



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

PEDRO NICÓ DE MEDEIROS NETO

**RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA DE SETE ESPÉCIES DE *Eucalyptus* A
AGENTES XILÓFAGOS**

JERÔNIMO MONTEIRO - ES

2017

PEDRO NICÓ DE MEDEIROS NETO

**RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA DE SETE ESPÉCIES DE *Eucalyptus* A
AGENTES XILÓFAGOS**

Tese 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 obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: Dr. Juarez Benigno Paes

Coorientador: Dr. José Tarcísio da Silva
Oliveira

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

M488r Medeiros Neto, Pedro Nicó de, 1985-
Resistência natural da madeira de sete espécies de Eucalyptus a
agentes xilófagos / Pedro Nicó de Medeiros Neto. – 2017.
123 f. : il.

Orientador: Juarez Benigno Paes.

Coorientador: José Tarcísio da Silva Oliveira.

Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do
Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Madeira. 2. Durabilidade. 3. Agentes xilófagos. 4. Ensaios biológicos.
5. Colorimetria. 6. Correlação linear. I. Paes, Juarez Benigno. II.
Oliveira, José Tarcísio da Silva. III. Universidade Federal do Espírito
Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

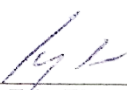
CDU: 630

**RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA DE SETE ESPÉCIES DE *Eucalyptus* A
AGENTES XILÓFAGOS**

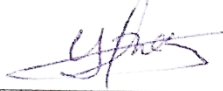
Pedro Nicó de Medeiros Neto

Tese 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 obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

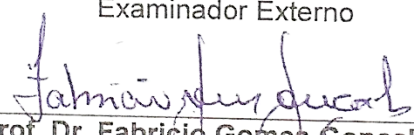
Aprovada em 17 de fevereiro de 2017.



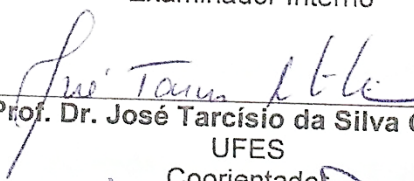
Prof. Dr. Edy Eime Pereira Baraúna
UFMG
Examinador Externo



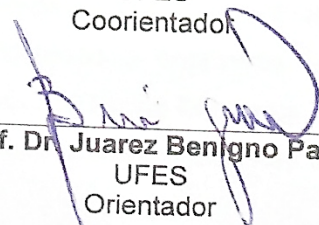
Dr. Yonny Martínez López
UFES
Examinador Externo



Prof. Dr. Fabrício Gomes Gonçalves
UFES
Examinador Interno



Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira
UFES
Coorientador



Prof. Dr. Juarez Benigno Paes
UFES
Orientador

A minha família, que sempre contribuiu para minha educação. Em especial aos meus pais, Francisca Maria (Dona Nêga) e José Santino (Zé Badé), meus irmãos, Francisco José, Pollyana Medeiros e Patrícia Medeiros e sobrinhos Lucas Galvão, Enzo Medeiros, Kailany Nóbrega e Bruna Medeiros, que mesmo à distância, são as inspirações para manter o foco nas batalhas da vida.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, da evolução das espécies, pela curiosidade acusada dos homens e pela sua capacidade crítica e científica.

A empresa Celulose Nipo Brasileira-CENIBRA S.A., em especial ao Dr. Fernando Palha Leite e ao Everton de Souza, pela doação das madeiras de eucaliptos utilizadas neste estudo.

A Universidade Federal do Espírito Santo, ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pela oportunidade e suporte necessário para a realização desta pesquisa.

A Fundação de Amparo e Pesquisa do Espírito Santo, pela disponibilidade de bolsa e taxa de bancada que tanto contribui para realização e divulgação do trabalho.

Ao Professor Dr. Juarez Benigno Paes, pela amizade, paciência, disponibilidade, orientação e conhecimentos transmitidos, um verdadeiro “pai”.

Ao Professor Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira, pela coorientação, disponibilidade e conselhos.

Aos membros da Banca Examinadora, pelas sugestões e disponibilidade.

Aos técnicos de laboratório, Alexandro, José Geraldo, Gilson, Elecy e Gilberto (*in memoriam*), pela ajuda, conselhos e paciência, e demais funcionários do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira.

Aos meus amigos capixabas, em especial: Flavio Cipriano (Flavim), João Gabriel, Vinicius Tinti, Victor Brocco, Brunela Rodrigues, e aos queridos colegas de república: Saulo Boldrini, Leandro Soares, Ramon Oliveira, Jaily Keller, Clailson Franco e Anderson Firmino, que de forma direta ou indireta dividiram suas alegrias e tristezas comigo, como uma verdadeira família.

A dona Vanusi e Seu Otacílio, “pais do Flavim”, que sempre me acolheram de braços abertos em sua casa.

