

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

AMANDA GRILLO FRANCISCHETTO

EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA RESISTÊNCIA BIOLÓGICA  
DA MADEIRA DE MOGNO AFRICANO  
(*Khaya ivorensis* A. Chev.)

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO  
2019

AMANDA GRILLO FRANCISCHETTO

EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA RESISTÊNCIA BIOLÓGICA  
DA MADEIRA DE MOGNO AFRICANO  
(*Khaya ivorensis* A. Chev.)

Monografia apresentada ao  
Departamento de Ciências  
Florestais e da Madeira da  
Universidade Federal do Espírito  
Santo, como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheira  
Florestal.

JERÔNIMO MONTEIRO  
ESPÍRITO SANTO

2019

AMANDA GRILLO FRANCISCETTO

EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA RESISTÊNCIA BIOLÓGICA DA  
MADEIRA DE MOGNO AFRICANO

(*Khaya ivorensis* A. Chev.)

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal

Aprovada em 24 de junho de 2019.

COMISSÃO EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Juarez Benigno Paes

Universidade Federal do Espírito Santo

---

M.Sc. Joyce de Almeida Pinto

Universidade Federal do Espírito Santo

---

M.Sc. Lais Gonçalves da Costa

Universidade Federal do Espírito Santo

## Agradecimentos

Ao Deus, que me deu forças e sabedoria para chegar até aqui, e ao longo da caminhada me mostrou que tudo daria certo.

Aos meus amados pais, Márcio e Marta, agradeço o apoio, incentivo e amor incondicional. Sem eles essa conquista não seria possível.

A Universidade Federal do Espírito Santo, principalmente ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, eu agradeço pelo ambiente propício à evolução e crescimento, bem como a todas as pessoas que o tornam assim tão especial para quem o conhece.

A Companhia Vale do Rio Doce S.A., em especial à Jackeceli Rizzo, pela disponibilidade e ajuda na logística durante a doação da madeira de mogno africano utilizada neste estudo e pelo suporte prestado.

Agradeço ao meu professor e orientador Juarez Benigno Paes, por todo carinho, paciência e orientação para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus queridos professores, exemplos de amor e dedicação, agradeço por todo conhecimento transferido a nós e pela amizade, que tornou tudo mais fácil.

Aos meus amigos do curso de Engenharia Florestal, em especial Amanda, João Vitor e Thales pelo companheirismo, ajuda, sensatez e superação diante das inúmeras dificuldades encontradas ao longo da graduação.

A mestrandas Ana Carla Bezerra de Lima, por me ceder as amostras de Mogno Africano usadas para realização deste trabalho e ao Professor Dr. Djeison Cesar Batista, pelo auxílio nos tratamentos aplicados à madeira de mogno africano.

A todas as pessoas que de alguma forma fizeram parte deste percurso, deixo minha eterna gratidão.

## Resumo

As espécies de mogno africano produzem madeiras valorizadas no mercado internacional, 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 (madeira mais escura ou avermelhada) e a resistência biológica desejada a esta madeira. 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 (alburno/cerne e cerne interno), provenientes de três árvores de um plantio seminal, com idade de 25 anos, pertencente à Reserva Natural Vale, localizado em Sooretama - Espírito Santo. 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 *Postia placenta*), a fim de certificar os efeitos da posição e das temperaturas na resistência da madeira. Conclui-se que, no atual estágio da pesquisa, a modificação térmica na causou melhorias na resistência da madeira aos fungos testados.

**Palavras chave:** Madeira de reflorestamento. Modificação térmica. Ensaio biológicos.

## Sumário

Lista de Tabelas .....	vii
Lista de Figuras .....	viii
1 INTRODUÇÃO .....	9
1.1 O problema e sua importância .....	9
1.2 Objetivos .....	10
1.2.1 Objetivo geral .....	10
1.2.2 Objetivos específicos .....	11
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	12
2.1 Mogno africano ( <i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.) .....	12
2.2 Biodeterioração da madeira.....	12
2.3 Fungos Xilófagos .....	13
2.4 Modificação térmica da madeira .....	14
3 METODOLOGIA .....	16
3.1 Procedência, coleta e amostragem da madeira .....	16
3.2 Modificação térmica e preparo das amostras .....	17
3.3 Resistência à deterioração por fungos xilófagos .....	18
4 RESULTADOS DA PESQUISA .....	22
5 CONCLUSÕES .....	25
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	26

## Lista de Tabelas

Tabela 1 - Classes de resistência da madeira a fungos xilófagos .....	20
Tabela 2 - Resumo das análises de variâncias da perda de massa (%) causada pelos fungos utilizados, na madeira de mogno africano. Dados transformados .....	22
Tabela 3 - Comparação entre médias da perda de massa, para as posições na madeira, temperatura de tratamento térmico e fungos utilizados .....	22

