UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

JAQUELINE ROCHA DE MEDEIROS

EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA RESISTÊNCIA BIOLOGICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO

Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes
Coorientadores: Prof. Dr. Jordão Cabral Moulin
Prof. Dr. Pedro Nico de Medeiros Neto

JERÔNIMO MONTEIRO - ES
2021

JAQUELINE ROCHA DE MEDEIROS

EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA RESISTÊNCIA BIOLÓGICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes

Coorientadores: Prof. Dr. Jordão Cabral Moulin

Prof. Dr. Pedro Nico de Medeiros Neto

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

2021

EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA RESISTÊNCIA BIOLÓGICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO

JAQUELINE ROCHA DE MEDEIROS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 28 de maio de 2021.

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

de Medeiros, Jaqueline Rocha, 1996-
D278e EFEITO DA MODIFICAÇÃO TÉRMICA NA RESISTÊNCIA BIOLOGICA DA MADEIRA DE EUCALIPTO / Jaqueline Rocha de Medeiros. - 2021.
53 f. : il.

Orientador: Juarez Benigno Paes.
Coorientadores: Jordão Cabral Moulin, Pedro Nico De Medeiros Neto.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Eucalipto. 2. Madeira. 3. Analise termica. I. Paes, Juarez Benigno. II. Moulin, Jordão Cabral. III. De Medeiros Neto, Pedro Nico. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 630

A minha Mãe.

Afetuosamente, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus por mais essa caminhada.

A minha família por todo amor, amizade e apoio incondicional. Aos meus pais Jacy e Josenildo, e ao meu padrasto Gorgonio, por sempre terem sido meus maiores incentivadores e terem dado o melhor de si para que eu pudesse realizar meus sonhos. A minha tia Joelma, e a vovó Ercilia por sempre estarem comigo.

À Universidade Federal do Espírito Santo, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Capes) - Código de Financiamento 001 (bolsa de estudo).

Ao meu orientador, Juarez Benigno Paes, por toda a amizade, puxões de orelha, incentivo e confiança em mim. Além de todos os conhecimentos transmitidos e auxilio no desenvolvimento desse trabalho.

E aos meus coorientadores, Jordão Cabral Moulin e Pedro Nicó de Medeiros Neto por todo o apoio durante o desenvolvimento da pesquisa. Aos membros da banca examinadora Tamara Suely Filgueira Amorim França, Fabricio Gomes Gonçalves e Yonny Martinez Lopez por todas as correções realizadas nesse trabalho.

Aos membros do Laboratório de Biodeterioração e Proteção da Madeira (LBPM), no nome de Jaily, Fernanda e Nicacio pelo apoio ao desenvolvimento desta pesquisa, e pelos bons momentos compartilhados. Assim como aos técnicos Elecy Palácios Constantino e José Geraldo Lima de Oliveira, por sempre me auxiliarem quando necessário.

As amigas de longa data, que sempre estiverem dispostas a me ouvir e me apoiar, mesmo de longe, Raissa, Raiane, Luana, Geraldina e Iara.

Aos meus grandes amigos mineiros, Tales e Monica, pelos aperreios passados aqui, mas ter vocês pertinho de mim, foi sensacional. À Valeria, e Tamires por serem grandes amigas que levarei para a vida. E a “Pry”, por toda a amizade e o apoio durante essa fase da minha vida. Levarei vocês para sempre no meu coração.

Aos amigos que conquistei durante a minha estadia no Espirito Santo, em especial a Matheus, Glicia, Rayane, Aecio, Quinny e Jessica, pelo carinho e amizade.

A Dona Dinah, e Rozani por me acolherem sempre muito bem em suas casas.

E por fim, a toda a população de Jeronimo Monteiro, por terem me acolhido tão bem em sua cidade. E a todos aqueles que de forma direta ou indiretamente contribuíram com a minha caminhada e desenvolvimento desta pesquisa.

RESUMO

MEDEIROS, Jaqueline Rocha de. Efeito da modificação térmica na resistência biológica da madeira de eucalipto. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES.

Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes. Coorientadores: Profs. Drs. Jordão Cabral Moulin; e Pedro Nico de Medeiros Neto.

O objetivo da pesquisa foi avaliar os efeitos do tratamento térmico na resistência biológica da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos de idade. Foram utilizados três clones (A, C e E) de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e três árvores de cada um deles. Das quais, foram retiradas amostras de pranchões centrais, provenientes da segunda tora (4,20 m) das arvores e transformadas em tábuas com dimensões de 2,5 x 10 x 60 cm (espessura x largura x comprimento), as quais foram submetidas ao tratamento térmico (185 e 200ºC). E, posteriormente retiradas amostras para análises química e ensaios de resistência biológica. As análises químicas foram realizadas em triplicatas para cada constituinte químico (extrativos totais, lignina total, holocelulose e cinzas) e clone. Os ensaios com as térmitas de madeira seca (*Crypototermes brevis*), alimentação forçada e preferência alimentar, tiveram duração de 45 dias; e com térmitas subterrâneas ou arborícola (*Nasutitermes corniger*), alimentação forçada e preferência alimentar, duração de 28 ou 45 dias (respectivamente), tendo sido avaliado a perda de massa, o desgaste ocasionado na madeira, o número de orifícios (madeira seca) e a mortalidade das térmitas (alimentação forçada). O ensaio com fungos teve duração de 12 semanas e foram testados fungos de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum* e *Rhodonia placenta*) e branca (*Irpex lacteus*). O tratamento térmico alterou a proporção dos componentes químicos da madeira, causando redução na resistência biológica as organismos xilófagos testados. Para os ensaios de preferência alimentar com térmitas de madeira seca e subterrâneas as amostras termo modificadas a 185 °C foram mais consumidas. Dentre os fungos utilizados, aqueles que causaram ataques mais severos, foram os causadores de podridão parda, alterando também, mais intensamente, a cor da madeira.

Palavras-chave: Tratamento térmico. Composição química. Ensaios biológicos. Colorimetria.

ABSTRACT

MEDEIROS, Jaqueline Rocha de. Effect of thermal modification on the biological resistance of *Eucalyptus* wood. 2021. Dissertation (Master in Forest Sciences) Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES.

Adviser: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes. Co-advisers: Profs. Drs. Jordão Cabral Moulin; e Pedro Nico de Medeiros Neto.

This research aimed to evaluate the effects of heat treatment on the biological resistance of wood from 14-year-old *Eucalyptus* hybrid clones. Three *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* clones (A, C and E) and three trees from each of them were used. From these, samples of central planks were taken from the second log (4.20 m) of the trees and transformed into boards with dimensions of 2.5 x 10 x 60 cm (thickness x width x length), which were subjected to thermal treatment (185 and 200ºC). Samples were then taken for chemical analyses and biological resistance tests. Chemical analyses were performed in triplicate for each chemical constituent (total extractives, total lignin, holocellulose, and ash) for clone and temperature. The assays with dry wood termites (*Crypototermes brevis*), no choice feeding and choice feeding test, during 45 days; and with subterranean or arboreal termites (*Nasutitermes corniger*), no choice feeding and choice feeding tests, during 28 or 45 days (respectively). Mass loss, wood wear, number of holes (dry wood), and termite mortality (no choice feeding) were evaluated. The fungus assay during 12 weeks and brown rot fungi (*Gloeophyllum trabeum* and *Rhodonia placenta*) and white rot fungi (*Irpex lacteus*) were tested. Heat treatment altered the proportion of chemical components in the wood, causing a reduction in biological resistance to the xylophagous organisms tested. For the choice feeding tests with dry and subterranean wood termites the samples thermo-modified at 185 ºC were more consumed. Among the fungi used, those that caused the most severe attacks were the ones that caused brown rot and also altered the color of the wood more intensely.

Keywords: Heat treatment. Chemical composition. Biological tests. Colorimetry.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
1.1 OBJETIVOS 12
1.1.1 Objetivo geral 12
1.1.2 Objetivos específicos 12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 13
2.1 O GÊNERO *Eucalyptus* 13
2.2 TRATAMENTO TÉRMICO DA MADEIRA 14
2.3 RESISTENCIA BIOLOGICA DA MADEIRA 15
2.3.1 Térmitas xilófagas 16
2.3.2 Fungos xilófagos 17
3 METODOLODIA 19
3.1 LOCALIZAÇÃO DO PLANTIO E PROCESSO DE AMOSTRAGEM 19
3.2 TRATAMENTO TÉRMICO DAS MADEIRAS 20
3.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA 21
3.4 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS 22
3.4.1 Alimentação forçada com térmitas de madeira seca 22
3.4.2 Preferencia alimentar com térmitas de madeira seca 23
3.4.3 Alimentação forçada com térmitas subterrâneas 23
3.4.4 Preferencia alimentar com térmitas subterrâneas 25
3.5 ENSAIOS COM FUNGOS XILÓFAGOS 25
3.6.1 Avaliação colorimétrica da madeira 26
3.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS 27
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 29
4.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA AVALIADA 29
4.2 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS DE MADEIRA SECA 31
4.2.1 Ensaios de alimentação forçada 31
4.2.2 Ensaios de preferência alimentar 33
4.3 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS SUBTERRÂNEAS 34
4.3.1 Ensaios de alimentação forçada 34
4.3.1 Ensaios de preferência alimentar 37
4.4 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM FUNGOS XILÓFAGOS 38
5 CONCLUSÕES 44
6 REFERÊNCIAS 45
APÊNDICES 51

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material de origem natural, renovável, higroscópica, anisotrópica e heterogênea. Ela apresenta diferenças entre espécies, dentro da mesma espécie, e até mesmo dentro de uma mesma árvore (TSOUMIS, 1991). É o principal produto extraído das florestas (naturais ou plantadas), sendo um material versátil, que pode ser usado para diversas finalidades, como movelaria, pasta e polpa celulósica, papel, energia, painéis reconstituídos de madeira e em construções (rural e urbana). A finalidade para qual será utilizada depende das características e propriedades tecnológicas da madeira. Existindo a possibilidade da modificação dessas propriedades pelos tratamentos químicos, mecânicos (densificação) e térmicos.

Esses tratamentos visam melhorar as propriedades da madeira, e diversificar o seu uso, principalmente, para aquelas provenientes de florestas plantadas, que geralmente possuem baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos. Uma vez que com a alta demanda populacional, as florestas plantadas vêm ganhando destaque para suprir as necessidades dos consumidores e minimizar os danos da exploração sobre as florestas nativas. No Brasil, segundo a Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ (2019) as florestas plantadas totalizam cerca de 7,84 milhões de hectares, destes 5,7 milhões são com eucalipto, os quais se adequaram ás condições edafoclimaticas do País.

Apesar das inúmeras vantagens do uso da madeira, como ser de fonte natural e renovável, baixo custo de aquisição e boa resistência mecânica em relação a sua massa, existem limitações de seu uso. Dentre essas, encontram-se a presença de nós, e dimensões menores que a demanda do mercado. Uma alternativa para utilização de madeira maciça de grandes dimensões é a fabricação de juntas coladas, que entre as vantagens está a agregação de valor ao material.

Além disso, outra limitação do uso da madeira é a susceptibilidade ao ataque de organismos xilófagos, principalmente quando utilizada para moveis, pisos, lambris e outros materiais de construção. O tratamento mais comum para a madeira é a utilização de produtos químicos. No entanto, esses podem ser nocivos à saúde do ser humano e ao meio ambiente. Assim, buscam-se alternativas de tratamento da madeira, que seja sustentável e quem tragam menos danos ao meio ambiente.

Segundo Batista (2012) e Lazarotto (2016), o tratamento térmico da madeira tem ganhado destaque como método eficaz para melhorar sua estabilidade dimensional e resistência biológica a organismos xilófagos e coloração mais escura, assemelhando as de madeiras tropicais normalmente comercializadas.

Durante o processo de tratamento térmico ocorre a termo degradação dos constituintes primários da madeira (principalmente das hemiceluloses) e a geração de novos compostos, o que pode melhorar sua resistência biológica, e a estabilidade dimensional, pela redução da unidade de equilíbrio da madeira. Por outro lado, pode influenciar negativamente nas propriedades físico-mecânicas e de adesão da madeira. Com isso, essa pesquisa teve a finalidade de avaliar os efeitos do tratamento térmico na resistência biológica da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus*, com 14 anos de idade. A fim de contribuir para a diversidade do uso da madeira, e melhoria na resistência ao ataque de organismos xilófagos. Além de contribuir para pesquisas na área, já que esse é um tema ainda pouco estudado no Brasil.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos do tratamento térmico na resistência biológica da madeira de clones de híbridos de eucalipto.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar a influência da modificação térmica nas propriedades químicas da madeira de três clones de eucalipto;
- Testar a resistência biológica da madeira modificada termicamente dos clones estudados a térmitas e fungos xilófagos;
- Avaliar após o ataque dos fungos a variação da cor da madeira.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O GÊNERO *Eucalyptus*

Nas últimas décadas (2000 - 2020) a população mundial aumentou mais que aquela existente no início do Século XX, com isso houve a necessidade de maiores produções de alimentos e de bens de consumo, para atender à demanda populacional. Nesse aspecto, as florestas plantadas ganham destaque para evitar a exploração desordenada, e permitir que as coberturas florestais nativas continuem existindo, para manter a diversidade de flora e fauna. No Brasil, o destaque das florestas plantadas é com eucalipto com 5,70 milhões de hectares (IBA, 2019), para atender as necessidades de insumos madeireiros e não madeireiros, como fibras, óleos essências, castanhas e nozes, e látex.