Ao casal Darli e Inês Batistini pela disponibilidade da área, para realização do ensaio de campo em Vargem Alta - ES.

Muito Obrigado!!!

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 GÊNERO <i>Eucalyptus</i>	16
2.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA MADEIRA QUE AFETAM A SUA RESISTÊNCIA NATURAL	17
2.2.1 Massa específica aparente da madeira	17
2.2.2 Composições química e anatômica da madeira	18
2.3 AGENTES BIODETERIORADORES DA MADEIRA	21
2.4 DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA AOS AGENTES XILÓFAGOS	24
2.5 VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA	28
2.6 AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA	32
2.7 PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DA MADEIRA	34
3 METODOLOGIA	36
3.1 ESPÉCIES ESTUDADAS	36
3.2 PROCEDÊNCIA E AMOSTRAGEM DA MADEIRA	36
3.3 CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS E ANATÔMICAS	38
3.3.1 Massa específica básica e análise química	38
3.3.2 Análises anatômicas das espécies	39
3.4 RELAÇÃO CERNE: ALBURNO DAS ESPÉCIES	40
3.5 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM AGENTES XILÓFAGOS	40
3.5.1 Ensaios de alimentação forçada e preferência alimentar a térmitas subterrâneas	40
3.5.2 Ensaio biológico com térmitas de madeira seca	43
3.5.3 Ensaio de resistência natural aos fungos apodrecedores	44
3.5.4 Determinação dos índices colorimétricos das madeiras após ataque fúngico	45
3.5.5 Ensaio em campo de apodrecimento	46
3.5.6 Ensaio em simulador acelerado de campo	49
3.6 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA AOS AGENTES XILÓFAGOS	50
3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS	51

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DAS ESPÉCIES DE <i>Eucalyptus</i>	53
4.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E ANATÔMICAS DAS MADEIRAS	58
4.2.1 Características químicas das madeiras avaliadas	58
4.2.2 Caracterização anatômica das madeiras de eucaliptos	62
4.3 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS XILÓFAGAS	65
4.3.1 Ensaio com térmitas subterrâneas	65
4.3.2 Ensaio com térmitas de madeira seca	69
4.4 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM FUNGOS XILÓFAGOS	72
4.5 VARIAÇÃO COLORIMÉTRICA DA MADEIRA APÓS ATAQUE FÚNGICO	79
4.6 ENSAIOS EM SIMULADOR ACELERADO DE CAMPO E EM CAMPO	84
4.7 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA AOS AGENTES XILÓFAGOS	94
4.8 CORRELAÇÕES ENTRE A DURABILIDADE NATURAL E AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E ANATÔMICAS	96
5 CONCLUSÕES	100
6 REFERÊNCIAS	102
APÊNDICES	117

RESUMO

MEDEIROS NETO, Pedro Nicó de. **Resistência natural da madeira de sete espécies de *Eucalyptus* a agentes xilófagos**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes. Coorientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira.

Os objetivos da pesquisa foram avaliar a resistência natural da madeira de sete espécies de *Eucalyptus* em ensaios com agentes xilófagos em laboratório e campo e correlacionar com as características físico-químicas e anatômicas. Foram amostradas aleatoriamente duas árvores com 12 anos de idade por espécie e retiradas discos a 0 (base), DAP, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial, para determinação das características anatômicas e massa específica básica. Para as análises químicas e ensaios biológicos foi empregada uma tora de 2,20 m obtida da primeira seção de cada árvore. Para os ensaios, foram realizadas amostragens em duas posições na direção medula-casca (cerne mediano e região de transição, contendo cerne e alburno) e realizadas correlações entre a resistência natural e as características físico-químicas e anatômicas. Na análise e avaliação dos ensaios foi empregado o teste de Scott - Knott ($p \leq 0,05$). As relações entre as variáveis estudadas foram realizadas por meio da análise de regressão linear simples. A madeira de *Corymbia citriodora* exibiu a maior massa específica básica e a de *Eucalyptus grandis* a menor. O *E. camaldulensis* teve um maior teor extrativos e menor de holocelulose e, o *C. citriodora*, maior teor de cinzas. Para as demais espécies, os valores entre esses teores foram próximos, e semelhantes entre as posições avaliadas. No ensaio de preferência alimentar as madeiras de *E. robusta*, *E. grandis* e *E. urophylla* foram às mais consumidos pelos térmitas. Já no ensaio de alimentação forçada. No ensaio com térmita de madeira seca o *C. citriodora* foi a menos susceptível ao ataque. O fungo *Trametes versicolor* degradou menos as madeiras provenientes do cerne mediano e, para o *Postia placenta* e *Gloeophyllum trabeum*, na maioria das espécies, o cerne mediano foi menos resistente. O cerne mediano exibiu menor variação de cor depois de atacado pelo *Trametes versicolor* e, para o *Postia placenta* e *Gloeophyllum trabeum* a região de transição foi mais vulnerável à mudança de coloração. Para o ensaio em simulador e de campo, a região de transição exibiu as maiores perdas de

massa. Quanto às correlações, as características químicas foram mais relevantes para os ensaios com térmitas, principalmente de madeira seca. As variáveis anatômicas foram melhores correlacionadas quanto ao ataque fúngico. No geral, ao avaliar o índice de resistência natural da madeira ao ataque dos fungos xilófagos, as madeiras com maior durabilidade foram o *E. camaldulensis* e *C. citriodora* e, o *E. grandis* a menos resistente.