## Lista de Figuras

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 .....	17
Figura 2 -	Fluxograma dos tratamentos aplicados a madeira de <i>Khaya ivorensis</i> .....	18
Figura 3 -	Alimentadores de madeira de <i>Pinus elliotti</i> no frasco de vidro.....	19
Figura 4 -	Amostras teste no frasco com fungo <i>Gloeophyllum trabeum</i> (A) e <i>Postia placenta</i> .....	19
Figura 5 -	Amostras limpas e secas em estufa após o ensaio .....	20



# 1 INTRODUÇÃO

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2017), com uma área de 7,84 milhões de hectares de reflorestamento, o setor brasileiro de árvores plantadas é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais e 6,2% do Produto Interno Bruto – PIB industrial no País e, também, é um dos que segmentos com maior potencial de contribuição para a construção de uma economia verde.

## 1.1 O problema e sua importância

O mogno africano foi introduzido no Brasil em 1976, com intuito de substituir o mogno nativo, que já havia sido bastante explorado. Houve uma boa aceitação do mercado ao mogno africano pelo fato de ter características semelhantes ao mogno brasileiro e ser resistente à broca-do-ponteiro (*Hypsipyla grandella*), principal praga do mogno brasileiro (FRANÇA, 2014).

De acordo com Barroso (1987), o gênero *Khaya* pertence à família *Meliaceae*, que compreende 51 gêneros que abrangem aproximadamente 1.400 espécies, em que 60% fazem parte da economia florestal de vários países. No Brasil os plantios de mogno africano estão distribuídos pelos estados do Pará, Mato Grosso, São Paulo, Minas Gerais e Goiás.

A madeira de mogno africano é valorizada pela indústria moveleira sendo utilizada em marcenaria em geral e na produção de compensados, laminados, janelas, portas e escadas. Pode ser utilizada em construções e assoalhos leves, construção de embarcações, corpos de veículos, cabos, instrumentos esportivos e musicais, brinquedos e entalhes.

No entanto, apesar de já ter sido constatado que a espécie tem potencial econômico, Dias, Umetsu e Breier (2012) observaram que há uma carência em relação a trabalhos que abordem o conhecimento tecnológico da madeira de mogno africano, principalmente quanto à resistência biológica, a qual pode variar com a idade, local de ocorrência ou de plantio e dentro da mesma árvore. Segundo a Associação Brasileira de Celulose e Papel - BRACELPA (2011), madeiras provenientes de reflorestamentos, apesar de possuírem uma tecnologia direcionada pelo melhoramento genético, estão propensas aos ataques de organismos xilófagos, quando expostas a condições ambientais diversas.

Estudos sobre as características das madeiras são importantes para definir usos mais adequados e a sua viabilidade econômica. São de interesse do setor florestal, pesquisas que demonstrem tratamentos, que melhorem a resistência a agentes deterioradores dessas madeiras (BOTELHO, 2011; MIRANDA, 2012).

Os processos convencionais comumente utilizados para o tratamento da madeira, apesar de sua eficiência, 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 (LIN et al., 2009; KARTAL et al., 2015; 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.

Nos últimos anos a modificação térmica tem gerado resultados satisfatórios, principalmente quando há necessidade de melhorias na durabilidade da madeira, higroscopicidade e estabilidade dimensional (JÄMSÄ; VIITANIEMI, 2001; KAMDEM; PIZZI; JERMANNAUD, 2002; ESTEVES; DOMINGOS; PEREIRA, 2007; CALONEGO et al., 2012).

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 (HILL, 2006; ESTEVES; DOMINGOS; PEREIRA, 2009; PAES et al., 2016).

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

Verificar o efeito do tratamento térmico da madeira de mogno (*Khaya ivorensis*) na melhoria de sua resistência a fungos apodrecedores.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Analisar a resistência das madeiras de cerne e alburno ao ataque de fungos causadores da podridão parda; e

Avaliar o efeito das temperaturas de tratamento térmico na resistência biológica das madeiras de cerne e alburno.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.)

O mogno africano é natural da Costa do Marfim, Gana, Benin, Nigéria e sul de Camarões; ocorre desde 0 a 450 m de altitude, normalmente em vales úmidos. Seus indivíduos suportam inundações durante o período de chuvas, entretanto, é muito sensível ao período de estiagem (CONDE, 2006, citado por CARVALHO; SILVA; LATORRACA, 2010).

No Brasil os plantios de mogno africano estão distribuídos pelos estados do Espírito Santo, São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Bahia e Paraná (PINHEIRO et al., 2011). Tendo sido introduzido com o objetivo de substituir o mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla*) por causa da sua alta resistência a praga *Hypsiphyla grandella*, que ataca o mogno nativo.