As espécies do gênero *Eucalyptus* se adaptaram às condições edafoclimaticas do Brasil, apresentam rápido crescimento, e são resistentes ao ataque de pragas e doenças (FERREIRA, 2017). Dada a sua plasticidade (capacidade de atenderem a várias utilizações tecnológicas), a madeira de eucalipto é utilizada em vários seguimentos, principalmente na indústria de polpa e pasta celulósica, papel e carvão vegetal (SILVA, 2020). Assim, fazendo uso do melhoramento genético, programa de hibridação e de técnicas de manejo é possível a utilização desse gênero para outros usos, como painéis de madeira reconstituída, construção civil e indústria moveleira.

Outro fator limitante da utilização do eucalipto para uso mais diversificados, é a baixa durabilidade natural e estabilidade dimensional da madeira. Em espécies de baixa durabilidade natural são utilizados tratamentos preservativos a base de produtos químicos. Essa utilização, no entanto, pode ser nociva ao ser humano e a natureza (OLIVEIRA; PAES; VIDAURRE, 2017). Com isso, o tratamento térmico da madeira vem sendo utilizado como alternativa para aumentar a resistência biológica da madeira, assim como melhorar a estabilidade dimensional e escurecimento da madeira, permitindo que ela seja utilizada para diversas finalidades (MODES 2010; BATISTA, 2012; CARVALHO, 2019; LIMA, 2019, PINTO, 2020).

2.2 TRATAMENTO TÉRMICO DA MADEIRA

O uso da madeira como matéria-prima está em ascensão a cada dia, sendo necessário o uso sustentável e a busca por alternativas para melhorar suas propriedades. Apesar de suas inúmeras vantagens, como a resistência mecânica, elasticidade e ser renovável, ela possui limitações a exemplo da higroscopicidade, ganhado e perdendo umidade para o meio, deterioração por organismos xilófagos, já que possui baixa durabilidade natural, além da retratilidade e anisotropia (o que provoca empenamentos e rachaduras na madeira). Com a finalidade de minimizar de tornar a madeira um material mais estável dimensionalmente, e melhorar sua durabilidade natural a modificação térmica, está ganhando destaque (MODES 2010; BATISTA, 2012; LIMA, 2019, PINTO, 2020).

As pesquisas com modificação térmica da madeira tiveram início na Europa em 1940 e vem ganhando destaque. Consiste no processo de pirólise controlada, em que a reação é interrompida antes que atinja a temperatura de combustão (≈ 280 ºC). O processo consiste da termo degradação dos principais componentes da madeira a nível de parede celular na ausência de oxigênio (BATISTA, 2011).

No processo de modificação térmica, a madeira é submetida a temperaturas que variam de 100 a 250 ºC, originado um produto sólido, com propriedades diferentes da madeira utilizada inicialmente. Sob essa variação de temperatura ocorre a degradação principalmente das hemiceluloses, que são mais sensíveis a ação do calor, diminuindo os sítios livres para a ligação da água na madeira (OH^-), (BATISTA, 2010; MENEZES, 2014). Durante o processo também ocorre a ruptura dos grupos hidroxílicos (OH^-) da região amorfa das moléculas de celulose (ROUSSET et al., 2004; WEINLAND; GUYONETT, 2003; WIKBERG; MAUNU, 2004). O que diminuí os sítios de sorção de água e contribuem para a estabilidade dimensional da madeira.

A degradação das hemicelulose e celulose, contribuem para a condensação da lignina, influenciando nas propriedades mecânicas da madeira, como os módulos de elasticidade (MOE), de ruptura (MOR) e tenacidade da madeira, tornando a madeira rígida e frágil (BOONSTRA, 2006; COLLA, 2011; MBAMU, 2019). Para Esteves e Pereira (2009), o principal fator de perda de resistência de madeira tratada termicamente, é a degradação das hemiceluloses. Além disso, o calor causa

modificações nos compostos secundários da parede celular, afetando a durabilidade natural da madeira (BATISTA, 2012).

2.3 RESISTENCIA BIOLOGICA DA MADEIRA

A madeira apresenta heterogeneidade, dentre e entre as diferentes espécies e dentro de um mesmo indivíduo. Tal diferença ocorre em níveis macro e microscópico e na composição química. Essa variação, ocorre pelo arranjo atômico das células que compõem o lenho e composição química de diferentes partes do tronco. Em virtude dessa heterogeneidade, as propriedades tecnológicas da madeira são diretamente afetadas e, podem causar limitações de uso (TSOUMIS, 1991).

Um dos fatores que mais influencia a limitação de uso da madeira é a durabilidade natural, a qual é definida como a vida útil da madeira quando exposta a fatores bióticos e abióticos (PAES et al., 2009). É diretamente influenciada pela posição no lenho. O alburno é mais susceptível ao ataque dos xilófagos que o cerne, pela maior disponibilidade de substâncias nutritivas. Além disso, na porção do cerne, ocorre o acumulo de substâncias extrativas, e na maioria das vezes esses compostos são nocivos aos organismos xilófagos (PAES et al, 2007).

Por se tratar de um composto orgânico, quando submetida às condições especificas de temperatura, umidade e presença de oxigênio, a madeira pode se tornar susceptível ao ataque de organismos xilófagos (ARCHER; LEBOW, 2006). Os principais agentes biodeterioradores da madeira, no ambiente terrestre, são as térmitas e fungos (CLAUSEN, 2010).

Assim, para dar a destinação correta à madeira é necessário a realização de ensaios, para avaliar sua durabilidade natural, e averiguar a necessidade de tratamentos preservativos. São realizados ensaios de laboratório e de campo, submetendo a madeira ao ataque de organismos xilófagos para avaliar as mudanças nas propriedades tecnológicas da madeira. Nos ensaios de campo, existe mais alteração na madeira, pois além do ataque dos organismos xilófagos, a madeira está sujeita às alterações causadas por radiação solar e lixiviação (PAES et al.,2009; STANGERLIN, 2012).

2.3.1 Térmitas xilófagas

Atualmente são conhecidas ≈3.000 espécies de térmitas (cupins) no mundo e ≈ 300 no Brasil. Esses insetos pertencem a ordem Blattodea e subordem Isoptera (CONSTATINO, 2015). Existem sete famílias catalogadas: Mastotermitidae, Kalotermitidae, Termopsidae, Hodotermitidae, Serritermitidae, Rhinotermitidae e Termitidae. Os cupins que pertencem as seis primeiras famílias são denominados inferiores, por necessitarem de protozoários flagelados para a degradação da celulose da madeira. Já aqueles da família Termitidae, são denominados de superiores, os quais são capazes de degradar a celulose por meio de fungos e bactérias existentes no seu trato digestivo (FERREIRA et al., 2011).

Os cupins são organismos sociais, organizados na forma de castas, em que cada uma delas exerce uma função na colônia (LIMA, 2007). Aqueles que consomem a madeira e outros materiais lignocelulósicos são classificados em cupins de madeira seca e subterrâneos ou arborícolas. Os subterrâneos formam colônias no solo ou ligadas a ele por um sistema das galerias. Suas colônias contêm milhares de indivíduos sendo responsáveis por perda de grande volume de madeira (MELO et al., 2019). Já aqueles de madeira seca constroem colônias menores, dentro do elemento sendo atacado, facilitando assim a sua dispersão, durante o transporte. Por atacarem peças e moveis de madeira sem serem notados durante certo tempo (OLIVEIRA et al., 2007).

Assim, eles causam muitos danos na madeira, comprometendo as suas propriedades tecnológicas e a utilização (STALLBAUN et al., 2017). Sendo necessário, o conhecimento de como as propriedades da madeira são afetadas, após o ataque e como isso compromete a utilização da mesma. Desta forma, é importante conhecer formas alternativas para o tratamento da madeira, visando diminuição do ataque de cupins e de outros insetos xilófagos.

Como alternativa, o tratamento térmico causa uma serie de reações químicas na madeira, essas diminuem a quantidade de substancias atrativas a organismos xilófagos. Quando submetida a temperatura de 200 ºC, ocorre a degradação térmica dos componentes de menor peso molecular. Refletindo na maior quantidade de lignina solúvel, e menor quantidade de polissacarídeos, reduzindo a quantidade de

substâncias as quais as térmitas de madeira consumem (GAFF; KAČÍK; GAŠPARÍK, 2019).

2.3.2 Fungos xilófagos

Os fungos xilófagos são divididos em emboladores, manchadores e apodrecedores (PAES et al., 2005). No entanto, os apodrecedores causam maiores danos, pois possuem um mecanismo enzimático externo, capaz de degradar os constituintes primários da parede celular, causando perda de resistência mecânica da madeira. Para Carvalho et al (2010), os fungos apodrecedores pertencem a classe dos basidiomicetos, os quais são heterótrofos e liberam enzimas digestivas extracelulares. Os fungos apodrecedores se dividem em fungos de podridão branca, parda e mole.

Aqueles causadores da podridão branca atacam a celulose, hemicelulose e lignina, conferindo coloração mais clara, perdendo o aspecto lustroso e ficando esbranquiçada, apesenta a superfície com aspecto mais macio. Na madeira atacada pelo fungo, ocorre a perda de massa, ocasionando assim menor resistência mecânica (PEREIRA, 2007).

Quando atacada por fungo de podridão parda, a madeira se torna mais escura, à medida que o apodrecimento se alastrar. Isso por que o fungo ataca somente os polissacarídeos da madeira. A estrutura da madeira continua da mesma forma, já que a lignina é deteriorada apenas parcialmente. Porém, ocorre a perda de massa, diminuição da resistência mecânica e alteração na química da parede celular (STALLBAUN, 2016).

Para que os fungos ataquem a madeira é necessário que esta esteja em condições ideais, como umidade, oxigênio e temperatura satisfatórias (SILVA et al., 2016). Quando a madeira atinge o ponto de saturação das fibras, é saturação ótima de umidade para os fungos. Assim, programas de secagem de madeira, que diminuem a umidade abaixo de 20%, são efetivos na prevenção de ataque de fungos xilófagos (SACCOMAN, 2017).

Além disso, o calor provoca alterações nos extrativos da madeira que passam a atuar como fungicidas, degradam a hemicelulose que é a principal fonte de alimentos dos fungos, e diminuem a higroscopicidade da madeira. Diminuindo assim o teor de umidade para translocação das enzimas dos fungos (MODES et al., 2017).

Para o efeito do tratamento térmico em madeira de eucalipto submetida ao ataque de fungos, Lazarotto et al. (2016) encontraram resultados satisfatórios, para os maiores tempos de exposição à temperatura de tratamento térmico.

3 METODOLODIA

3.1 LOCALIZAÇÃO DO PLANTIO E PROCESSO DE AMOSTRAGEM

O plantio de onde as árvores foram retiradas, localiza-se aproximadamente a 10 km do centro do município de Venda Nova do Imigrante, em uma área experimental do Complexo Agroindustrial Pindobas Ltda. Na Microrregião Sudoeste Serrana do Estado do Espírito Santo (latitude 20°23'37.1"S, longitude 41°08'29.6"W e altitude de 730 m). O clima é tropical de altitude (Cwb), caracterizado por temperaturas inferiores a 22 ºC no verão com chuvas concentradas e inverno rigoroso. Possui índice de precipitação alto, causado pela influência das serras, onde o índice pluviométrico varia de 1200 a 1500 mm (FEITOZA et al., 2010).

As informações de plantio dos indivíduos foram disponibilizadas pela empresa, citadas por Silva (2018). As árvores usadas foram plantadas em janeiro de 2002 em covas de 40 × 40 × 40 cm, com espaçamento de 5,0 × 4,0 m. Foram realizadas duas adubações, uma no momento do plantio, e foi utilizado 400g de NPK 00-24-00 e micronutrientes por cova. E a outra com oito meses de idade, com 100 g da mesma formulação. Aos dois anos foi realizada a desrama na altura de quatro metros, e depois de mais um ano na altura de sete metros. Com nove anos, foi realizado um desbaste, tendo remanescidos 60% dos indivíduos.

A madeira é proveniente de três clones de híbridos de eucalipto, com 14 anos, seus progenitores foram as espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. A denominação dos clones encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Denominação dos materiais genéticos e seus progenitores.

Denominação	Progenitores
A	Eucalyptus grandis × Eucalyptus urophylla
C	Eucalyptus grandis × Eucalyptus urophylla
E	Eucalyptus grandis × Eucalyptus urophylla

Fonte: Silva (2018).

De cada clone, foram selecionadas três árvores. Sendo os critérios de seleção, uma boa formação do fuste (sem tortuosidade e com boas condições fitossanitárias) e com diâmetros a altura do peito (DAP), aproximados entre si visando manter maior homogeneidade da amostra. Foram retirados pranchões

centrais da segunda tora com comprimento de aproximadamente 4,20 m e 8 a 10 cm de espessura, os quais foram transportados para o Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM), Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), localizado no município de Jerônimo Monteiro, ES.

