA E30-22 (2022). Após o término do ensaio, as amostras foram limpas com escova de cerdas macias para retirar os micélios dos fungos e inseridas em estufa a 103 ± 2 °C até atingirem massa constante. Para a classificação da resistência da madeira, resultante da ação fúngica, foi seguida a AWPA E30-22 (2022).

Para avaliar os resultados obtidos foi empregado delineamento inteiramente casualizado (DIC) com arranjo fatorial, em que foram avaliados os efeitos da temperatura (três níveis) e das posições no tronco (dois níveis), com cinco repetições



para cada situação. A normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias foram verificadas pelos testes de Lilliefors e de Cochran, respectivamente. Para atender aos pressupostos estatísticos, os valores de porcentagem de perda de massa foram transformados em arcsen [raiz quadrada (perda de massa /100)].

Os valores foram analisados por meio de análise de variância e teste F ($p < 0,05$). Quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Não foram realizadas comparações entre os fungos utilizados, por se tratarem de organismos com comportamento diferentes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variância acusaram diferenças significativas apenas entre as posições avaliadas na madeira, para o fungo *Gloeophyllum trabeum*. Apesar de apenas o efeito da posição ter sido significativo (*G. trabeum*), para uma melhor compreensão do comportamento dos tratamentos aplicados à madeira, frente ao ataque dos fungos, todas as médias dos parâmetros e interação avaliados são apresentadas (Tabela 1).

Tabela 1. Comparação entre médias da perda de massa, para as posições na madeira, temperatura de tratamento térmico e fungos utilizados.

Fungos utilizados	<i>Gloeophyllum trabeum</i>			<i>Postia placenta</i>		
Posição na madeira	Perda de Massa (%)			Perda de Massa (%)		
Alburno/Cerne	12,16 a			14,01 a		
Cerne interno	7,23 b			11,11 a		
Temperatura (°C)	Perda de Massa (%)			Perda de Massa (%)		
25 a 30	6,55 a			11,23 a		
180	11,47 a			11,86 a		
200	11,06 a			14,59 a		
Posição na madeira	Temperatura (°C) / Perda de Massa (%)			Temperatura (°C) / Perda de Massa (%)		
	25 a 30	180	200	25 a 30	180	200
Alburno / Cerne	9,73 Aa	12,20 Aa	14,53 Aa	10,88 Aa	12,68 Aa	18,47 Aa
Cerne interno	3,37 Aa	10,73 Aa	7,59 Aa	11,58 Aa	11,03 Aa	10,71 Aa

Médias seguidas por uma mesma letra, minúscula na vertical ou maiúscula na horizontal, para cada fungo, posição e temperatura utilizados, não diferem (Tukey, $p > 0,05$).

Independente da temperatura, a perda de massa causada na madeira de alburno/cerne, pelo fungo *G. trabeum* foi maior (4,93%) que aquela do cerne externo/mediano. Isto ocorreu, provavelmente pela quantidade de extrativos que estavam presentes no cerne, ou que foram gerados pela temperatura, tenha influenciado



positivamente na resistência da madeira de mogno africano. Isso foi observado por Lima (2019) com relação ao ataque de térmitas causados a esta madeira, submetida as mesmas condições de trabalho. Para o fungo *R. placenta*, mesmo não tendo sido observada diferença significativa entre as médias, a deterioração causada no alburno/cerne foi 2,9% superior à do cerne externo/mediano.

O efeito da temperatura, independentemente da posição na madeira, promoveu aumento na deterioração. O incremento observado (4,92%; 180 °C e 4,51%; 200 °C) em relação ao controle (25-30 °C) não foi suficiente para discriminar a influência da modificação térmica da madeira, para o *G. trabeum*, no período avaliado de ensaio (oito semanas). Comportamento semelhante foi observado para o *R. Placenta*, porém para este caso, o incremento na perda de massa foi menor (0,63%; 180 °C e 3,36%; 200 °C). Assim, para esse fungo, a temperatura de 200 °C promoveu a maior deterioração.

A modificação térmica promove melhorias na resistência biológica da madeira a fungos xilófagos (Modes *et al.*, 2017). Gaff *et al.* (2019) observaram que a degradação térmica, causada em alguns componentes de menor peso molecular, ocasionou uma maior quantidade de lignina e, queda nos polissacarídeos da madeira (holocelulose), tendo disponibilizado menor quantidade de alimento para os organismos deterioradores. Porém, os resultados obtidos mostram que o aumento da temperatura de tratamento influenciou a deterioração da madeira de mogno africano. Isso pode ser explicado pelo tempo de exposição da madeira aos fungos, desta forma, os resultados podem mudar após as 12 semanas de ensaio.