Palavras chave: ensaios biológicos, características da madeira, colorimetria, correlação linear.

ABSTRACT

MEDEIROS NETO, Pedro Nicó de. **Natural resistance of wood of seven species of *Eucalyptus* to xylophagous agents.** 2017. Thesis (Doctor in Forest Science) - Federal University of Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: Prof. Dr. Juarez Benigno Paes. Co-advisor: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira.

This study aimed to evaluate the natural wood resistance of seven *Eucalyptus* wood species in laboratory and field xylophagous tests and to correlate their durability with physical-chemical and anatomical characteristics. Two trees with 12 years old were randomly sampled by species and from each set of discs at 0, DBH, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height, to determine anatomical characteristics and specific gravity. One log of 2.20m obtained from the first section of each tree were used to the chemical analysis and biological tests. For these tests, samples were taken in two positions in the radial direction of the trunk in the pith-bark direction (intermediate heartwood and transition region; containing heartwood and sapwood) and relationship were made among natural resistance and physical-chemical and anatomical characteristics. In the analysis and evaluation of the tests, the Scott - Knott test ($p \leq 0.05$) was used. The relationships among the variables studied were evaluated through simple linear regression. The *Corymbia citriodora* wood exhibited the largest specific gravity and *Eucalyptus grandis* the smaller. The *E. camaldulensis* wood had a higher extractive content and lower holocellulose content and *C. citriodora* wood had higher ash content. *E. camaldulensis* presented the lowest value of holocellulose. For the other species, holocellulose and lignin contents were close, and similar in the positions evaluated. In choice feeding tests, the *E. robusta*, *E. grandis* and *E. urophylla* wood were the most consumed by termites, and *C. citriodora* wood was the least susceptible to attack by dry wood termite and no-choice feeding tests. The fungus *Trametes versicolor* degraded less the wood from the intermediate heartwood. To *Postia placenta* and *Gloeophyllum trabeum* fungi, in most species the intermediate heartwood was less resistant. The intermediate heartwood exhibiting minor color variation for all species attacked by *Trametes versicolor* and for the *Postia placenta* and *Gloeophyllum trabeum* the region transition was more vulnerable to color change. For the soil bed and field decay tests, the transition region exhibited the greatest mass losses. Regarding the relationships, the chemical characteristics were more relevant to the tests with termites, mainly to the dry wood termite. The anatomical variables were

better correlated with the fungal attack on the wood. Overall, when evaluating the natural resistance indexes of woods to xylophagous fungal attack, the species with more durability were *E. camaldulensis* and *C. citriodora* and *E. grandis* the less resistant.

Keywords: biological assay, wood characteristics, colorimetry, linear correlation.

1 INTRODUÇÃO

Os vegetais lenhosos têm sido empregados para diversos fins, sendo uma das fontes mais utilizadas para produção de energia, celulose e papel, material de construção para os meios urbano e rural, indústria moveleira e produtos para fins medicinais. A madeira evidencia sua importância por ser um produto renovável e mais acessível que as outras fontes de matéria-prima, como os combustíveis fósseis e outros materiais de construção (ferro, aço e alumínio), e resulta em uma conscientização ambiental de forma sustentável.

No entanto, a carência de espécies nativas de elevada resistência à degradação biológica, foi um estímulo à busca de outras espécies que pudessem suprir essa demanda. Desta maneira, surgiram os reflorestamentos dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*. Em virtude, dos usos múltiplos da madeira de eucalipto utilizada para diversas finalidades, dentre estas, produção de papéis, óleos essenciais, produtos de higiene, madeira serrada, construção civil, postes, mourões, laminados, carvão, lenha e indústria moveleira, tornaram este gênero com elevado potencial para plantios comerciais.

Outro critério exposto à escolha de espécies com alta resistência natural a organismos xilófagos está relacionado com o consumo crescente de produtos derivados da madeira, que proporciona uma crescente pressão em relação às florestas nativas. Desta forma, os plantios florestais favorecem diretamente a redução de exploração da vegetação nativa.

Todavia, para a escolha de um material genético de elevada qualidade que atenda às expectativas do mercado (rápido crescimento e usos múltiplos), as características físico-químicas e anatômicas estabelecem o padrão que compõem a base para quaisquer estudos tecnológicos que sejam efetuados na madeira, que auxilia à interpretação dos resultados e permite empregá-la corretamente para os diversos usos.