3.2 TRATAMENTO TÉRMICO DAS MADEIRAS

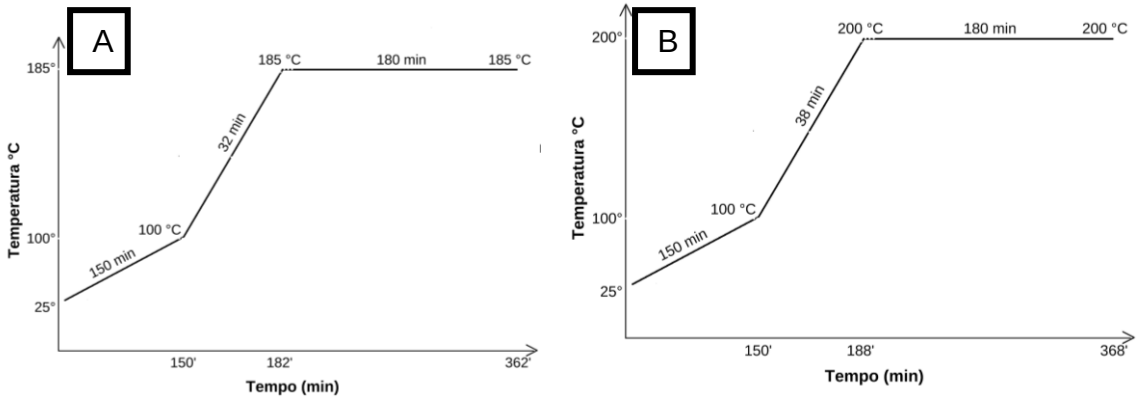
Para o tratamento térmico, foram obtidas peças de madeira com dimensões de 2,5 × 10 × 60 cm (espessura x largura x comprimento), condicionadas em câmara climática a 25 ± 2 °C e 65 ± 5% de umidade relativa (UR) até atingir o teor de umidade de equilíbrio (≈12%), para aplicação dos tratamentos. As condições consideradas para os tratamentos térmicos foram temperatura e tempo.

O processo de tratamento térmico da madeira foi realizado em um forno elétrico (Linn Elektro, Alemanha), com controle programável de tempo e temperatura, existente no Laboratório de Painéis, DCFM da UFES. Para as temperaturas de modificação térmica (185 – 200ºC), foi estabelecido um programa padrão de tratamento térmico. A temperatura ambiente (controle) foi considerada ≈25-30°C. Tendo como programação da rampa de aquecimento (Figura 1):

- Temperatura ambiente até atingir 100 ºC, com taxa de aquecimento de 30 ºC/hora;
- 100 ºC até a temperatura final (185 ou 200 ºC), nessa etapa a taxa de aquecimento foi de 160 ºC/hora; e
- Temperatura final mantida constante por três horas.

Ao término do tratamento, as amostras foram removidas imediatamente do forno, deixando esfriar em um dessecador portátil, e dispostas em sala climatizada, mantida sob as condições já descritas, até atingir o teor de umidade de equilíbrio para a realização dos ensaios.

Figura 1 – Rampa de aquecimento temperatura em função do tempo do tratamento térmico. A – 185ºC; B – 200ºC.



Fonte: O autor.

3.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA

Quando submetida a altas temperaturas, ocorrem alterações nos constituintes químicos da madeira. Para essa verificação, foram realizadas análises da madeira tratada termicamente e não tratada (controle), Tabela 3, em que foram obtidos os teores de extrativos, lignina total (insolúvel + solúvel) e holocelulose, que foi obtida por diferença [100% – (extrativos + cinzas) + lignina total].

Tabela 2 - Análises químicas realizadas e respectivos métodos.

Análises químicas	**Métodos**
Extrativos em álcool:tolueno (1:2)	257 om-92 (TAPPI, 1992)
Lignina insolúvel	Gomide e Demuner (1986)
Lignina solúvel	Goldshmid (1971)
Cinzas	M 11/77 (ABTCP, 1997)

Fonte: O autor.

Foram preparadas amostras compostas de cada clone, com seis repetições por clone, totalizando 54 análises para cada componente químico avaliado. As amostras foram transformadas em serragem, em moinho tipo Willey e classificadas em peneiras (40 - 60 *mesh*). O material foi homogeneizado, alíquotas retiradas e seca em estufa 103 ± 2°C, até massa constante, a fim de se obter o teor de umidade

absolutamente seco (AS). As amostras foram mantidas em sala climatizada (≈ 12% de umidade) até serem analisadas.

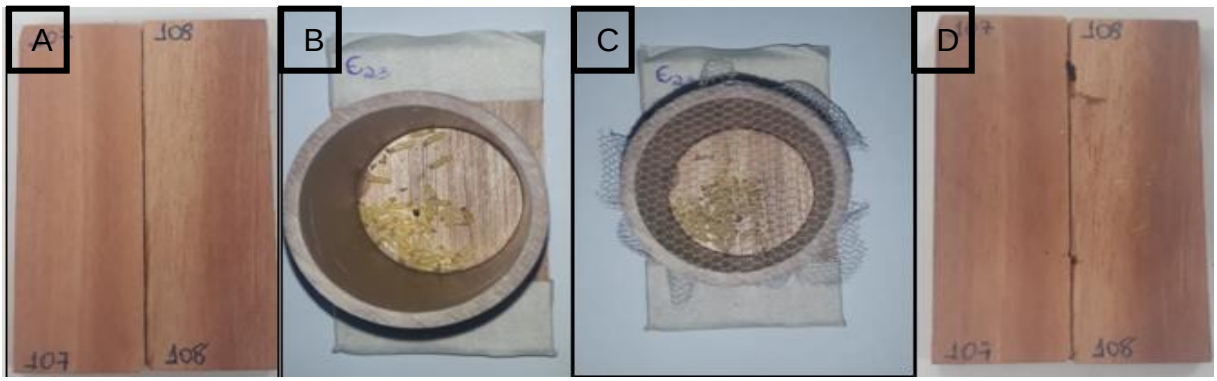
3.4 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS

3.4.1 Alimentação forçada com térmitas de madeira seca

Foram utilizados 12 corpos de prova por situação (clone e temperatura), tendo como dimensões 2,3 × 0,6 × 7,0 cm (radial × tangencial × longitudinal). As amostras foram dispostas em placas de Petri, unidas aos pares com fita adesiva nas extremidades. Sobre cada par, foi fixado com parafina, um recipiente de policloreto de polivinila (PVC), com 3,5 cm de diâmetro e 4,0 cm de altura. Em cada recipiente foi fixcado com liga elástica, um retalho de tecido tipo “filó”, a fim de evitar a predação das térmitas durante o ensaio. O ensaio foi montado de acordo com o procedimento do Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo/Divisão de Madeiras - IPT/DIMAD D-2 (1980), similar ao descrito por Maistrello (2018).

Dentro de cada recipiente foram depositadas 40 térmitas (39 operários e 1 soldado), da espécie *Cryptotermes brevis* Walker (Figura 2). O ensaio foi mantido em sala climatizada (27 ± 2 °C e 65 ± 5% UR), durante 45 dias. Ao término do ensaio, as amostras foram analisadas quanto a perda de massa, número de orifício e desgaste. Para tanto, foi atribuído notas, de 0 a 4 (0 - nenhum desgaste; 1 - desgaste superficial; 2 - desgaste moderado; 3 - desgaste acentuado; 4 - desgaste profundo), conforme IPT/DIMAD (1980). Já para avaliação do vigor das térmitas, foram contabilizados a taxa de mortalidade e o tempo de sobrevivência das térmitas.

Figura 2 – Ensaio de alimentação forçada com térmitas de madeira seca. A – Amostras antes do ensaio; B - Amostra com recipiente PVC e térmitas; C - Amostra com recipiente PVC, térmitas e filo; D – Amostra após o ataque das térmitas.



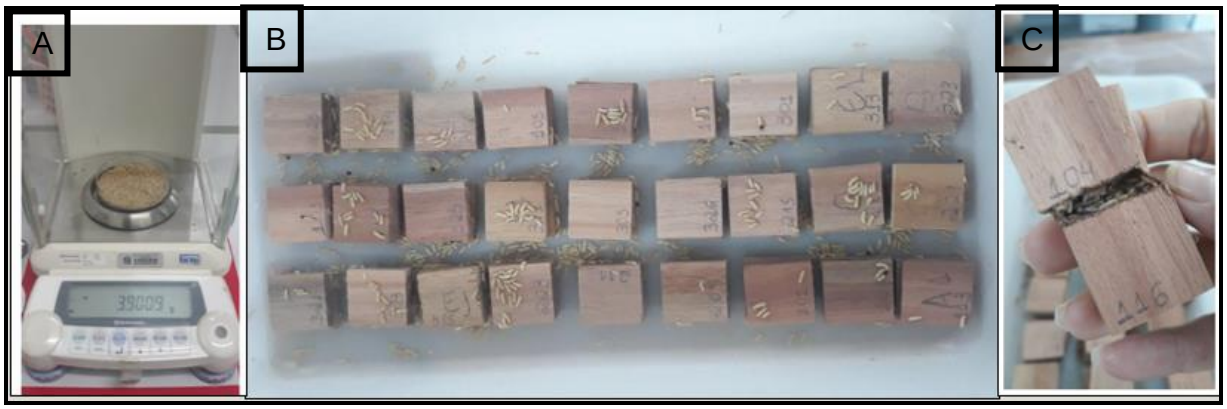
Fonte: O autor

3.4.2 Preferencia alimentar com térmitas de madeira seca

Foram utilizados seis corpos de prova de 2,54 × 0,64 × 2,54 cm (radial × tangencial × longitudinal) por situação (clone e temperatura), distribuídos aleatoriamente em um recipiente de policloreto de vinila (PVC), com dimensões de 12 × 15 × 28 cm (altura × diâmetro × comprimento).

No recipiente foram adicionadas térmitas (*Cryptotermes brevis*) na quantidade de 10 vezes o número de amostras (540 térmitas, 14 soldados). O ensaio foi mantido numa sala climatizada (27 ± 2 °C e 65 ± 5% de UR), por 45 dias, conforme descrito por Lima (2019). As amostras foram dispostas uma sobre a outra aos pares (Figura 3). Para análise do ensaio foi avaliado a perda de massa e o desgaste provocado na madeira pelas térmitas.

Figura 3 – Ensaio de preferência alimentar com térmitas de madeira seca. A – Pesagem das térmitas; B – Amostra dispostas aos pares com as térmitas; C – Amostras após o ensaio.



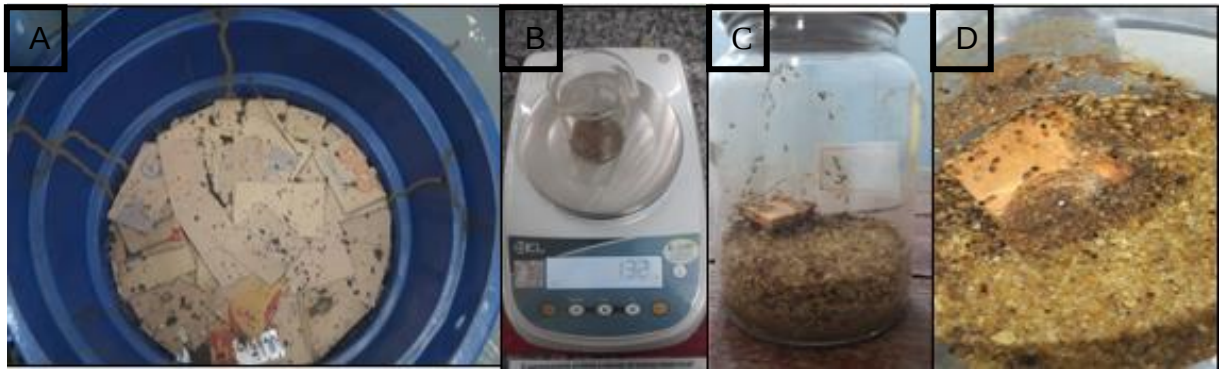
Fonte: O Autor.

3.4.3 Alimentação forçada com térmitas subterrâneas

Para este ensaio seguiram-se o disposto na American Wood Preservation Association – AWPA E1 (2016a), com algumas modificações descritas por Brocco (2019). Assim, foi coletada uma colônia de térmitas da espécie *Nasutitermes corniger* Motsch., nas proximidades do município de Jerônimo monteiro, ES. Sendo utilizados seis corpos de prova (2,54 × 0,64 × 2,54 cm (radial × tangencial × longitudinal), por situação (clone e temperatura), dispostos em frascos de vidro transparentes de 600 mL. Em cada frasco foi depositado 1,32 ± 0,05 g de térmitas

(Figura 4), sendo 86% de operários e 14% de soldados (proporção existente na colônia), como utilizado por Paes et al. (2013).

Figura 4 – Ensaio de alimentação forçada com térmitas subterrâneas. A – Presença de tuneis feitos pelas térmitas; B – Térmitas utilizadas no ensaio; C – Recipiente de vidro com o ensaio; D – Presença das térmitas no termino do ensaio.