O mogno de origem africana vem se tornando uma espécie de grande importância na Região Amazônica, em virtude do seu alto valor econômico, a sua facilidade de produção de mudas e ao rápido crescimento, promovendo a recuperação de áreas alteradas (ALBUQUERQUE, 2011). Segundo estimativas, uma árvore de mogno africano, ao atingir o ponto de corte, em torno de 15 a 20 anos, poderá alcançar o valor de cerca de US\$ 2.000,00, não existindo outro produto agrícola que a supere (FALESI; BAENA, 1999)

Segundo Pinheiro et al. (2011), o mogno africano possui madeira nobre de grande potencial econômico para comercialização interna e externa, podendo ser empregada na indústria moveleira, naval, construção civil, painéis e laminados.

### 2.2 Biodeterioração da madeira

Uma das características mais marcantes da madeira, como diferencial em relação a outros materiais, é a sua biodegradabilidade. Esta característica apresenta aspecto ambíguo, ou seja, ora favorável, ora desfavorável. Ao utilizar-se a madeira, espera-se que esta apresente a maior durabilidade natural possível; ou seja, apresente resistência aos organismos xilófagos e ao intemperismo (BATISTA, 2012).

Por muito tempo o processo de biodegradação foi foco de muitos estudos por causa da quantidade de madeira e produtos à base de madeira, que são danificados por ação de fungos, e da necessidade do desenvolvimento de métodos de prevenção à biodegradação menos ofensivos ao meio ambiente (ARANTES, 2009).

A resistência à deterioração pode ser atribuída à presença de certas substâncias presentes no lenho, como taninos e outras substâncias fenólicas complexas, que são tóxicas a xilófagos (HUNT; GARRATT, 1967). É a capacidade inerente à espécie de resistir à ação de agentes deterioradores, incluindo os agentes biológicos e os físicos e químicos. No entanto, em virtude da frequência e da importância econômica, a resistência natural é normalmente entendida como referente aos agentes biológicos (WILLEITNER, 1984).

Assim, o conhecimento da resistência natural da madeira é de suma importância para que se possa recomendar um emprego mais adequado, evitar gastos desnecessários com a reposição de peças deterioradas e reduzir os impactos sobre as florestas remanescentes (PAES et al., 2004).

### **2.3 Fungos Xilófagos**

Por causa da sua constituição química e estrutura anatômica, a madeira está sujeita a deterioração de vários organismos biodeterioradores, dentre estes se destacam os fungos, que são os responsáveis pelos maiores danos causados à madeira (HUNT; GARRATT, 1967).

Segundo Rocha (2001), os fungos são exemplos de xilófagos mais comuns, podendo decompor totalmente a madeira ou apenas causar manchas, de modo que podem ser classificados como apodrecedores, emboloradores e manchadores.

Ao considerar os fungos apodrecedores, podem-se destacar aqueles pertencentes à classe dos Basidiomicetos, na qual se enquadram aqueles responsáveis pela podridão parda e podridão branca. Os primeiros deterioram os polissacarídeos da parede celular, e a madeira atacada apresenta uma coloração residual pardacenta. Os últimos atacam, indistintamente, tanto os polissacarídeos quanto a lignina, de modo que a madeira adquire um aspecto mais claro (ZABEL; MORRELL, 1992).

## 2.4 Modificação térmica da madeira

Alguns tratamentos químicos são empregados para promover melhorias na resistência à biodeterioração de produtos madeireiros, principalmente nas espécies de reflorestamento, que possuem baixa durabilidade natural. Os produtos químicos utilizados são nocivos ao ser humano, aos animais e ao ambiente, o que pode causar problemas tanto em relação ao uso dos produtos madeireiros, quanto o descarte dos resíduos (OLIVEIRA; PAES; VIDAURRE, 2017).

A preservação da madeira consiste na aplicação de tratamentos que ampliam seu tempo de vida. O objetivo principal se concentra na tentativa de proteger a madeira contra o ataque de agentes biológicos de deterioração como, por exemplo, fungos, insetos, e agentes marinhos, de modo a conseguir aumentar seu tempo de uso. A utilização dessa madeira, que após tratada apresenta maior durabilidade, faz com que as substituições das madeiras deterioradas sejam necessárias após um maior período de tempo, diminuindo assim os custos (TEIXEIRA, 2012).

Um dos tratamentos físico-químicos mais utilizados atualmente é a modificação térmica, foco deste estudo. A madeira tratada é obtida por um processo de tratamento térmico da madeira, no qual seus constituintes se degradam na ausência de oxigênio, ou forte deficiência de ar. Por este motivo, a madeira tratada pode ser considerada como um produto de uma pirólise controlada, interrompida antes de atingir o patamar das reações exotérmicas (as quais se iniciam aproximadamente à temperatura de 280°C), quando se inicia a combustão espontânea da madeira (BORGES; QUIRINO, 2004).