Apesar das diversas aplicações da madeira de eucalipto para distintas finalidades, poucos estudos são relacionados à durabilidade natural com relação ao ataque de agentes biológicos com às demais propriedades e características da madeira. Assim, tornar-se, portanto, essencial o conhecimento de sua resistência natural ao ataque de organismos xilófagos, uma vez que a utilização inadequada de

madeiras que possuem uma baixa durabilidade natural promoverá um maior custo em virtude da baixa vida útil do material, necessitando de reposições e, consequentemente de uma maior exploração dos recursos florestais.

Uma baixa durabilidade natural da madeira, limita sua utilização em diversas finalidades, tais como para fins estruturais e confecção de móveis, e o seu conhecimento contra o ataque de agentes xilófagos, principalmente térmitas e fungos, contribui para o uso correto dos produtos madeireiros, essencialmente nas indústrias de movelaria e na construção civil (SILVA et al., 2004; MORAIS; COSTA, 2007; PAES et al., 2015).

A resistência natural da madeira e de seus produtos manufaturados desempenham um papel fundamental no prolongamento de seu uso, e espécies de baixa resistência à biodegradabilidade limitam suas utilizações. A proteção da madeira contra os agentes biológicos (principalmente, cupins, fungos e coleópteros), requerem a utilização de produtos químicos sintéticos para uma efetiva proteção e que podem propiciar o surgimento de problemas ambientais, resultado dos produtos químicos lixiviados da madeira tratada para o solo (CAO et al., 2011; TASCIOGLU et al., 2012; ISLAM et al., 2013, PLASCHKIES et al., 2014).

Ali et al. (2011) e Meyer et al. (2014) destacam que na avaliação da resistência natural da madeira e derivados aos agentes xilófagos, podem ser realizados os ensaios de campo e laboratoriais. O primeiro proporciona condições mais realistas, em virtude, da madeira estar exposta tanto aos insetos quanto a fungos, mas os resultados demoram mais para serem obtidos e, os ensaios de laboratórios permitem resultados em períodos de teste mais curtos. Assim, são necessárias avaliações comparativas de testes de campo e de laboratório para estimar o desempenho de um material específico em exposição.

Os desafios das pesquisas, com relação aos ensaios de durabilidade natural das madeiras aos fatores edafoclimáticas e biológicos, continua sendo a obtenção de informações que quantifiquem as causas primordiais da baixa ou alta resistência das espécies florestais, de modo que sejam aproveitáveis para predizer a vida útil dos produtos madeireiros. Portanto, é indispensável mais estudos sobre as implicações práticas dos dados coletados dos testes de durabilidade (BRISCHKE et al., 2013a), que são utilizados para comparar a importância do uso da madeira em construções perante outros materiais.

Assim, os estudos nos últimos anos estão concentrados na busca de produtos ambientalmente corretos ou de madeiras mais resistentes ao ataque de agentes xilófagos e neste contexto, este trabalho contempla os principais ensaios realizados para avaliar a biodeterioração da madeira de sete espécies de *Eucalyptus* por fungos e térmitas, os principais agentes que degradam a madeira.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a resistência natural da madeira de sete espécies de eucaliptos em ensaios com agentes xilófagos em nível de laboratório e campo e correlacionar suas durabilidades com as características físico-químicas e anatômicas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar as características físico-químicas e anatômicas das espécies em estudo;
- Verificar a variação da resistência natural das madeiras estudadas nas posições radiais (cerne mediano e região de transição contendo o cerne e alburno);
- Avaliar a variação de cor da madeira após ataque aos fungos xilófagos;
- Relacionar a durabilidade natural com as características físico-químicas e anatômicas das sete espécies de eucaliptos, e,
- Quantificar as madeiras quanto aos parâmetros de qualidade da madeira ao ataque de fungos xilófagos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 GÊNERO *Eucalyptus*

No Brasil, o eucalipto foi introduzido com finalidade comercial em 1904, por Edmundo Navarro de Andrade. O propósito inicial dos plantios era para produção de dormentes, postes e lenha para as locomotivas da Companhia Paulista de Estradas de Ferro (WILCKEN et al., 2008).

Paiva et al. (2011) enfatizaram que desde o ano de 1961 a cultura do eucalipto obteve um elevado impulso, resultante de aumento da qualidade do material genético e melhoria nas técnicas silviculturais, o que gerou incremento na produtividade e projetou o Brasil no setor florestal mundial.

O crescimento populacional no Brasil interligado à atividade econômica implicou na busca de alternativas sustentáveis para a produção de matérias-primas. E neste cenário, o gênero *Eucalyptus* desempenha um importante papel, pois o território brasileiro reúne vantagens excepcionais para o desenvolvimento de árvores deste gênero, como grandes áreas para fins silviculturais, condições de crescimento favoráveis e conhecimentos tecnológicos reconhecidos internacionalmente (SANTOS; LAVORANTI; SALANTE, 2007).