Fonte: O Autor.

O ensaio foi mantido em sala climatizada (27 ± 2 °C e 65 ± 5% de UR), por 28 dias. Ao término do ensaio foram avaliados a perda de massa, o desgaste produzido nos corpos de prova (Tabela 3), a mortalidade das térmitas e o tempo para a morte dos insetos.

Tabela 3. Avaliação do desgaste das amostras e da mortalidade das térmitas.

Tipo de desgaste	**Nota**
Sadio, permitindo escarificações superficiais	10
Ataque superficial	9
Ataque moderado, havendo penetração	7
Ataque intenso	4
Falha, havendo ruptura dos corpos de prova	0
Mortalidade	**%**
Baixa	0-33
Moderada	34-66
Alta	67-99
Total	100

Fonte: Adaptada da AWPA E1 (2016a).

3.4.4 Preferencia alimentar com térmitas subterrâneas

Foi coletada uma colônia de *Nasutitermes corniger* Motsch., no município de Jeronimo Monteiro, ES. Para condução do experimento a colônia foi depositada, sobre uma grade de tubetes, dentro de uma caixa com capacidade para 300 litros, contendo uma camada de 10 cm de areia umedecida. Para suporte da caixa, foram adicionados quatro tijolos imersos em água, em bandeja de PVC, para evitar a fuga dos cupins.

Foi utilizado seis corpos de prova por temperatura (Figura 5), com dimensões de 2,54 × 0,64 × 10,16 cm (radial × tangencial × longitudinal). O ensaio teve duração de 45 dias, ao término foi analisada a perda de massa e uma avaliação visual do desgaste (Tabela 3).

Figura 5 – Ensaio de preferência alimentar com térmitas subterrâneas

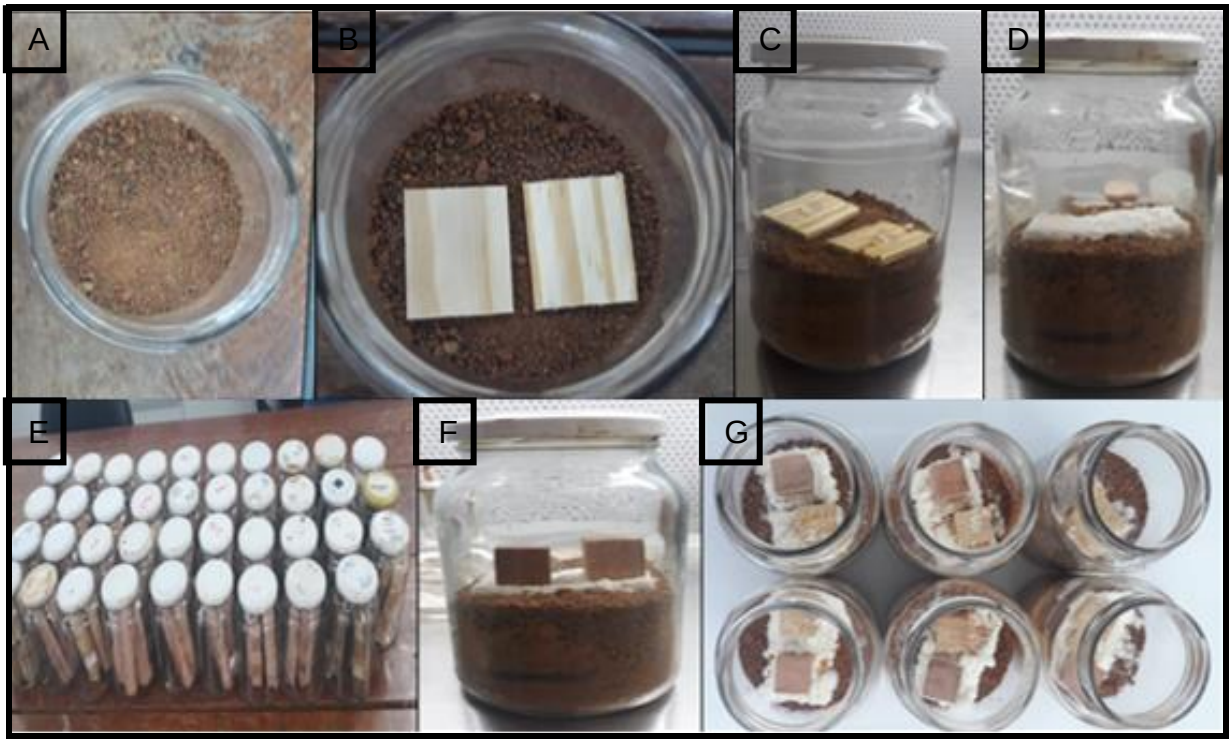
Fonte: O autor

3.5 ENSAIOS COM FUNGOS XILÓFAGOS

Para a condução desse ensaio, foram produzidas amostras cúbicas de 1,9 cm de aresta, as quais foram dispostas em frascos de vidro transparentes de 600 mL, preenchidos com 300 g de solo, com capacidade de retenção de água (21,92%) e pH (7,3) os quais foram obtidos conforme AWPA E10 (2016b). Em cada frasco foram adicionadas amostras dos fungos *Gloeophyllum trabeum* (Pers.) Murrill. (Mad-617) e *Rhodonia placenta* (Fries) Larsen et Lombard (Mad-698-R), causadores de podridão parda; *Irpex lacteus* (Fr.) Fr. (Mad-517), podridão branca. Totalizando 24 repetições

de cada fungo por temperatura e clone. Os recipientes foram esterilizados a 121º C (1.2 Atm.) por 30 minutos. Após isso, foram mantidos em ambiente climatizado com 28 ± 2 ºC e 75 ± 5 % de UR, por 12 semanas (84 dias) (Figura 6).

Figura 6 – Ensaio com fungos xilófagos. A – Solo antes da esterilização; B – Feed stripes de Pinus; C – Inoculação dos fungos; D – Fungos desenvolvidos; E – Preparo das amostras para esterilização; F – Amostras a serem ensaiadas; G – Após o ensaio com fungos apodrecedores.



Fonte: O autor

Ao término do ensaio foi avaliado a perda de massa, sendo comparados com as classes de resistência da AWPA E 30 (2016c), Tabela 4.

Tabela 4. Classes de resistência da madeira atacada por 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	Resistência Moderada
≥45	≤55	Não Resistente

Fonte: adaptado da AWPA E 30 (2016c).

3.6.1 Avaliação colorimétrica da madeira

Para mensuração da cor da madeira foi utilizado o sistema da Comissão Internacional de Iluminação - CIE (1976), com o uso do espectrofotômetro Konica Minolta CM-2500D, com iluminante padrão D65, ângulo de observação de 10º e luz especular incluída. O equipamento foi calibrado com padrão preto e branco.

Os parâmetros colorimétricos contabilizados foram a luminosidade (L*), a coordenada vermelho-verde ou matiz vermelho (a*) e a coordenada azul-amarelo ou matiz amarelo (b*), fundamentados no sistema CIE (1976). A determinação de alteração na cor da madeira (Equação 1), foi realizada antes e após o ataque dos fungos xilófagos.

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (1)$$

em que, (L*): claridade; (a*): coordenada cromática do eixo verde - vermelho; e (b*): coordenada cromática do eixo azul – amarelo.

As variações totais da cor das madeiras, ensaiadas posterior ao ataque fúngico, foram classificadas como proposto por Stangerlin (2012), realizada com base em níveis de percepção visual (Tabela 5).

Tabela 5 - Classificação da variação total da cor (ΔE*) da madeira posterior ao ataque fúngico.

Variação total da cor ∆E	**Classificação colorimétrica**
Ligeiramente perceptível	0,0 - 4,0
Perceptivel	4,1 - 8,0
Muito perceptível	Acima de 8,1

Fonte: Stangerlin (2012).

3.7. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Para as análises químicas da madeira foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, tendo seis repetições para clone e temperatura. Sendo realizada 54 analises para cada componente químico avaliado.

Para os ensaios biológicos de térmitas (alimentação forçada) e fungos foi utilizado o mesmo delineamento inteiramente casualizado. Assim, para o de térmitas

de madeira seca (ensaio de alimentação forçada) foram utilizadas 12 repetições por clone e temperatura, totalizando 108 amostras. Para o de preferência alimentar (madeira seca), foram seis repetições por clone e temperatura, 54 amostras. Para o ensaio com térmitas subterrâneas (preferência alimentar e alimentação forçada), foram usadas seis repetições por clone e temperatura, totalizando 54 amostras. Os ensaios de preferência alimentar foram montados em blocos casualizados (DBC), em que as repetições foram os blocos.

Para o ensaio com fungos xilófagos foram considerados três tipos de fungos, sendo seis repetições para cada clone e temperatura, totalizando 216 amostras. Neste ensaio, os danos causados pelos fungos não foram comparados entre si. Uma vez que, eles causam danos diferentes à madeira.

Antes da aplicação da análise de variância (ANOVA) foi verificada o pressuposto de normalidade dos dados (teste Lilliefors, $p < 0,05$) e a homogeneidade das variâncias (teste de Cochran, $p < 0,05$). Quando houve necessidade, os valores foram transformados, conforme indicado por Steel e Torrie (1980), para dados em porcentagem e valores numéricos, contendo zero. Atendida a proposição, a ANOVA foi aplicada e os fatores e interação detectados como significativos pelo teste F ($p \leq 0,05$), tiveram as médias comparadas pelo teste de Skott-Knott ($p \leq 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA MADEIRA AVALIADA

De acordo com a análise de variância (Apêndice A), teve interação significativa entre clone e temperatura. Dentre os clones, aquele que apresentou maior valor de extrativos, para a temperatura controle (≈ 25ºC), foi o C (Tabela 6). Para a temperatura de 185ºC, foram detectados maiores teor de extrativos para os clones C e E; e para 200ºC, no clone C. A modificação térmica reduziu a quantidade de substâncias extratáveis dos clones estudados. A redução no teor de extrativos, provocada pela modificação térmica, é ocasionada principalmente pela redução dos extrativos polares existentes nas madeiras de folhosas (POUBEL et al., 2013; ZANUNCIO et al., 2014) e evaporação de compostos voláteis de baixo peso molecular.

Tabela 6 - Teores de extrativos totais e cinzas na madeira, em função dos clones e temperatura de modificação térmica.

Clone	**Extrativos Totais (%)**			**Cinzas (%)**		
	Temperatura (ºC)					
	Controle	185	200	Controle	185	200
A	14,23 Ab	13,13 Bb	13,20 Bb	0,25 Aa	0,22 Aa	0,22 Aa
C	16,48 Aa	14,08 Ba	14,21 Ba	0,10 Bb	0,17 Ab	0,19 Ab
E	14,10 Ab	13,82 Aa	12,91 Bb	0,23 Aa	0,18 Bb	0,17 Bb

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na horizontal, ou minúscula, na vertical, não diferem entre si (Scott-Knott; $p > 0,05$).

Para o teor de cinzas (controle), o clone C apresentou o menor valor. Para as temperaturas de 185 e 200 ºC, a maior quantidade foi detectada no Clone A. A modificação térmica resultou em efeitos diferentes para os clones avaliados. Não tendo afetado os valores do clone A, causado aumento naqueles do clone C e redução no E. É um comportamento normal ocorrer o incremento nos valores de cinzas, na madeira tratada termicamente. Uma vez que, à medida que ocorre a degradação dos componentes orgânicos da madeira a fração mineral não é influenciada. Isso provoca um aumento no valor percentual do teor de cinzas em relação à massa de madeira avaliada.

Nota-se (Tabela 7), que os maiores teores de lignina foram encontrados para o clone A (controle e 185 ºC), e para 200 ºC, nos clones A e C. Como o ocorrido

para o teor de cinzas, a modificação térmica resultou em efeitos diferentes para os clones avaliados. Com acréscimo no clone C (200 ºC), decréscimo, clone A tratado a 200 ºC e variação de acréscimo (Controle-185ºC) e decréscimo (185-200 ºC) no clone C. Para o *Eucalyptus grandis*, Moura et al. (2002) encontraram maiores valores de lignina, para a madeira modificada termicamente a 200 ºC. Isto ocorre, pois a fração lignina não é decomposta pela temperatura normalmente utilizada na modificação térmica, e assim, como o teor de cinzas, concentra-se, aumentando seu valor em relação ao teor de hemiceluloses, que é degradada termicamente, nas temperaturas normalmente praticadas para o termo tratamento da madeira.

Tabela 7 - Teores de lignina total e holocelulose na madeira, em função dos clones e temperatura de modificação térmica.

Clone	**Lignina**			**Holocelulose**		
	Temperatura (ºC)			Temperatura (ºC)		
	Controle	185	200	Controle	185	200
A	33,29 Aa	33,37 Aa	31,19 Ba	52,25 Bc	53,27 Bb	55,38 Ab
C	29,03 Bb	29,33 Bc	30,31 Aa	54,38 Bb	56,4 Aa	55,27 Bb
E	29,11 Bb	30,47 Ab	29,05 Bb	56,54 Ba	55,52 Ba	57,85 Aa

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na horizontal, ou minúscula, na vertical, não diferem entre si (Scott-Knott; p > 0,05).