Para ser considerada modificada, a madeira precisa atender alguns requisitos, como por exemplo, não pode torna-se tóxica (por adição de algum produto durante ou após o processo) e suas propriedades precisam ser melhoradas, incluindo o ciclo de vida útil do produto (HILL, 2006; HOMAN et al., 2000). Além disso, o processo deve melhorar a madeira modificada termicamente (resistência biológica, estabilidade dimensional e cor), agregando valor ao produto final (AYADI et al., 2003; MODES et al., 2017; VERNONIS, 2001).

O tratamento térmico causa modificações na constituição química da madeira, tanto elementar como em nível de parede celular, reduzindo a disponibilidade de substâncias atrativas aos organismos xilófagos. Também ocorre a redução da higroscopicidade da madeira, por causa da diminuição dos sítios de adsorção das

moléculas de água. Além disso, os processos de modificação térmica formam uma camada protetora que evita a propagação superficial da chama, retarda o tempo de ignição e reduz a taxa de liberação de calor (LOWDEN; HULL, 2013; OSTMAN; TSANTARIDIS, 2006; SUN et al., 2012).

O tratamento térmico da madeira foi cientificamente estudado por Stamm e Hansen na década de 1930, na Alemanha, e por White na década de 1940, nos Estados Unidos. Na década de 1950 os alemães Bavendam, Runkel e Buro continuaram as pesquisas neste tema. Kollmann e Schneider publicaram suas descobertas na década de 1960 e Rusche e Burmester na de 1970. Na década de 1990, trabalhos de pesquisa foram realizados na Finlândia, França e Holanda (FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION, 2003).

O tratamento térmico causa modificações na constituição química da madeira, tanto elementar como em nível de parede celular, reduzindo a disponibilidade de substâncias atrativas aos organismos xilófagos. Também ocorre a redução da higroscopicidade da madeira, por causa da diminuição dos sítios de adsorção das moléculas de água. Além disso, os processos de modificação térmica formam uma camada protetora que evita a propagação superficial da chama, retarda o tempo de ignição e reduz a taxa de liberação de calor (LOWDEN; HULL, 2013; OSTMAN; TSANTARIDIS, 2006; SUN et al., 2012).

A grande vantagem da utilização dos processos de modificação térmica em comparação aos métodos de tratamento tradicionais é a não utilização de produtos químicos tóxicos na madeira, mas sim, a modificação de sua estrutura química pela ação física de calor (seco ou úmido) e pressão. Desta forma, o processo não promove nenhum tipo de impregnação de substâncias externas na madeira (BATISTA, 2012).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Procedência, coleta e amostragem da madeira

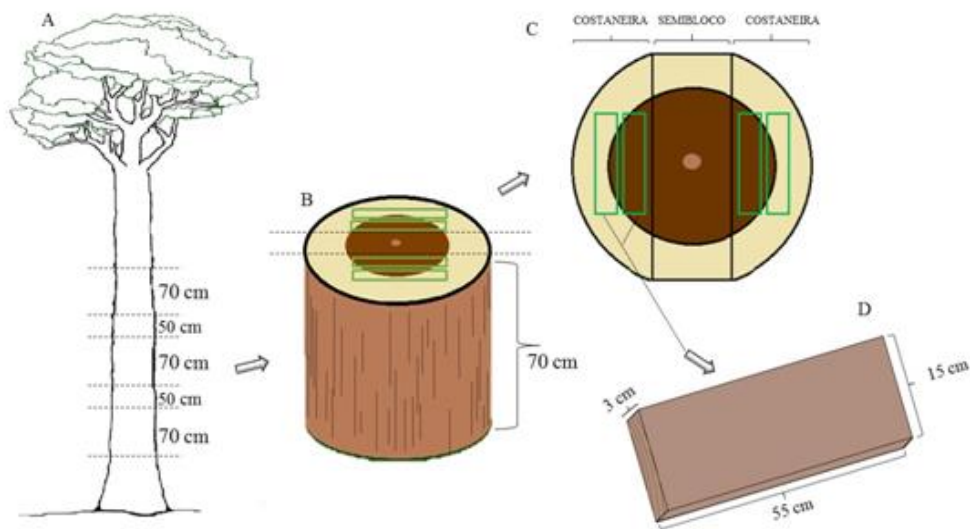
A madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) foi obtida em um plantio seminal com 25 anos, da Reserva Natural Vale, localizada no município de Sooretama, Espírito Santo, Brasil (19° 06' a 19° 18' S e 39° 45' a 40° 19' W, altitude entre 28 – 65 m). O clima local é o tropical úmido, com precipitação 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, originada de alburno e cerne; e a segunda, apenas com cerne interno (Figura 1C). Essas peças (Figura 1 D) foram utilizadas na modificação térmica. Após o desdobro, elas foram aplainadas 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 interno 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 utilizaas na modificação térmica.



Fonte: Lima (2019).