Em relação ao setor brasileiro de florestas plantadas, este vem apresentando aumento de produtividade florestal. Esse incremento é resultante, além dos fatores ambientais favoráveis para a silvicultura, da aplicação de novas tecnologias para aumentar o rendimento florestal, como o melhoramento genético de sementes e clonagem de espécies florestais. Este aprimoramento proporciona ao Brasil a se destacar na produtividade florestal de espécies plantadas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA, 2013; TORRES et al., 2016).

De acordo com a Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2016), o setor brasileiro de florestas plantadas possui uma área de 7,74 milhões de hectares, com crescimento em 2015, de 0,8% em relação ao ano de 2014, que representa 91% da madeira produzida para fins industriais no País. Deste total, os plantios com espécies de eucalipto representaram 72,7%, o que corresponde a 5,63 milhões de hectares.

Desta forma, dentre as florestas plantadas que abastecem a indústria madeireira nacional, comprova-se que o gênero *Eucalyptus* está entre as mais

importantes, em virtude da facilidade de implantação em grandes maciços e versatilidade de aplicação de sua madeira (BATISTA et al., 2010). Também destacam-se outras características citadas por Paiva (2011), como rápido crescimento, curta rotação, adaptação ecológica ao ambiente, madeira de qualidade e, direcionamentos de novos investimentos por parte de empresas de segmentos que utilizam sua madeira como matéria-prima em processos industriais. Assim, esta espécie é uma das mais importantes na indústria madeireira brasileira (BATISTA et al., 2016a).

O potencial de utilização da madeira de eucalipto tem aumentado, principalmente quando é utilizado o conceito de floresta de múltiplo uso. Isto possibilita à exploração de todo o potencial da madeira de eucalipto. Alguns usos tradicionais já estão consolidados, como lenha, carvão e celulose. No entanto, muitos outros usos para a madeira, como postes, dormentes, construção civil, movelaria, componentes estruturais, que podem contribuir com um retorno econômico, precisam ser aprimorados e avaliados (SILVA, 2011), sendo a avaliação da resistência natural da madeira de fundamental importância no uso correto dos produtos provenientes da madeira de eucalipto.

2.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE DA MADEIRA QUE AFETAM A SUA RESISTÊNCIA NATURAL

A seguir serão expostos os principais parâmetros que influenciam na resistência natural da madeira à biodeterioração por agentes xilófagos, dentre estes; massa específica aparente, composição química e anatômica.

2.2.1 Massa específica aparente da madeira

A massa específica aparente é uma das características mais utilizadas para avaliar a qualidade da madeira, por ser de fácil determinação e em virtude de se correlacionar com diversas propriedades físicas, e mecânicas e estrutura anatômica da madeira, sendo definida fisicamente como a relação da massa da amostra por unidade de volume (LIMA et al., 2000; BATISTA et al., 2010; MATTOS et al., 2011; MELO et al.; 2013).

Valério et al. (2008) destacaram que esta característica é influenciada por diversos fatores e varia significativamente em função da idade da planta, procedência, local de origem, espaçamento e taxa de crescimento entre gêneros e espécies e até mesmo entre árvores da mesma espécie e dentro do próprio indivíduo. No entanto, segundo Wenzl (1970) e Brasil et al. (1977), citados por Oliveira (2003), esta não deve ser isoladamente considerada como um único índice de qualidade da madeira, com a necessidade de avaliação da composição química e as características anatômicas.

Madeiras com elevada massa específica, por possuírem uma estrutura menos porosa e frequentemente com elevados teores de substâncias impregnadas nas paredes de suas células são mais resistentes ao ataque de organismos xilófagos (BURGER; RICHTER, 1991). Tais estruturas proporcionam uma redução da difusão de gases que ocasiona uma menor disponibilidade de oxigênio para o crescimento e atividades de biodeterioradores da madeira (DADZIE; AMOAH, 2015).

2.2.2 Composições química e anatômica da madeira

De acordo com Lima et al. (2007); D'Almeida et al. (2013) e Colodette; Gomide e Carvalho (2015) a madeira é um biopolímero tridimensional, constituída quimicamente de pelo menos 5.000 substâncias, com ênfase às estruturais ou primárias, representadas pela celulose, hemiceluloses e lignina e responsáveis pela formação da parede celular e pela maioria de suas propriedades físico-química, mecânicas e energéticas; e em menores proporções o amido, proteínas e substâncias pécicas e pelos componentes secundários, os extrativos, e minerais, que influenciam na durabilidade natural da madeira.