O aumento no teor de lignina da madeira termo modificada é ocasionado pela degradação, principalmente das hemiceluloses, que se inicia a partir de 180 ºC. Ocasionado pela a volatilização de compostos, com aumento no percentual de lignina, comportamento semelhante foi encontrado por Poubel et al. (2013) e Batista et al. (2016).

Para o teor de holocelulose, os maiores valores foram verificados para o clone E (controle e 200 °C). No entanto para 185 ºC, os valores dos clones C e E foram semelhantes e superiores ao A. Observa-se que houve um incremento, no intervalo de 185-200 ºC, nos valores de A e E. Enquanto para o C houve incremento (controle-185 ºC) e decréscimo entre 185-200 ºC. Esse comportamento na variação da composição química da madeira dos clones, frente as temperaturas testadas, é normal de ocorrência, uma vez que se trata de material biológico diferente.

No geral, o teor de holocelulose está abaixo dos encontrados por Santos et al. (2010) e Frederico (2009), que foram de 65% e 69%, respectivamente. Isto se deve ao melhoramento genético e direcionamento de utilização da madeira. Os clones utilizados na presente pesquisa, foram melhorados para atender ao setor de

madeira serrada, enquanto o estudado pelos pesquisadores citados, tinha como finalidade a produção de polpa celulósica.

4.2 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS DE MADEIRA SECA

4.2.1 Ensaios de alimentação forçada

Para este ensaio não houve interação significativa entre clone e temperatura para nenhuma das variáveis analisadas (Apêndice B). O clone E apresentou a maior perda de massa. Para o desgaste e a mortalidade não houve diferença significativa entre os clones. O desgaste foi classificado como moderado. Foi percebido o maior número de orifícios para os clones A e E (Tabela 8). Vale se alentar que foi considerado como orifício apenas aqueles que traspassaram a amostra.

Tabela 8 - Perda de massa, desgaste, número de ofícios e mortalidade das térmitas em função dos clones e temperatura de modificação térmica.

Clone Temperatura (ºC)	**Perda de Massa (%)**	**Desgaste* (Nota)**	**Orifícios (Número)**	**Mortalidade* (%)**
A	1,18 b	2,84	1,33 a	54,44
C	0,96 c	2,37	0,44 b	54,30
E	1,47 a	2,63	1,83 a	58,47
Controle	1,27*	2,66	1,16*	53,47
185	1,13	2,43	0,88	53,33
200	1,20	2,75	1,55	60,41

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na horizontal, ou minúscula, na vertical, não diferem entre si (Scott-Knott; p > 0,05). * Não significativo pelo teste F (p > 0,05).

Os valores de perda de massa, obtidos para a temperatura controle foram superiores aos encontrados por Batista (2012) para a madeira de *Eucalyptus grandis* com 18 anos. Resultados próximos foi obtido por Pinto (2020), para clones de *E. grandis x E. urophylla,* com 16 anos. A madeira de *E. grandis* e *E*. *urophylla* apresentaram baixa resistência a *Cryptotermes brevis*, conforme citado por Silva et al. (2004).

Em um estudo realizado por Oliveira, Paes e Vidaurre (2017) foram encontrados valores de desgaste de *E*. *grandis* e *E*. *urophylla* de 2,9 e 2,8

respectivamente. Esses resultados são semelhantes aos encontrados neste trabalho. Para o desgaste da madeira de *E*. *grandis* (controle), Pessoa et al. (2006) obtiveram resultados semelhantes aos do presente estudo. No entanto, para a temperatura de 200 ºC, a nota obtida foi superior a dos autores citados.

A mortalidade das térmitas, obtida por Pessoa et al. (2006) foi maior para a temperatura de 200 ºC. Mesmo sem ter sido detectada diferença estatística, é possível observar que, numericamente, o valor médio da mortalidade para 200 ºC, foi maior que os demais. Isto ocorreu, uma vez que, após a degradação térmica da fração orgânica da madeira, os compostos fenólicos permanecem como resíduo no produto sólido resultante da termo modificação (produtos voláteis existentes no carvão), e esse compostos são nocivos à térmitas (Pessoa et al., 2006). Ou no caso da concentração de cinzas, que pode acarretar em desgaste no aparelho bucal das térmitas, fato observado por Kvedaras et al. (2009), para a broca de cana de açúcar, e citado pelos nos trabalhos de Paes et al. (2013) e Nicacio (2017).

A madeira de *Pinus* sp., utilizada como referências por indicação do IPT/DIMD (1980), proporcionou uma taxa de mortalidade superior à dos clones de eucalipto estudados, com 66,5% de mortalidade. Além disso, teve perda de massa maior do que aquela obtida pelo clone E, de 3,44%. Sendo também superior aos valores encontrados por Batista (2012). A madeira de *Pinus* sp. é citada como de baixa resistência a organismos xilófagos. Porém tal citação, na maioria das vezes, refere-se a deterioração por fungos, e não a ataque de insetos (térmitas) (MEDEIROS NETO et al., 2021).

Os resultados podem estar relacionados à maneira como as térmitas ficam expostas nos testes (sobre as amostras) e não entre elas, como ocorre naturalmente, quando atacam a madeira ou compensado. O modo como os testes são montados, as térmitas passam por estresses (CARVALHO et al., 2018). Naturalmente é observado ataque de térmitas em madeira de *Pinus* sp. utilizada em estrutura de móveis e, também em compensados produzidos com essa madeira. No caso de madeira sólida, o ataque é notado depois de um certo tempo, em que, provavelmente alguns extrativos tóxicos (terpenos e terpenoides), componentes da resina, já tenham se evaporado (MEDEIROS NETO et al., 2021).

No caso das amostras de madeira utilizadas em pesquisas, a madeira é fresca (recém desdobrada), contendo todos os componentes existentes na resina,

que podem influenciar na resistência da madeira. Porém, na literatura não constam essas informações, sendo o assunto ainda, não explorado no meio científico (MEDEIROS NETO et al., 2021).

4.2.2 Ensaios de preferência alimentar

Não foi observado efeito de blocos, porém houve interação significativa entre clone e temperatura para perda de massa e desgaste (Apêndice C). Para a perda de massa, não houve diferença entre os clones, para o controle e na temperatura de 200ºC. O maior valor foi encontrado para o clone E na temperatura de 185ºC. Para os clones A e C, a temperatura não influenciou nos resultados. Já para o clone E, foi observado um incremento (controle -185 ºC), e um decréscimo para (185-200 ºC) (Tabela 9).

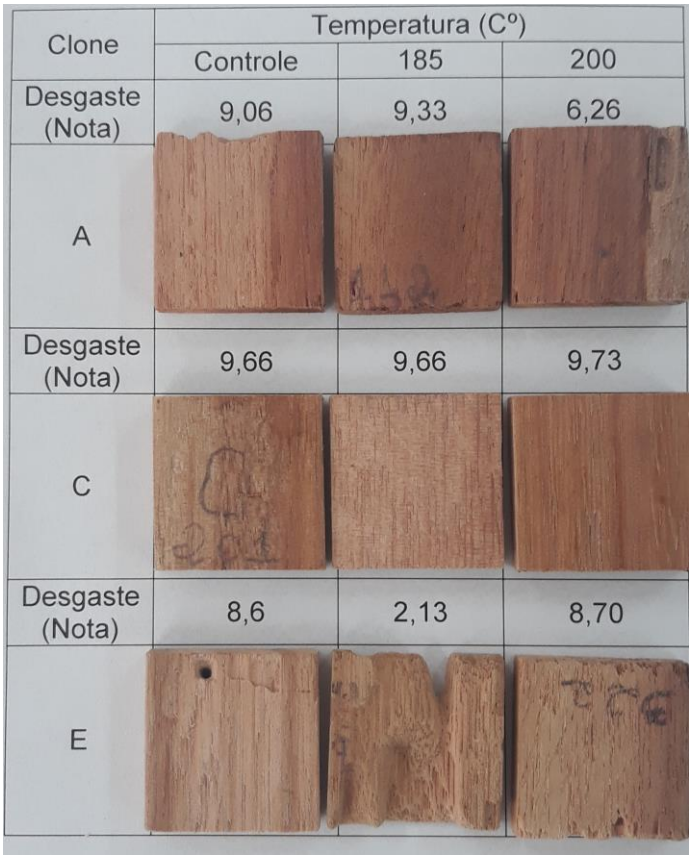
Tabela 9 - Perda de massa e desgaste em função dos clones e temperatura de modificação térmica.

Clone	**Perda de Massa (%)**			**Desgaste (Nota)**		
	Temperatura (ºC)					
	Controle	185	200	Controle	185	200
A	1,28 Aa	0,58 Ab	4,5 Aa	9,06 Aa	9,33 Aa	6,26 Bb
C	3,93 Aa	0,42 Ab	0,15 Aa	9,66 Aa	9,66 Aa	9,73 Aa
E	0,46 Ba	14,68 Aa	0,98 Ba	8,6 Aa	2,13 Bb	8,70 Aa

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na horizontal, ou minúscula, na vertical, não diferem entre si (Scott-Knott; $p > 0,05$).

Quanto ao desgaste, para todas as temperaturas, o clone C exibiu o menor valor, sendo classificado como ataque superficial. Para o clone A, o desgaste foi moderado, havendo escarificações profundas nas amostras. Para o clone E, termo tratado a 185 ºC (Figura 7), o ataque foi classificado como intenso (havendo rupturas nas amostras. Para o número de orifícios não houve diferença entre os tratamentos.

Figura 7- Amostras atacadas por térmitas de madeira seca no ensaio de preferência alimentar.



Fonte: O autor.

4.3 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS SUBTERRÂNEAS

4.3.1 Ensaios de alimentação forçada

Nos frascos que continham o experimento foram observados a presença de tuneis na areia (Figura 8), o que indica o vigor dos insetos, de acordo com a AWPA E1-16 (2016). Para a perda de massa e mortalidade não houve interação significativa entre clone e temperatura (Apêndice D).

Figura 8 – Presença de tuneis no ensaio de alimentação forçada com térmitas subterrâneas.

Fonte: O autor

A maior perda de massa foi encontrada para os clones A e E, e a temperatura que proporcionou maior perda de massa foi a de 185 ºC (Tabela 10). Batista (2012) e Ferreira et al. (2004) encontraram valores de perda de massa menores para madeira *in natura* de *Eucalyptus grandis* (9,67 e 19,70%), respectivamente, que os obtidos no presente estudo.

Tabela 10 - Perda de massa, mortalidade das térmitas e desgaste em função dos clones e temperatura de modificação térmica.

Perda de Massa (%)				**Mortalidade (%)**			
Clone		Temperatura (ºC)		Clone		Temperatura (ºC)	
A	25,79 a	Controle	21,43	A	56,10	Controle	47,05
C	18,69 b	185	27,13	C	49,49	185	53,70
E	24,22 a	200	20,14	E	51,55	200	56,39

Clone	**Desgaste (Nota)**		
	Temperatura (ºC)		
	Controle	185	200
A	5,00 Ab	4,83 Aa	5,50 Ab
C	7,27 Aa	4,50 Ba	7,90 Aa
E	5,12 Ab	4,17 Aa	5,33 Ab

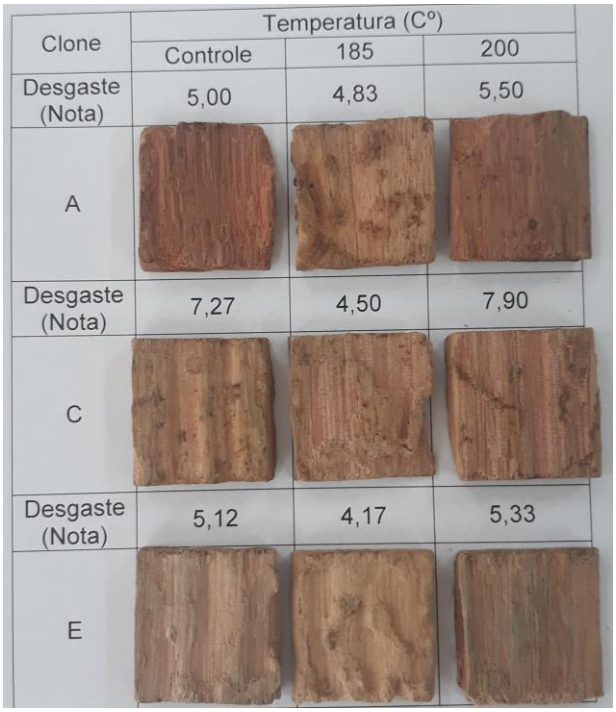
Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na horizontal, ou minúscula, na vertical, não diferem entre si (Scott-Knott; p > 0,05).

Para as amostras de *Pinus* sp. utilizadas como referência, a perda de massa foi de 9,57%, sendo inferior a encontrada para as madeiras dos clones de eucalipto avaliadas (*in natura* ou modificada termicamente). Este resultado, segundo Lepage, Salis e Guedes (2017), pode estar relacionado à compostos como terpenos e terpenoídes encontrados na resina da madeira de *Pinus* spp. que são nocivos a esse gênero de térmitas.