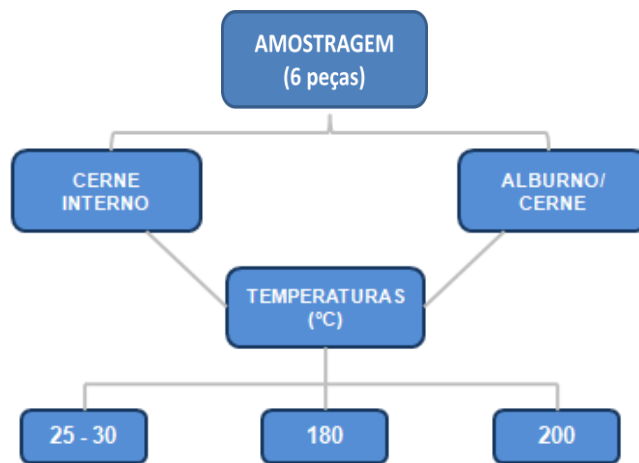
Das costaneiras foram obtidas 18 peças, contendo alburno/cerne e cerne interno. Estas foram desdobradas, obtendo-se 36 amostras de 55 x 15 x 3 cm (comprimento x largura x espessura), sendo a metade delas proveniente da parte interna (cerne interno) e a externa (alburno/cerne).

### 3.2 Modificação térmica e preparo das amostras

Os tratamentos de modificação térmica da madeira consistiram em controle (25 - 30 °C) e modificada térmicamente (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 (proximo à medula – cerne interno) e na região de transição (alburno/cerne). Da interação desses fatores, resultaram seis tratamentos estatísticos, cada um com seis peças (Figura 2).

Figura 2 - Fluxograma dos tratamentos aplicados a madeira de *Khaya ivorensis*.



Fonte: O autor (2019).

Para os ensaios com fungos xilófagos causadores da podridão parda foram retiradas amostras de 2,54 x 2,45 x 0,9 cm (radial x tangencial x longitudinal) das regiões citadas, as quais foram avaliadas como descrito na *American Society for Testing and Materials* - ASTM D 2017 (2008).

### 3.3 Resistência à deterioração por fungos xilófagos

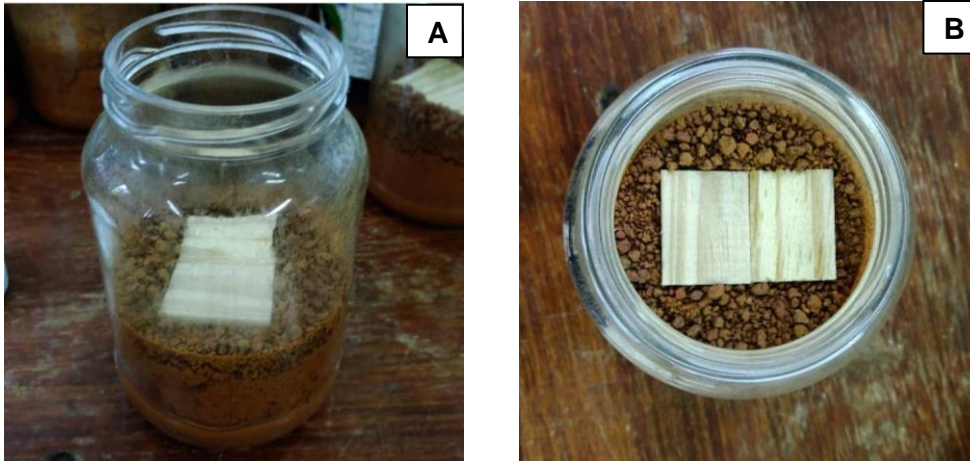
Para o ensaio de resistência biológica da madeira ao apodrecimento foram utilizadas três temperaturas [25 - 30 (controle), 180 e 200 °C], duas posições (cerne interno e albúrnio/cerne), dois fungos e cinco repetições. Para tanto, as amostras de cada posição e temperatura foram lixadas para eliminar defeitos e secas em estufa à temperatura de  $103 \pm 2$  °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 *Postia placenta* (Fr.) M.J. Larsen & Lombard (Mad 698). No preparo do meio de cultura foi seguida a designação da ASTM D 1413 (2008).

O ensaio foi realizado em frascos de 600 mL, preenchidos com 300 g de solo com pH de 6,9 e capacidade de retenção de água de 24,72%. O solo foi umedecido para 130% da capacidade de retenção, com adição de 73,5 mL de água destilada

por frasco, conforme ASTM D-1413 (2008), e posteriormente adicionados dois alimentadores de madeira de *Pinus elliottii*, de dimensões 3 x 28 x 35 mm (Figura 3), e o conjunto esterilizados em autoclave a 103 kPa e 121 °C por 30 minutos.