A análise química elementar da madeira revela que a mesma é constituída principalmente, dos seguintes elementos químicos: carbono (49%), oxigênio (44%) e hidrogênio (6%), além desses, o nitrogênio está presente na proporção de 0,1 a 0,3 % e a fração inorgânica (cinzas), entre 0,2 a 0,5 % (D'ALMEIDA et al., 2013). Estes números podem variar, entre as espécies, idade da planta, características do solo, condições climáticas, adubação e tratos silviculturais (OLIVEIRA, 2003; COLODETTE; GOMIDE; CARVALHO, 2015).

Klock e Andrade (2013) definiram a celulose como um polímero linear de alto peso molecular, constituído exclusivamente de β -D-glucose com uma estrutura

organizada e parcialmente cristalina, insolúvel em solventes orgânicos, água, ácidos e bases diluídas, todos à temperatura ambiente, sendo o principal componente da parede celular dos vegetais. As hemiceluloses diferem da celulose por serem constituídas de vários açúcares e ácidos que formam uma estrutura ramificada, amorfa, de cadeia mais curta que envolvem as fibrilas de celulose; com menor grau de polimerização e solúvel em álcali.

A função biológica da lignina nas plantas, é constituir um tecido juntamente com a celulose e as hemiceluloses de elevada resistência mecânica e durabilidade, sendo caracterizada como um polímero natural proveniente da condensação desidrogenativa de três álcoois precursores: trans - coniferílico, trans - sinapílico e p - cumarílico, formados via rota do ácido chiquímico (MORAIS et al., 2005). A lignina de coníferas é resultante da polimerização do álcool coniferílico, base da lignina guaiacila; das folhosas, por meio da co-polimerização dos álcoois coniferílico e sinapílico, sendo o segundo a base da lignina siringila (COLODETTE; GOMIDE; CARVALHO, 2015).

A lignina é classificada em dois grupos principais, as guaiacila (G) e guaiacila - siringila (G-S), além dos seus subgrupos, como 4-hidroxifenila-guaiacila (H-G) e 4-hidroxifenila-guaiacila-siringila (COLODETTE; GOMIDE; CARVALHO, 2015). Além dos seus componentes estruturais principais, a madeira contém outros compostos que não fazem parte da parede celular, de baixos ou médios pesos moleculares, extraíveis em água ou solventes orgânicos neutros, chamados de extrativos, na qual, estão presentes os terpenos, terpenóides, ácidos alifáticos, álcoois, aldeídos, hidrocarbonetos, alcalóides e substâncias fenólicas, destes, os principais grupos de compostos fenólicos em folhosas são os taninos e flavonóides que variam de fenóis simples a sistemas de flavonoides condensados (KOCH; SCHMITT, 2013).

Oliveira et al. (2005) enfatizaram que a quantidade e a qualidade dos extrativos são bastante variáveis de espécie para espécie. As variações nos teores destas substâncias tornam-se evidentes entre indivíduos dentro de uma mesma espécie. Assim, a composição química da madeira varia consideravelmente dentro e entre árvores. Esta variabilidade causa grandes diferenças na durabilidade natural das espécies madeireiras aos agentes xilófagos (SEHLSTEDT-PERSSON; KARLSSON, 2010). Segundo Pala (2007), a ausência de extrativos como, substâncias fenólicas,

taninos, resinas, ceras e gorduras proporciona uma menor durabilidade natural da madeira aos agentes xilófagos.

Os compostos inorgânicos apesarem de normalmente não ultrapassarem teores superiores a 0,5%, apresentam-se de forma muito variada, com os principais cátions o cálcio, potássio, magnésio, sódio, alumínio, ferro, manganês, zinco e cobre, associados aos ânions, oxalatos, sulfatos, fosfatos, nitratos, carbonatos, cloretos e silicatos (D'ALMEIDA et al., 2013; COLODETTE; GOMIDE; CARVALHO, 2015). Estas substâncias podem dificultar a trabalhabilidade da madeira e aumentarem sua resistência natural a organismos xilófagos, em virtude, do desgaste causado pelas cinzas, ao aparelho bucal do inseto, enquanto este degrada a madeira (GONÇALVES et al. 2013; PAES et al., 2013).

Além da influência das características físico-químicas da madeira, Oliveira et al. (2006) destacam que a caracterização anatômica do lenho é de fundamental importância para a determinação de seu aproveitamento tecnológico. Consideram-se que as dimensões, as frequências e o arranjo dos elementos anatômicos têm grande influência nas propriedades físicas e mecânicas da madeira.

O tecido lenhoso das árvores é composto por diferentes tipos de células. As folhosas possuem estrutura mais complexa do que as coníferas, com maior número de tipos de células. Os principais componentes anatômicos das folhosas são os elementos de vasos, responsáveis pela condução de seiva; os fibrotraqueídeos e as fibras libriformes, responsáveis pela resistência mecânica da madeira; o tecido de reserva (parênquima), responsável pelo armazenamento de compostos; e os raios, responsáveis pela transferência de material no sentido radial (BURGER; RICHTER, 1991; OLIVEIRA, 2003; D' ALMEIDA et al., 2013).