Para a mortalidade das térmitas, não houve diferença entre os tratamentos, e apenas nas amostras de *Pinus elliottii*, houve 100% de mortalidade dos indivíduos, antes do final do experimento, depois de decorridos 19 dias. Segundo Paes et al., (2001) os cupins do gênero *Nasutitermes* apresentam uma dieta restrita, a qual o *Pinus* sp. não faz parte. Além disto, há a observação de Lepage, Salis e Guedes (2017), quanto aos composto existentes na madeira que podem ser nocivos aos mesmos.

Na avaliação visual do desgaste, houve interação entre os fatores clone e temperatura (Figura 9). No controle e na temperatura de 200 ºC, o clone C revelou uma menor nota. E na temperatura de 185ºC não houve diferença entre os clones. Analisando cada nível de temperatura dentro dos clones, o único que apresentou diferença foi o clone C, que mostrou maior desgaste na temperatura de 185 ºC.

Figura 9 - Amostras atacadas por térmitas subterrâneas, no ensaio de alimentação forçada.



Fonte: O autor.

4.3.1 Ensaios de preferência alimentar

Neste ensaio houve interação significativa entre os fatores clone e temperatura, para a perda de massa e desgaste causado perlas térmitas na madeira (Apêndice E). Para o controle, o clone C foi o menos consumido pelas térmitas, tendo uma perda de massa de 1,92%. Para a temperatura de185 ºC, o clone E foi o mais deteriorado, com 90.36% de perda de massa. Em compensação na temperatura de 200 ºC, a perda de massa (clone E) foi a menor em relação ao demais (Tabela 11). Para os clones A e C, o incremento da temperatura causou maior perda de massa. No entanto, para o E, houve incremento (controle-185 °C) e decréscimo (185-200ºC).

Tabela 11 - Perda de massa e desgaste em função dos clones e temperatura de modificação térmica.

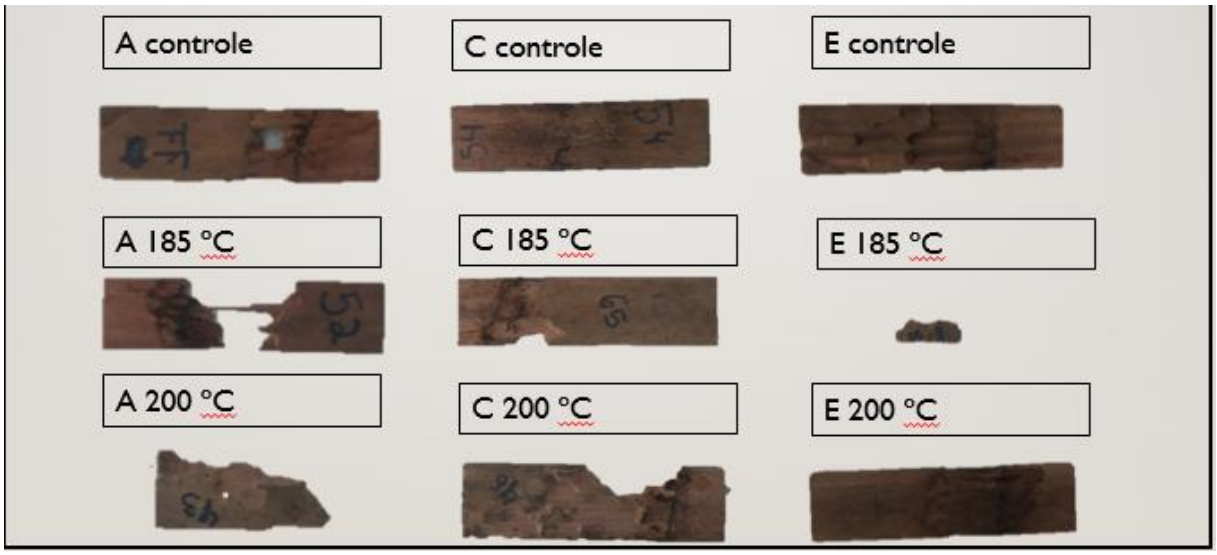
Clone	**Perda de Massa**			**Desgaste**		
	Temperatura (ºC)					
	Controle	185	200	Controle	185	200
A	25,36 Ba	49,84 Ab	54,1 Aa	0,33 Ab	0,00 Ab	0,33 Ab
C	1,92 Cb	21,79 Bc	46,5 Aa	9,08 Aa	4,08 Ba	2,33 Ba
E	30,85 Ba	90,36 Aa	18,46 Bb	1,33 Bb	0,00 Bb	3,66 Aa

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na horizontal, ou minúscula, na vertical, não diferem entre si (Scott-Knott; p > 0,05).

O aumento do consumo da madeira tratada termicamente pelas térmitas *Nasutitermes corniger* também foi observada por Batista (2012) para madeira de *E. grandis* e Paes et al. (2015) para *Corymbia citriodora*. Essa madeira teve um comportamento similar ao observado para o clone E, que que foi observado um incremento na perda de massa da madeira tratada a 100-180ºC e decréscimo para temperaturas iguais ou superiores a 200ºC.

Quanto ao degaste na situação controle o clone C apresentou maior valor (Figura 10), sendo classificado como sadio, contendo apenas poucas escarificações superficiais. Os clones A e E apresentaram ataque intenso. Na temperatura de 185 ºC, os clones A e E obtiveram nota 0, havendo ruptura e alto consumo das amostras, enquanto o clone C teve ataque intenso (desgastes profundos). Na temperatura de 200 ºC o clone A foi o mais escarificado, diferindo estatisticamente dos clones C e E, tendo ataque entre intenso e ruptura, de acordo com a classificação da AWPA E1-16 (2016).

Figura 10 - Amostras atacadas por térmitas subterrâneas, no ensaio de preferência alimentar.



Fonte: O autor.

4.4 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM FUNGOS XILÓFAGOS

Para o fungo *Gloeophyllium trabeum* a perda de massa aumentou com o incremento da temperatura para todos os clones (Tabela 12). Para o controle, o clone E teve uma maior perda de massa. Batista et al. (2017), Costa (2006) e Modes (2010) encontraram perdas de massa para *Eucalyptus grandis*, que variou de 0,5; 25; e 60% respectivamente.

A madeira de *Pinus elliotti*, utilizada como referência, como indicado pela AWPA E10 (2016), teve perda de massa de 47,69%. Fungos causadores da podridão parda têm preferência por madeiras de coníferas (VIVIAN et al., 2015). Assim, a perda de massa foi superior à dos clones de eucalipto estudados, para todas as condições testadas. A perda de massa causada pelo *G. trabeum*, é um indício de que a cultura utilizada era vigorosa e capaz de causar grande consumo na madeira.

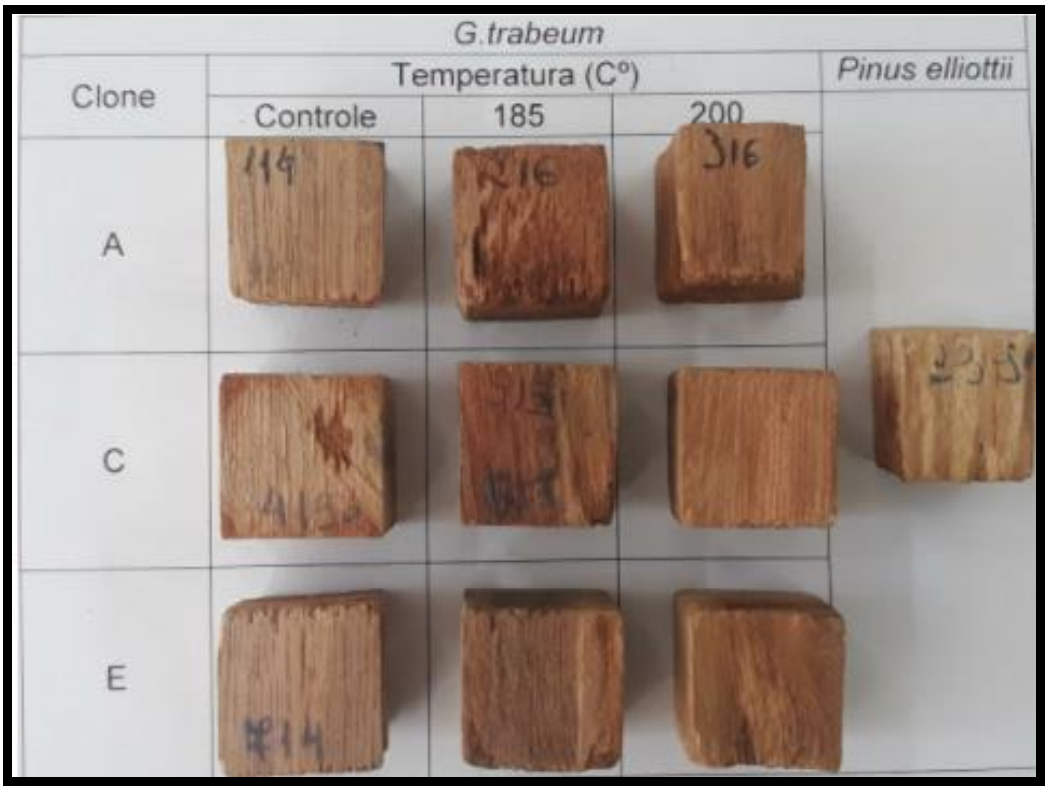
Tabela 12 – Perda de massa e variação colorimétrica causada pelo ataque do fungo *Gloeophyllum trabeum*, em função dos clones e temperaturas de modificação térmica.

Gloeophyllum trabeum							
Perda de massa (%)/Temperatura (ºC)				Variação colorimétrica (∆E)*			
Clone	Controle	185	200	Clone	(∆E)	Temperatura (ºC)	(∆E)
A	0,71 Bb	2,79 Bc	38,63 Aa	A	9,32	Controle	9,31
C	1,87 Cb	12,42 Bb	28,55 Ab	B	8,88	185	9,37
E	18,5 Ba	19,15 Ba	40,44 Aa	C	10,97	200	10,12

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na horizontal, ou minúscula, na vertical, não diferem (Scott-Knott; p > 0,05). * Não significativo pelo teste F (p > 0,05).

Para 185 ºC o clone E teve a maior perda de massa, seguido pelo C. Já na temperatura de 200 ºC os clones A e E foram os mais consumidos. Como pode ser observado, o tratamento térmico não foi eficiente contra a deterioração causada pelo *G*. *trabeum*, tendo favorecido o ataque. Durante a modificação térmica deve ter havido transformações químicas nas substancias toxicas dos clones, o que ocasionou a susceptibilidade ao ataque do fungo. Isto pode ser confirmado pelos valores contidos nas Tabelas 6 e 7, em que se observa queda nos teores de extrativos totais e incremento no teor de holocelulose, com a temperatura de modificação térmica, favorecendo o ataque do fungo à madeira termotratada. Na Figura 11, observa-se os danos causados pelo fungo nas amostras.

Figura 11 - Amostras de madeira de eucalipto e pinus submetidas ao ataque do fungo *G*. *trabeum*.



Fonte: O autor.

Com relação à variação colorimétrica (Apêndice F), não foi constatada diferença significativa entre os clones e temperaturas testadas. Porém, esse fungo

causou alteração na cor da madeira (Tabela 12), sendo classificada, conforme Stangerlin (2012), como muito perceptível (Tabela 5, pag. 23). Os fungos de podridão parda degradam a madeira mais rapidamente, do que aqueles causadores das podridões mole e branca, o que resulta em maiores variações colorimétricas (BRISCHKE; MEYER-VELTRUP, 2016), em menores intervalos de tempo.

Nota-se Tabela 13, que a perda de massa (controle e temperatura de 200 ºC) para o fungo *Irpex lacteus* não apresentou diferença estatística entre os clones (Apêndice G). Na temperatura de 185 °C, o clone E teve maior perda de massa. O tratamento térmico não causou efeito na perda de massa dos clones A e C. Já para o clone E, foi observado um incremento (controle-185 ºC), e decréscimo (185-200 ºC).

As amostras de *Pinus elliotti,* utilizadas como referência (AWPA E10, 2016), tiveram perda de massa de 3,78%, sendo inferior apenas em relação ao clone E (185 ºC). Fungos de podridão branca geralmente consomem menos as madeiras de coníferas (SCHMIDT, 2006; ZABEL; MORRELL, 1992). Brocco (2019) observou que madeira de *Pinus taeda* (yellow pine) tratada com extrato de teca, e submetida ao intemperismo artificial, teve perda de massa, causada pelo *I. látex* de ≈ 20%. Como nesta pesquisa foi utilizado micélio replicado da mesma cultura utilizada pelo autor citado, isto denota que a mesma tinha capacidade de causar uma maior deterioração às madeiras testadas.