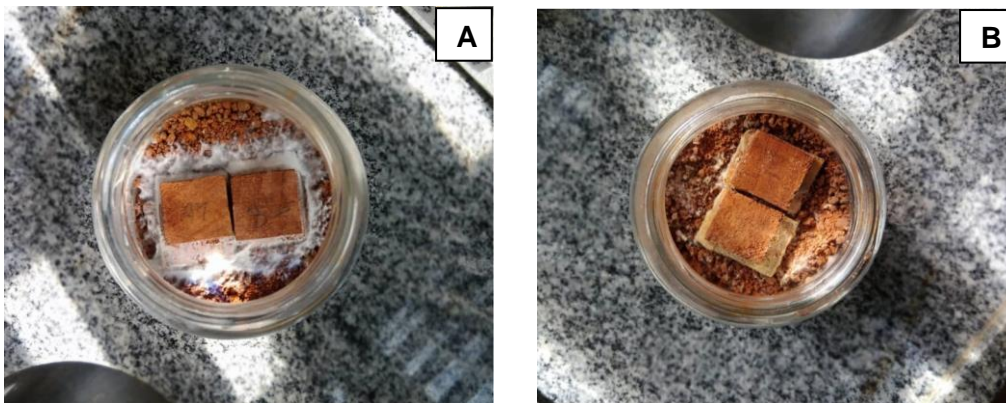
Figura 3 – Alimentadores de madeira de *Pinus elliottii* no frasco de vidro. Vista frontal (A) e superior(B).



Fonte: O autor (2019).

Após a esterilização, fragmentos de  $\pm 1\text{cm}^2$  de culturas puras dos fungos foram adicionados sobre as placas alimentadoras em câmara de fluxo laminar. Após o desenvolvimento dos fungos (aproximadamente 15 dias) nos frascos, foram inseridas duas amostras teste por frasco (Figura 4). Todas as operações de manipulação de fungos foram realizadas em condições assépticas.

Figura 4 - Amostras teste no frasco com o fungo *Gloephyllum trabeum* (A) e *Postia placenta* (B).



Fonte: O autor (2019).

O ensaio foi mantido em sala climatizada ( $25 \pm 2$  °C e  $65 \pm 5$  % de umidade relativa) por oito semanas, e não 12 a 16 semanas, como preestabelecido pela ASTM D - 2017 (2008). Após o término do ensaio, as amostras foram limpas com uma escova de cerdas macias para retirar os micélios dos fungos e inseridas em estufa a  $103 \pm 2$  °C até atingirem massa constante (Figura 5).

Figura 5 – Amostras limpas e secas em estufa após o ensaio.



Fonte: O autor (2019)

Para a classificação da resistência da madeira, resultante da ação fúngica, foi seguida a ASTM D - 2017 (2008) (Tabela 1).

Tabela 1 - Classes de resistência da madeira a fungos xilófagos.

Perda de Massa (%)	Massa Residual (%)	Classe de Resistência
0 - 10	90 - 100	Altamente Resistente
11 - 24	76 - 89	Resistente
25 - 44	56 - 75	Moderadamente Resistente
$\geq 45$	$\leq 55$	Não Resistente

Fonte: Adaptado da ASTM D - 2017 (2008).

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  $\sqrt{\text{perda de massa} / 100}$ ].

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.

## 4 RESULTADOS DA PESQUISA

Observa-se, Tabela 2, que as análises de variância acusaram diferenças significativas apenas entre as posições avaliadas na madeira, para o fungo *Gloeophyllum trabeum*.

Tabela 2 - Resumo das análises de variâncias da perda de massa (%) causada pelos fungos utilizados, na madeira de mogno africano. Dados transformados.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrados Médios	
		<i>Gloeophyllum trabeum</i>	<i>Postia Placenta</i>
Posição (A)	1	0,0963 *	0,0095 <sup>ns</sup>
Temperatura (B)	2	0,0373 <sup>ns</sup>	0,0095 <sup>ns</sup>
A x B	2	0,0066 <sup>ns</sup>	0,0142 <sup>ns</sup>
Resíduo	24	0,0201	0,0181

\* significativo F ( $0,01 > p \leq 0,05$ ); <sup>ns</sup>Não significativo F ( $p > 0,05$ ).

Apesar de apenas o efeito da posição ter sido significativo (fungo *Gloeophyllum 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 3).

Tabela 3 - 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 (%)					
Alburno/cerne	12,16 a			14,01 a		
Cerne interno	7,23 b			11,11 a		
Temperatura (°C)	Perda de massa (%)					
25 - 30	6,55 a			11,23 a		
180	11,47 a			11,86a		
200	11,06 a			14,59 a		
Posição na madeira	Temperatura (°C) / Perda de massa (%)					
	25 -30	180	200	25 -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 utilizado, não diferem (Tukey,  $p > 0,05$ ).

Independente da temperatura, a perda de massa causada na madeira de alburno/cerne, pelo fungo *Gloeophyllum trabeum* foi maior (4,93%) que aquela do cerne interno. 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) ao trabalhar com esta mesma madeira.