Os componentes extraíveis presentes no parênquima são transportados a partir de células vivas para células próximas à zona de transição entre cerne e alburno, onde são convertidos em uma variedade de compostos fenólicos que são exsudados através de pontoações em células adjacentes (ZABEL; MORRELL, 1992; SCHMIDT, 2006; KRETSCHMANN, 2010).

A presença de tecido parenquimático contribui com a redução da durabilidade natural da madeira a organismos xilófagos, por ser uma estrutura que possui facilidade de penetração e principalmente, por apresentar substâncias nutritivas como, amido,

açúcares e proteínas nas suas células, que atraem os insetos, principalmente coleópteros xilófagos (BURGER; RICHTER, 1991).

2.3 AGENTES BIODETERIORADORES DA MADEIRA

A madeira, por ser um material biológico, é susceptível à biodeterioração por uma variedade de agentes xilófagos, e a necessidade de proteger a mesma e evitar elevadas perdas econômicas constitui um grande desafio (SHANBHAG; SUNDARARAJ, 2013). Esta característica biodegradável da madeira a torna um material diferente em relação aos outros principais materiais como, plástico, vidro e metais.

Para Ibach (2005), Brazolin (2007), Koch e Schmitt (2013), Mantanis et al. (2014), Mansour; Salem (2015) e Reinprecht (2016), os agentes biológicos são os principais responsáveis pela deterioração da madeira. Entre estes destacam os fungos que causam manchas, amolecimento e apodrecimento, brocas marinhas, principalmente moluscos e crustáceos, bactérias e os insetos representados por térmitas e besouros (ARCHER; LEBOW, 2006). No entanto os maiores danos econômicos de biodeterioração resultam da decomposição por fungos apodrecedores, que são mais ativos em climas tropicais, em comparação às regiões temperadas e frias (POMETTI et al., 2010; RÄBERG et al., 2013; STIENEN et al., 2014).

Schmidt (2006) destaca que as bactérias surgem na madeira em associação com colonizadores primários e secundários, frequentemente, no contexto da sucessão por fungos. Em folhosas, movimentam-se nos vasos que não estão obstruídos por tiloses, e no lenho outonal das coníferas, apenas alguns traqueídeos são atacados, em virtude dos pequenos espaços livres dentro da membrana das pontuações.

Estes microrganismos degradam madeiras submersas em água ou em plataformas com pulverização de água. As coníferas são mais afetadas que as folhosas, e o alburno mais que o cerne. Dentro do tecido lenhoso, preferencialmente, alimenta-se de açúcares solúveis, presentes nas células do parênquima e também atacam a membrana da pontuação não lignificada (UNGER; SCHNIEWIND; UNGER, 2001; KLAASSEN, 2014). Daniel (2003) enfatiza que estas não degradam ativamente

as regiões da lamela média que contêm altos teores de lignina, em coníferas e folhosas.

Os fungos podem ser divididos em emboloradores, manchadores e apodrecedores (MOTTA et al., 2013). Os dois primeiros descolorem a madeira e ambos vivem dos nutrientes presentes nos lumes das células do parênquima no alburno (sais minerais, amido, açúcares e proteínas). Podem atacar e colonizar coníferas e folhosas, por meio da madeira roliça, serrada e produtos em uso. Não causam nenhum dano, ou um ataque incipiente à parede celular e são classificados como Deuteromicetos e Ascomicetos (SCHMIDT, 2006; MESQUITA et al., 2006, REINPRECHT, 2016).

Entre os fungos apodrecedores, estes podem ser classificados em três principais grupos, de acordo com sua capacidade de degradação do material lignocelulósico, em: podridão branca, parda e mole (BJORDAL; NILSSON, 2002; PALA, 2007).

Shmulsky e Jones (2011); Li et al. (2013) e Bouslimi et al. (2014) salientam que a maioria destes fungos apodrecedores pertence à classe biológica dos Basidiomicetos, mas alguns são Ascomicetos e Deuteromicetos (fungos imperfeitos). Os autores destacam como os gêneros mais comuns os gêneros *Gloeophyllum*, *Polyporus*, *Lentinus*, *Trametes* e *Coniophora*. O ataque destes gêneros variam amplamente quanto à espécie de madeira, condições propícias para seu desenvolvimento (teor de umidade, temperatura, oxigênio e pH), estrutura e propriedades químicas da madeira e diferentes posições nas peças.

Entre estes fungos destacam-se os Basidiomicetos, que são os principais degradadores da madeira (MEYER; BRISCHKE, 2015) e causam danos econômicos consideráveis (STIENEN; SCHMIDT; HUCKFELDT, 2014).