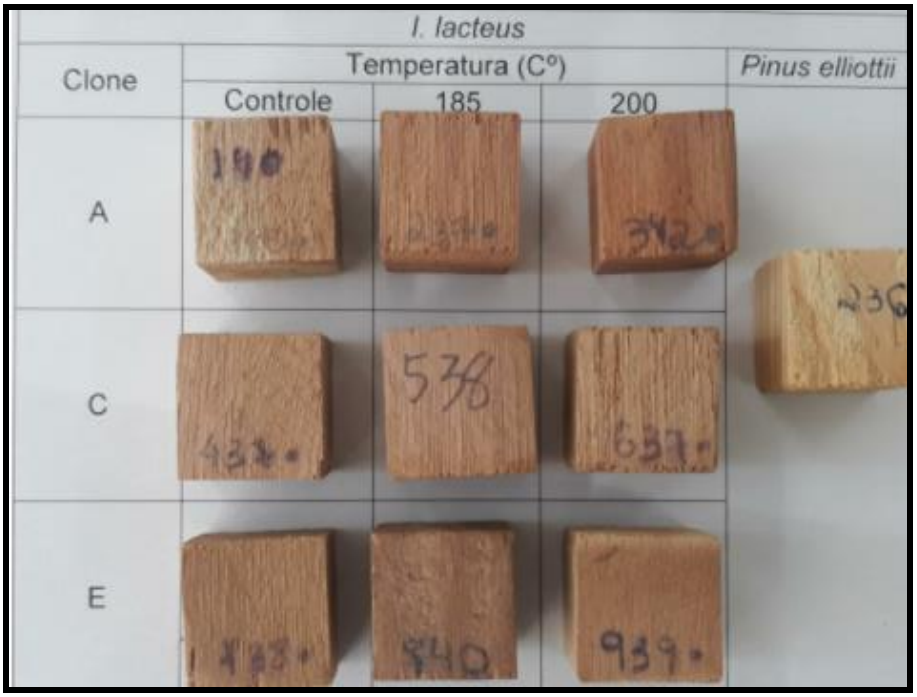
Tabela 13 – Perda de massa e variação colorimétrica causada pelo ataque do fungo *Irpex lacteus*, em função dos clones e temperaturas de modificação térmica.

Irpex lacteus							
Perda de massa (%) / Temperatura (ºC)				Variação colorimétrica (∆E)			
Clone	Controle	185	200	Clone	∆E	Temperatura (ºC)	∆E
A	1,62 Aa	0,96 Ab	1,44 Aa	A	5,02 b	Controle	7,40 a
C	0,68 Aa	1,82 Ab	1,03 Aa	C	6,90 a	185	6,41 a
E	0,70 Ba	4,69 Aa	1,17 Ba	E	6,97 a	200	5,08 b

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na horizontal, ou minúscula, na vertical, não diferem entre si (Scott-Knott; p > 0,05).

Na Figura 12, observa-se os danos causados pelo fungo nas amostras, em que é percebido um baixo consumo da madeira, independentemente da situação e madeira testada ou referência (eucalipto ou pinus).

Figura 12 - Amostras de madeira de eucalipto e pinus submetidas ao ataque do fungo *I. lacteus.*



Fonte: O autor.

Para os resultados da variação colorimétrica não foi observado interação significativa para os clones e temperaturas testados. Os menores valores da variação colorimétrica foram observados para o clone A, e para a temperatura de 200 ºC. Todas as situações testadas foram classificadas como alterações perceptíveis, de acordo com Stangerlin (2012), Tabela 5.

Para a deterioração causada pelo *Rhodonia placenta* (Tabela 14), observa-se que a perda de massa, nas amostras controle não foram diferentes entre os clones (Apêndice H). Nas temperaturas de 185 e 200 ºC, os clones A e E obtiveram maior perda de massa. Para todos os clones, o tratamento térmico causou incremento da perda de massa. Fato já observado e discutido, com base na composição química, para o fungo *G*. *trabeum* (Tabela 12), que assim como o *R*. *placenta*, também é causador da podridão parda na madeira.

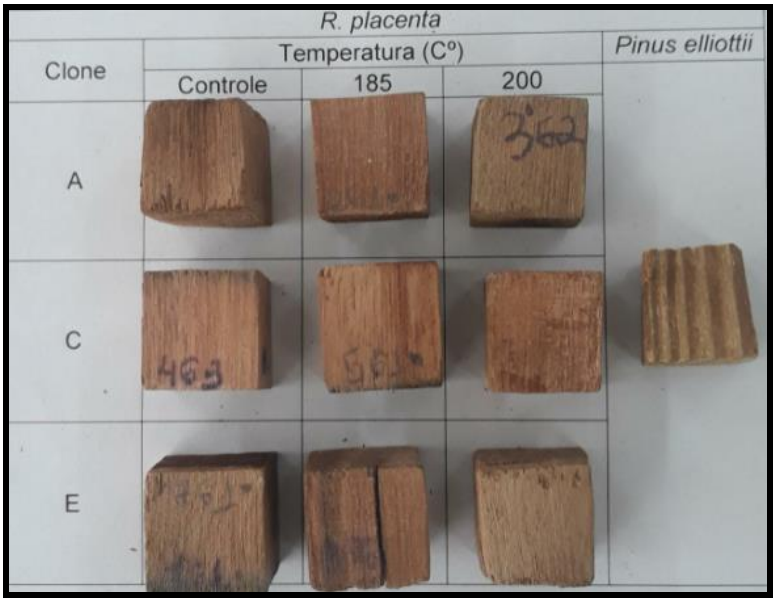
Tabela 14 – Perda de massa e variação colorimétrica causada pelo ataque do fungo *Rhodonia placenta*, em função dos clones e temperaturas de modificação térmica.

Rhodonia placenta							
Perda de massa (%) / Temperatura (ºC)				Variação colorimétrica (∆E)/ Temperatura (ºC)			
Clone	Controle	185	200	Clone	Controle	185	200
A	4,35 Ca	22,23 Ba	36,80 Aa	A	9.50 Aa	4.78 Bb	8.51 Aa
C	7,83 Ba	5,87 Bb	23,33 Ab	C	7.47 Ba	7.31 Ba	8.58 Aa
E	11,29 Ba	25,67 Aa	33,06 Aa	E	10.11 Aa	9.89 Aa	11.82 Aa

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula, na horizontal, ou minúscula, na vertical, não diferem entre si (Scott-Knott; p > 0,05).

Para a deterioração por *R. placenta* (≈*Postia placenta*), Batista (2012) observou que a perda de massa teve um decréscimo (controle-180ºC), para *E. grandis*, ao contrário do ocorrido neste trabalho. Para a perda de massa do *Pinus elliotti,* utilizado como referência, foi obtido o valor de 55,46%, sendo superior ao obtido para os clones de eucalipto testados (controle, 185 e 200 ºC). Esse resultado indica o vigor da cultura fúngica utilizada nesse estudo. O autor citado encontrou valor semelhante para o *Pinus* sp, com perda de massa de 54%. Na Figura 13, nota-se os danos causados pelo fungo nas amostras, em que é percebido o consumo da madeira teste e referência (eucalipto e pinus). Para o clone E (185-200°C) foi observada a quebra de algumas amostras, após a secagem das mesmas, indicando um maior ataque e, consequentemente, maior consumo de madeira.

Figura 13 - Amostras de madeira de eucalipto e pinus submetidas ao ataque do fungo *R. placenta.*



Fonte: O autor.

Para o controle e temperatura de 200 ºC não foi observada diferença para a alteração colorimétrica da madeira depois do ataque do fungo (Tabela 14). Na temperatura de 185 ºC, os clones C e E, tiveram maior variação da cor, após o ataque do fungo. Não foi observado efeito do tratamento térmico na variação colorimétrica do clone E. No entanto, para o clone A, houve decréscimo (controle-185 ºC), e incremento (185-200 ºC). E para o clone C, houve incremento na variação colorimétrica da madeira, com o tratamento térmico.

De acordo com a classificação do Stangerlin (2012), Tabela 5, o clone A (controle) e E (controle, 185 e 200 ºC) obtiverem os valores de variação colorimétrica muito perceptível. Enquanto, as demais situações, foram classificadas como perceptíveis.

Os clones A, C e E estudados nessa pesquisa, foram selecionados entre aqueles utilizados por Silva (2018) que apresentaram as menores deteriorações causadas por organismos xilófagos, entre os seus clones avaliados. Isto justifica alguns resultados, em que a madeira não modificada termicamente (controle) exibiu resistência biológica aos organismos xilófagos testados.

5 CONCLUSÕES

A modificação térmica da madeira ocasionou decréscimo no teor de extrativos totais dos clones testados. Para o teor de cinzas, não houve alteração nos valores para o clone A, mas causou incremento para o C, e redução no clone E.

Para a teor de lignina total, o tratamento térmico acarretou decréscimo no valor do clone A, e causou incremento para o clone C. Já o clone E, exibiu o maior valor de lignina na temperatura de 185 ºC. Nos clones em que houve o aumento de lignina, observou-se decréscimo nos valores do holocelulose.

O tratamento térmico não teve efeito sobre o ataque das térmitas de madeira seca para o ensaio de alimentação forçada. Já no ensaio de preferência alimentar, o ataque mais intenso foi observado para o clone E, na temperatura de 185 ºC.

Para o ensaio de alimentação forçada com térmitas subterrâneas, foi observado que os clones tratados com 185 ºC foram mais susceptíveis ao ataque. No ensaio de preferência alimentar, o clone E (185 ºC), obteve a maior perda massa.

Os fungos de podridão parda causaram maiores danos a madeira dos clones testados, principalmente na temperatura de 200 ºC. Indicando que a modificação térmica proporcionou efeito não desejável, quanto ao ganho de resistência biológica da madeira à essa classe de fungos. No entanto, o fungo *I. lacteus* (podridão banca) consumiu pouco as madeiras, independentemente da situação (clone e temperatura) e madeira de referência (pinus).

Todos os fungos testados causaram variações na cor da madeira. O fungo *I. lacteus* (podridão banca) provocou alterações perceptíveis, enquanto aqueles de podridão parda (G. *trabeum* e o *R. placenta*) promoveram maiores alterações, sendo essas classificada como muito perceptíveis.

A modificação térmica, nas temperaturas e método de aquecimento adotado, influenciou negativamente a resistência biológica da madeira dos três clones de eucalipto testados, tanto para térmitas como para fungos xilófagos.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, N. A. **Biodegradação de produtos à base da madeira de cedro australiano** (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*). 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência da Tecnologia da madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL - **ABTCP**: normas técnicas. São Paulo, 1997.

ARCHER, K.; LEBOW, S. Wood preservation. *In*: WALKER, J. C. F. (Ed.). **Primary wood processing: principles and practice**. Dordrecht: Springer, 2006. p. 297-338.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. AWPA - **E1-16:** Laboratory methods for evaluating the termite resistance of wood-based materials: choice and no-choice tests. AWPA Book of Standards, Birmingham, p 379-384, 2016a.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. AWPA – **E10-16:** Laboratory method for evaluating the decay resistance of wood-based materials against pure basidiomycete cultures: soil/block test. AWPA Book of Standards, Birmingham, p. 406-417, 2016b.

AMERICAN WOOD PROTECTION ASSOCIATION. AWPA – **E30-16:** Standard method for evaluating natural decay resistance of woods using laboratory decay tests. AWPA Book of Standards, Birmingham, p. 494-498, 2016b.

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J. Influência do tempo e temperatura de retificação térmica na umidade de equilíbrio da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 86, p. 255-261, 2010.

BATISTA, D. C. **Modificação térmica da madeira de *Eucalyptus grandis* em escala industrial pelo processo brasileiro VAP HolzSysteme**. 2012. 339 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BATISTA, D. C.; TOMASELLI, I.; KLITZKE, R. J. Efeito do tempo e temperatura de modificação térmica na redução do inchamento máximo da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 3, p. 533-540, 2011.

BOONSTRA, M.J.; TJEERDSMA, B.F. Chemical analysis of heat-treated softwoods. **Holz Roh-Werkst**, v.64, n.1, p.203-212, 2006.

BRISCHKE, C.; MEYER-VELTRUP, L. Modelling timber decay caused by brown rot fungi. **Materials and Structures**, v.49, n.8, p. 3281-3291, 2016.

BROCCO, V. F. **Extratos de resíduos industriais da madeira de teca para proteção da madeira a organismos xilófagos**. 2019. 91f Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2019.

BROWN, H. P. et al. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill,1952. 705 p.

CARVALHO, D.E. et al..Effect of thermal modification in the natural resistance of Eucalyptus grandis and Pinus taeda woods. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.14, n.1, p. e5606, 2019. https://doi.org/10.5039/agraria.v14i1a5606.

CARVALHO, Y.C. et al. Suitable Light Regimes for Filming Termites in Laboratory Bioassays. **Sociobiology**, v.65, n.1, p. 108-111, 2018. https://doi10.13102/sociobiology.v65i1.2095

CARVALHO, W. et al. Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. **Química Nova**, v. 32, n. 8, p. 2191-2195, 2009.

CLAUSEN, C.A. Biodeterioration of wood. *In*: **Wood handbook:** wood as an engineering material. 100 ed. Madison: Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. Chapter 14, p. 1-15. (General Technical Report FPL-GTR-190).

COLLA, W.A.; BERALDO, A.L.; BRITO, J.O. Effects of thermal treatment on the physicochemical characteristics of giant bamboo. **Cerne**, v.17, p.361-367, 2011. https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000300010.