Para o fungo *Postia placenta*, mesmo não tendo sido observada diferença significativa entre as médias, a deterioração causada no alburno/cerne foi 2,9% superior a do cerne interno.

O efeito da temperatura, independente 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 fungo *Gloeophyllum trabeum*, no período avaliado de ensaio (oito semanas). Comportamento semelhante foi observado para o *Postia 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.

Vários autores, dentre eles, Ayadiet al. (2003); Modes et al. (2017) e Vernois (2001) afirmam que a modificação térmica promove melhorias na resistência biológica da madeira a fungos xilófagos. Gaff; Kačík; Gašparík (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 fungo *Gloeophyllum trabeum*, que independente da temperatura, a madeira de alburno/cerne foi mais deteriorada. Comportamento semelhante também foi observado para o *Postia Placenta*, exceto para a temperatura controle, em que a deterioração causada no cerne interno foi maior que no alburno. Observa-se também, que de modo geral, independente 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.

No atual estágio da pesquisa, observa-se que o fungo *Postia placenta* aparentemente tem uma maior capacidade de deterioração da madeira de mogno africano, independente da posição na madeira e temperatura testadas. As amostras foram classificadas como resistentes a altamente resistentes aos fungos testados. Espera-se que com o desenvolvimento da pesquisa, a qual não está concluída, os fungos deterioreem mais as amostras, e uma melhor classificação e comportamentos da madeira possam ser observados.



## 5 CONCLUSÕES

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 (*Gloeophyllum trabeum* e *Postia placenta*), após as oito semanas de ensaio. Porém, após 12 semanas de ensaio, o que é recomendado pela astm 2017, talvez a modificação térmica promova maior resistência biológica para a madeira de mogno.

O cerne interno, independente da temperatura aplicada, foi mais resistente à deterioração causada pelo *Gloeophyllum trabeum* que a madeira de alburno/cerne.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. P. et al. **Levantamento bibliográfico sobre mogno africano**. Botucatu: Conflor Jr. - Consultoria Florestal, 2011. 24 p. Disponível em: <[http://mognozani.com.br/pdf/mogno\\_africano\\_levantamento.pdf](http://mognozani.com.br/pdf/mogno_africano_levantamento.pdf)>. Acesso em: 9 maio 2019.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 2017**: standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2008. 5p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1413**: standard test method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2005. 7p.

ARANTES, V. et al. Relevância de compostos de baixa massa molar produzidos por fungos e envolvidos na biodegradação da madeira. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 6, p. 1586-1595, 2009.

AYADI, N. et al. Color stability of heat-treated wood during artificial weathering. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v.61, n.3, p.221-226, 2003.

BARROSO, A. B. **Silvicultura especial de arbores maderables tropicales**. Habana: Editorial Científico Técnico, 1987. 356p.

BATISTA, D. C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro Vap Holz Systeme**. 2012. 338f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BORGES, L. M.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. hondurensis tratado termicamente. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

BOTELHO, M. N. **Caracterização das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Piptadenia gonoacantha* (Mart.) J. F. Macbr.** 2011. 27f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

CALONEGO, F.W.; SEVERO, E.T.D.; BALLARIN, A.W. Physical and mechanical properties of thermally-modified wood from *E. grandis*. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 70, p. 453-460, 2012.

CARVALHO, A. M.; SILVA, B. T. B.; LATORRACA, J. V. F. Avaliação da usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.). **Cerne**, Lavras, v. 16, Suplemento, p. 106-114, 2010.

DIAS, A. H. S.; UMETSU, F.; BREIER, T. B. Avaliação do potencial de germinação do mogno-africano sob diferentes tipos de substrato e períodos de armazenamento. **Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes**, Londrina, v. 22, n. 1, p. 26-29, 2012.

ESTEVEES, B. M.; DOMINGOS, I.; PEREIRA, M. H. Improvement of technological quality of eucalypt wood by heat treatment in air at 170 - 200 °C. **Forest Products Journal**, Starkville, v. 57, n. 1/2, p. 47-52, 2007.

ESTEVEES, B. M.; PEREIRA, M. H. Wood modification by heat treatment: a review. **Bioresources**, Raleigh, v. 4, n.1, p. 370-404, 2009.

FALESI, I. C.; BAENA, A. R. C. **Mogno-africano *Khaya ivorensis* A. Chev. em sistema silvipastoril com leguminosa e revestimento natural do solo**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 52p. (Embrapa Amazônia Oriental, Documentos,4).

FINNISH THERMOWOOD ASSOCIATION. **Thermowood handbook**. Helsinki, Finland, 2003. 66p.

FRANÇA, T. S. F. A. **Caracterização tecnológica das madeiras de duas espécies de mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev. e *Khaya senegalensis* (Desr.) A. Juss.)**. 2014.105f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.