O efeito conjunto da posição e temperatura foi não significativo. Mas, mesmo assim, nota-se para o *G. trabeum*, que independente da temperatura, a madeira de alburno/cerne foi mais deteriorada. Comportamento semelhante também foi observado para o *R. placenta*, exceto para a temperatura controle, em que a deterioração causada no cerne foi maior que no alburno. Observou-se também, que de modo geral, independentemente da posição avaliada na madeira, o tratamento térmico causou incremento na deterioração da madeira. Esse resultado foi observado no atual estágio da pesquisa, podendo mudar após as 16 semanas.

Observou-se que o *R. placenta* aparentemente tem uma maior capacidade de deterioração da madeira de mogno africano, independentemente da posição na madeira e temperatura testadas. As amostras foram classificadas como resistentes a altamente resistentes aos fungos testados, conforme AWPA E 30-22 (2022).



4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que:

- As temperaturas de modificação térmica aplicadas não promoveram efeito positivo na melhoria na resistência biológica da madeira de mogno africano aos fungos causadores de podridão-parda, após as oito semanas de ensaio.
- O cerne interno, independente da temperatura aplicada, foi mais resistente à deterioração causada pelo *Gloeophyllum trabeum* que a madeira de alburno/cerne.

5. REFERÊNCIAS

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. **AWPA E30-22**: Standard method for evaluating natural decay resistance of woods using laboratory decay tests. Birmingham: AWPA, 2022.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. **AWPA E10-22**: Laboratory method for evaluating the decay resistance of wood-based materials against pure basidiomycete cultures: soil/block test. Birmingham: AWPA, 2022.

BRITO, T. M.; FERREIRA, G.; SILVA, J. G. M. et al. Resistance to biodeterioration of thermally modified *Eucalyptus grandis* and *Tectona grandis* short-rotation wood. **Wood Material Science & Engineering**. v. 18, n. 1, p. 3-10, 2023.

DIPELET, U. G. B.; FLORENCE, J.; DOUMENGE, C. et al. Khaya (Meliaceae) specierum nomenclator. **Adansonia**. v. 30, p. 15-30, 2017.

GAFF, M.; KAČÍK, F.; GAŠPARÍK, M. Impact of thermal modification on the chemical changes and impact bending strength of European oak and Norway spruce wood. **Composite Structures**. v. 216, p. 80-88, 2019.

JONES, D.; SANDBERG, D.; GOLI, G. et al. **Wood modification in Europe**: A state-of-the-art about processes, products and applications. Firenze University Press: Firenze, 2019.

LIMA, A. C. B. **Efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**. 2019. 82f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2019.

MODES, K. S.; SANTINI, E. J.; VIVIAN, M. A. et al. Efeito da termorretificação nas propriedades mecânicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**. v. 27, n.1, p. 291-302, 2017.

PAES, J. B.; SEGUNDINHO, P. G. A.; EUFLOSINO, A. E. R. *et al.* Biological resistance of thermally treated *Corymbia citriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson and *Pinus taeda* L. woods against xylophagous termites. *Revista Árvore*, v. 40, n.3, p. 535-541, 2016.

RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; OLIVEIRA, E. B. Usos, importância econômica e perspectivas de mercado. In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. (Eds). **Mogno-africano (*Khaya* spp.): atualidades perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2019. p. 51-73.

SOUZA, C. O.; ARANTES, M. D. C.; PINTO, J. A. *et al.* Qualidade dos resíduos madeireiros de mogno africano e eucalipto para briquetagem. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 2, p. 637-652, 2022.

VIDHOLDOVÁ, Z.; KAČÍK, F.; REINPRECHT, L. *et al.* Changes in chemical structure of thermally modified spruce wood due to decaying fungi. **Journal of Fungi**, v. 8, n. 7, 739, 2022.

VIVIAN, M.A.; SANTINI, E.J.; MODES, K.S. *et al.* Resistência biológica da madeira tratada de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana* a fungos apodrecedores em ensaios de laboratório. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 175-183, 2015.

WANG, L.; CHEN, S. S.; TSANG, T. C. W. *et al.* Recycling contaminated wood into eco-friendly particleboard using green cement and carbon dioxide curing. **Journal of Cleaner Production**. v. 137, p. 861-870, 2016.