COSTA, A. F. da; GARLET, A.; PRATES, E. M. B. Efeito de tratamentos térmicos sobre a resistência biológica de madeiras da Amazônia. In: ENCONTRO 332 BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 12., 2010, Lavras. **Anais**… Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2010. p. 1-9.

FERREIRA, D. H. A. A. et al. Crescimento e produção de eucalipto na região do médio Paraíba do Sul, RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. e00131315, 2017. https://doi.org/10.1590/2179-8087.131315.

FEITOZA, L. R. et al. Mapa das unidades naturais do Estado do Espírito Santo: informações básicas. Vitória: Incaper, 2010. 56 p. Disponível em: <https://bit.ly/2MPheMX>. Acesso em: 17 mar. 2020.

FREDERICO, P.G.U**. Efeito da região e da maderia de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal**. 2009. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2009.

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. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.02.091.

GÉRARDIN, P. et al. Evolution of wood surface free energy after heat treatment. Polymer Degradation and Stability, **Aubière**, v. 92, n. 4, p. 653-657, 2007.

HULLER, L. A. S. et al. Modificação térmica e propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus cloeziana*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 90, p. 183-188, 2017.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual 2019: ano base 2018**. Disponível em: < https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf >. Acesso em 15 maio 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS / DIVISÃO DE MADEIRA. **IPT/DIMAD D – 2**: Ensaio acelerado de laboratório da resistência natural ou madeira preservada ao ataque de térmitas do gênero *Cryptotermes*. São Paulo: IPT/ DIMAD, 1980. 1p.

KOLLMANN, F. F.P; CÔTÉ JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. v. 1, 592 p.

KVEDARAS, O.L.; BYRNE, M.J.; COOMBES, N.E.; KEEPING, M.G. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. **Agricultural and Forest Entomology**, v.11, n. 3, p. 301-306, 2009. https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2009.00430.x

LIMA, A. C. **Efeito da modificação térmica nas propriedades da madeira de Mogno africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.)**. 2019. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espirito Santo, Jerônimo Monteiro, 2019.

LIMA,J.T.; COSTA-LEONARDO, A.M. Recursos alimentares explorados pelos cupins (Insecta: Isoptera). **Biotica Neotropica**, v. 7, n. 2, p. 243-250, 2007.

LEPAGE, E.; SALIS, A.G.; GUEDES, E.C.R. **Tecnologia de proteção da madeira**. São Paulo: Montana Química S.A., 2017. 225p.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 453p.

MBAMU, M.F.A.U. et al. Propriedades mecânicas em duas espécies de bambu submetidas a tratamentos térmicos. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 37, n.1, p. 1-8.

MEDEIROS NETO, P.N. et al. Relation of physicochemical characteristics on biological resistance of eucalypts woods to xylophagous termites**. Journal of Building Engineering,** JBE-D-21-01283, 2021 (In Press).

MELO, R. R. et al. Efeito do tratamento térmico sobre a resistência da madeira de cambará a cupins subterrâneos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 786-791, 2019.

MENEZES, M. W. et al. Modificação térmica nas propriedades físicas da madeira. **Ciência Rural**, v. 44, n. 6, p. 1019-1024, 2014.

MODES. K.S. **Efeito da retificação térmica nas propriedades físico-mecânicas e biológicas das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis***. 2010. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

MODES, K. S. et al. Influência da termorretificação na resistência a degradação biológica das madeiras de Pinus taeda E Eucalyptus grandis. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 993-1002, 2017.

MOURA, L. F. et al. Effect of thermal treatment on the chemical characteristics of wood from Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden under different atmospheric conditions. **Cerne**, v. 18, n. 3, p. 449-45, 2012. http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602012000300012

MOTTA J. P. et al. Avaliação da resistência ao cisalhamento de juntas coladas com madeira de teca (*Tectona grandis*). **Scientia Forestalis**, v. 42, n.104, p. 615-621, 2014.

NICACIO, M. A. **Efeito de biopartículas de sílica obtidas de casca de arroz no tratamento da madeira de *Pinus elliottii***. 2017. 58f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2017.

OLIVEIRA, J. T. S.; PAES, J. B. Biological resistance of two reforestation woods to dry wood termites. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 4, p. e20170558, 2019. https://doi.org/10.1590/2179-8087.055817

PAES, J.B. et al. Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a térmitas xilófagos. **Cerne**, v.19, n.3, p.399-405, 2013.

PAES J.B. et al. Resistance of thermally treated woods to Nasutitermes corniger in a food preference test, **Madera Bosques**. 21, p157–164, 2015.

PAES, J.B. et al. Resistência natural de nove madeiras do seminário brasileiro a fungos xilófagos em simuladores de campo. **Revista Árvore**, v.33, n.3, p.511-520, 2009

PAES, J.B; VIDAURRE, G.B. Resistência biológica da madeira de espécies de eucalipto ao ataque de cupim de madeira seca. **Scientia Florestalis**, v. 45, n. 113, p. 145-150, mar. 2017.http://://dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n113.14

PAES, J. B.; VITAL, B. R. Resistência natural da madeira de cinco espécies de eucalipto a cupins subterrâneos, em testes de laboratório. **Revista Árvore**, v. 24, n. 1, p. 97-104, 2000.

PAES, J. B.; MELO, R. R.; LIMA, C. R. Resistência natural de sete madeiras a fungos e cupins xilófagos em condições de laboratório. **Revista Cerne**, v.13, n. 2, p. 160-169, 2007.

PAES, J. B; MORAIS, V. M; LIMA, C. R. Resistência natural de nove madeiras do semiárido brasileiro a fungos causadores da podridão mole. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 365-371, 2005.

PESSOA, A.M.C. Avaliação da madeira termorretificada de *Eucalyptus grandis*, submetida ao ataque de cupim de madeira seca, *Cryptotermes brevis*. **Scientia florestalis**, n.72, p.11-16, 2006.

PEREIRA, L. J. **Preservação da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden com o polímero Tanfloc em ensaio de degradação com o fungo *Trametes versicolor* Lygis, V. et al. (2004)**. 2017. 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2017.

PINTO, J.A. **Medidas profiláticas para proteger madeiras à ação de insetos xilófagos**. 2020. 101f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2020.

POUBEL, D. S. et al. Efeito da termorretificação nas propriedades físicas e químicas da madeira de *Pinus caribea*. **Cerne**, v. 19, n. 3, p. 391-398, 2013. http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000300005.

SANTOS, R. C. **Parâmentros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010, 159f. Tese (Doutorado Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

SILVA, J. C. et al. Influência da idade na resistência natural da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden ao ataque de cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*). **Revista Árvore**, v.28, n.4, p.583-87, 2004.

SILVA, L. F. **Avaliação da aptidão da madeira de seis clones de híbridos de *Eucalyptus* para o processamento mecânico**. 2018. 90f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2018.

SILVA, L. F. et al. Deterioration of *Eucalyptus* spp. wood by xylophagous fungi. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 393-400, 2016.

SILVA,S.P.; AKASAKI,J.L.; SANCHES, A.O. Reaproveitamento do resíduo da madeira de eucalipto (RME) para a produção de energia sustentável. **Revista Cientifica**, v.13, n. 28, p 82-98, 2020.

SACCOMAN , N. A. F. et al. Resistance of wood Jatobá lumber by attack of *Rhizoctonia solani*. **Scientia Agrarias**, v. 16, n. 3, p. 360-365, 2017.

SCHMIDT, O. **Wood and tree fungi**: biology, damage, protection and use. Berlin: Springer-Verlag, 2006, p. 135 -146.

STALLBAUN, P. H. et al. Resistência natural da madeira de *Sclerolobium paniculatum* Vogel a cupins em condições de laboratório. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. e20160013, 2017. http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.001316.

STALLBAUN, P. H. et al. Resistência natural da madeira de *Tachigali vulgaris* ao fungo xilófago *Postia placenta*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 459-463, 2016.

STANGERLIN, D.M. **Monitoramento de propriedades de madeiras da Amazônia submetidas ao ataque de fungos apodrecedores**. 2012. 259f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY - **TAPPI**. Test method T 257 om-92: sampling and preparing wood for analysis. Atlanta: Tappi Technology Park, v.1, 1992.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood:** structure, properties, utilization. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494p.

VIVIAN, M. A. 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.

ZABEL, R. A.; MORRELL, J. J. **Wood microbiology**: decay and its prevention. California: Academic Press, 1992, p. 3-44.

ZANUNCIO, A. J. V. et al. Química e colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden termorretificada. **Revista Árvore**, v. 38, n .4, p. 765-770, 2014. http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000400020.

APÊNDICES

Apêndice A – Resumo das análises de variância para a química da madeira.

Fonte de Variação	Grau de liberdade	Quadrados Médios			
		Lignina	Extrativos	Cinzas	Holocelulose
Clone	2	56,37**	11,14**	0,0270**	41,19**
Temperatura	2	3,57**	11,65**	0,0003 ns	14,66**
Clone x Temperatura	4	6,08 **	1,92 **	0,0110**	7,61**
Resíduo	45	0,71	0,39	0,0007	1,17
Total	53				

** significativo (p ≤ 0,01), ns não significativo (p > 0,05).

Apêndice B - Resumo das análises de variância para os ensaios biológicos com térmitas de madeira seca no ensaio de alimentação forçada.

Fonte de Variação	Grau de liberdade	Quadrados Médios			
		Perda de massa	Desgaste	Número de orifícios	Mortalidade
Clone	2	0,002**	0,0861 ns	1,625 ns	100,81 ns
Temperatura	2	0,001ns	0,041 ns	0,244 ns	295,25 ns
Clone x Temperatura	4	0,000ns	0,011 ns	0,077 ns	110,18 ns
Resíduo	45	0,000	0,035	0,075	106,94
Total	53				

** significativo (p ≤ 0,01), ns não significativo (p > 0,05).

Apêndice C - Resumo das análises de variância para os ensaios biológicos com térmitas de madeira seca no ensaio de preferência alimentar.

Fonte de Variação	Grau de liberdade	Quadrados Médios		
		Perda de massa	Desgaste	Número de orifícios
Clone	2	0,047**	2,051 ns	0,037**
Temperatura	2	0,020 ns	1,079 ns	0,005 ns
Clone x Temperatura	4	0,096 ns	2,054 ns	0,005 ns
Bloco	5	0,011 ns	0,140 ns	0,018 ns
Resíduo	40	0,011	0,086	0,027
Total	53			

** significativo (p ≤ 0,01), ns não significativo (p > 0,05).

Apêndice D - Resumo das análises de variância para os ensaios biológicos com térmitas subterrâneas no ensaio de alimentação forçada.

Fonte de Variação	Grau de liberdade	Quadrados Médios		
		Perda de massa	Desgaste	Mortalidade
Clone	2	0,040**	0,058 **	92,93 ns
Temperatura	2	0,033 ns	0,057**	640,28 ns
Clone x Temperatura	4	0,016 ns	0,014**	608,01 ns
Residuo	45	0,010	0,049	336,01
Total	53			

** significativo ($p \leq 0,01$), ns não significativo ($p > 0,05$).

Apêndice E - Resumo das análises de variância para os ensaios biológicos com térmitas subterrâneas no ensaio de preferência alimentar.

Fonte de Variação	Grau de liberdade	Quadrados Médios	
		Perda de massa	Desgaste
Clone	2	0,547**	8,633**
Temperatura	2	0,845**	1,720**
Clone x Temperatura	4	0,601**	2,277**
Bloco	5	0,050	0,031
Resíduo	40	0,049	0,339
Total	53		

** significativo ($p \leq 0,01$).

Apêndice F - Resumo das análises de variância para os ensaios biológicos com fungo o *Gloeophyllum trabeum.*

Fonte de Variação	Grau de liberdade	Quadrados Médios	
		Perda de massa	Variação colorimétrica
Clone	2	845,67**	21,75 ns
Temperatura	2	4343,14**	2,96 ns
Clone x Temperatura	4	200,00**	13,59ns
Resíduo	45	20,65	11,11
Total	53		

** significativo ($p \leq 0,01$), ns não significativo ($p > 0,05$).

Apêndice G - Resumo das análises de variância para os ensaios biológicos com o fungo *Irpex lacteus*

Fonte de Variação	**Grau de liberdade**	**Quadrados Médios**	
		Perda de massa	Variação colorimétrica
Clone	2	5,24**	21,96**
Temperatura	2	11,69**	24,33**
Clone x Temperatura	4	9,85**	4,69 ^{ns}
Resíduo	45	1,60	3,92
Total	53		

** significativo ($p \leq 0,01$), ^{ns} não significativo ($p > 0,05$).

Apêndice H - Resumo das análises de variância para os ensaios biológicos com fungo o *Rhondonia placenta*

Fonte de Variação	**Grau de liberdade**	**Quadrados Médios**	
		Perda de massa	Variação colorimétrica
Clone	2	608,71**	13,21**
Temperatura	2	2444,02**	25,71**
Clone x Temperatura	4	212,63**	29,35**
Resíduo	45	53,44	8,12
Total	53		

** significativo ($p \leq 0,01$).