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**, Enschede, v. 216, p. 80-88, 2019.

HILL, C. **Wood modification: chemical, thermal and other processes**. West Sussex: John Wiley & Sons, 2006. 239p.

HUNT, G. M.; GARRATT, G. A. **Wood preservation**. 3.ed. New York: McGraw Hill, 1967. 433p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ, 2017. Relatório 2017.80p. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/pdf/iba-relatorioanual2017.pdf>>. Acesso em: 4 jul. 2019.

JÄMSÄ, S.; VIITANIEMI, P. Heat treatment of wood: better durability without chemicals. In: RAPP, A. O. Review on heat treatments of wood. In: SPECIAL SEMINAR: ENVIRONMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 2001. Antibes. **Proceedings...** Antibes: COST ACTION E 22, 2001, p. 21-26. Disponível em: <[http://projects.bre.co.uk/ecotan/pdf/Heat\\_treatment\\_processes\\_Andreas\\_Rapp%20.pdf](http://projects.bre.co.uk/ecotan/pdf/Heat_treatment_processes_Andreas_Rapp%20.pdf)>. Acesso em: 23 nov. 2018.

KAMDEM, D. P.; PIZZI, A.; JERMANNAUD, A. Durability of heat-treated wood. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 60, p.1-6, 2002.

KARTAL, S. N. et al. Bioremediation and decay of wood treated with ACQ, micronized ACQ, nano-CuO and CCA wood preservatives. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Manchester, v. 99, p. 95-101, 2015.

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, 2019.

LIN, L.-D. et al. Leachability, metal corrosion, and termite resistance of wood treated with copper-based preservative. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Manchester, v. 63, n. 4, p. 533 - 538, 2009.

LOWDEN, L. A.; HULL, T. R. Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction. **Fire Science Reviews**, Heidelberg, v.2, n.4, p. 1-19, 2013.

MIRANDA, D. L. **Estudo de viabilidade econômica de implantação de um plantio de eucalyptus em uma propriedade rural no município de Guanhães-MG**. 2012. 33f. Dissertação (Especialização em Gestão Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curso de Especialização em Gestão Florestal, Curitiba, 2012.

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

OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B.; VIDAURRE, G. B. Resistência biológica da madeira de espécies de eucalipto ao ataque de cupim de madeira seca. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.45, n.113, p.145-150, 2017.

OSTMAN, B.; TSANTARIDIS, L. **Innovative eco-efficient high fire performance wood products for demanding applications**. Final report for Vinnova-Tekes project InnoFireWood, Wood Technology. Stockholm: SP Swedish National Research Testing and Institute, 2006. 94p. (SP Rapport 2006:30). Disponível em: <[http://virtual.vtt.fi/virtual/innofirewood/finalreport/sp\\_rapp\\_2006\\_30\\_innofirewood.pdf](http://virtual.vtt.fi/virtual/innofirewood/finalreport/sp_rapp_2006_30_innofirewood.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2019.

PAES, J. B. et al. Biological resistance of thermally treated *Corymbiacitriodora* (Hook.) K.D. Hill & L.A.S. Johnson and *Pinustaeda* L. woods against xylophagous termites. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 3, p. 535–541, 2016.

PAES, J. B.; MEDEIROS, V. M.; LIMA, C. R. Resistência natural de nove madeiras do semi-árido brasileiro a fungos xilófagos em condições de laboratório. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p.275-282, 2004.

PINHEIRO, A. L.; COUTO, L.; PINHEIRO, D. T.; BRUNETTA, J. M. F. C. **Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mognos-africanos (*Khaya* spp.)**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, 2011. 102 p.

ROCHA, M. P. **Biodegradação e preservação da madeira**. Curitiba: Fupef, 2001.

SUN, Q. F.; LU, Y.; XIA, Y. Z.; YANG, D. J.; LI, J.; LIU, Y. X. Flame retardancy of wood treated by TiO<sub>2</sub>/ZnO coating. **Surface Engineering**, London, v.28, n.8, p.555-559, 2012.

TEIXEIRA, J. G. **Efeito preservativo de produtos químicos naturais e do tratamento térmico na biodeterioração da madeira de *Pinus caribaea* Morelet**. 2012. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.

VERNOIS, M. Heat treatment of the wood in France - state of the art. In: SPECIAL SEMINAR: ENVIRONMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 2001. Antibes. **Proceedings...** Antibes: COST ACTION E 22, 2001, p.39-46.

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

WILLEITNER, H. **Laboratory tests on the natural durability of timber-methods and problems.** Stockholm: The International Research Group on Wood Preservation, 1984. 11p. (Doc IRG/WP/2217).

ZABEL, R.A.; MORRELL, J.J. **Wood microbiology: decay and its prevention.** San Diego: Academic Press, 1992. 476p.