A deterioração por estes ocorre de maneira extracelular, por meio da penetração de suas hifas pelo lume das células, as quais liberam uma variedade de metabólitos extracelulares que ocasionam a degradação dos constituintes da parede celular vegetal, que são inicialmente despolimerizados em componentes susceptíveis ao transporte, e apesar de degradarem holocelulose e lignina, estes exibem diferentes taxas de deterioração para estas substâncias (SILVA et al., 2007a; IBACH, 2005; ARANTES; MILAGRES, 2009).

Os fungos da podridão parda degradam os hidratos de carbono (celulose e hemiceluloses) da madeira, não deteriorando a lignina, que favorece para uma coloração marrom do material. Os de podridão branca decompõem todos os componentes estruturais (celulose, hemiceluloses e lignina) do material lenhoso, tornando-o esbranquiçado (IBACH, 2005; SCHMIDT, 2006; OLIVEIRA et al., 2010; OKINO et al., 2015).

Fungos de podridão mole pertencem às classes Ascomycetos e Deuteromicetos, os quais causam a degradação progressiva das superfícies da madeira para o interior. Os efeitos do ataque são mais lentos para surgirem e menos perceptíveis do que os fungos anteriormente citados (SHMULSKY; JONES, 2011).

Em relação aos insetos, os cupins são os principais biodegradadores da madeira, mas em uma escala, eles causam menos danos que os fungos (CLAUSEN, 2010). Estes utilizam materiais lenhosos tanto como abrigo ou para obtenção de celulose, como fonte de alimento (SHMULSKY; JONES, 2011, REINPRECHT, 2016).

Constantino (2002) destaca que aproximadamente 400 espécies de cupins são registradas para América do Sul, com cinco famílias presentes: Kalotermitidae (53 espécies), Rhinotermitidae (19), Serritermitidae (2), Termitidae (325), e Termopsidae (1). No Brasil constam-se aproximadamente 300 espécies, que se distribuem em quatro famílias: Kalotermitidae, Rhinotermitidae, Serritermitidae e Termitidae (CONSTANTINO, 1999).

Entre as famílias citadas, a Termitidae possui uma vasta quantidade de indivíduos que incluem térmitas subterrâneos e de montículos. Estes são capazes de consumir a madeira, sem a presença de um simbiote intestinal, uma vez que estes podem depender de fungos para converter o material lignocelulósico de uma forma adequada para a sua própria digestão (RICHARDSON, 1993).

O mesmo autor destaca a família Kalotermitidae, que inclui as térmitas de madeira seca, as quais são capazes de se alimentarem da madeira que possui um baixo teor de umidade (< 15%). Nesta família, protozoários simbiotes no intestino grosso dos insetos fornecem enzimas celulasas suficientes para permitir que os mesmos digiram a celulose, embora a lignina não seja consumida.

As espécies desta família, em especial, o *Cryptotermes brevis*, são encontradas principalmente no interior de locais domiciliares, com posterior ataque aos móveis, livros, estruturas de madeira, aglomerados e

compensados (GONÇALVES et al., 2013) e se instalam em madeiras com teores de umidade inferiores a 30%, com ninho dispostos em galerias e colônias formadas por algumas centenas de indivíduos (CABRERA et al., 2001).

No geral, as térmitas subterrâneas geralmente penetram na madeira a partir do solo ou através de conexões que são construídas para alcançar a madeira, com formação de colônias que podem conter centenas de milhares a milhões de indivíduos (JEON; LEE, 2014). Os de madeira seca representam um risco diferente da variedade subterrânea por atacar a madeira acima do solo, diretamente a partir do ar, durante a revoada. Uma vez instalados, estes podem suportar teores de umidade entre 5 e 6 % (SHMULSKY; JONES, 2011).

Ragon, Nicholas e Schultz (2008) destacam que os extrativos presentes no material lenhoso, repelem o ataque de térmitas subterrâneas. No entanto, o mecanismo de como estes constituintes químicos proporcionam resistência às espécies florestais não está explicado.

Outros organismos que utilizam a madeira como fonte de alimento são os coleópteros, com várias famílias e subfamílias com espécies xilófagas, que apresentam uma ampla faixa de degradação da madeira em diversas fases de umidade, dentre estas, as principais são Cerambycidae (vivem em diversos tipos de madeira), Scolytinae e Platypodinae (árvores vivas ou recém-abatidas); Bostrycidae (madeira em processo de secagem); Lyctinae e Anobidae (madeira seca) (LEPAGE et al., 1986).

Morrell (2012) destaca que os coleópteros são a maior ordem de insetos e uma variedade de espécies evoluiu para atacar a madeira. Os besouros podem causar danos diretamente como túnel através da madeira ou como vetores de fungos que, posteriormente, mancham ou causam apodrecimento na mesma. Muitas espécies de besouros depositam seus ovos em árvores mortas ou recém-derrubadas, com formação de túneis, no qual as larvas degradam a madeira, contribuindo, assim, para a ciclagem de nutrientes.

2.4 DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA AOS AGENTES XILÓFAGOS

O termo resistência ou durabilidade natural refere-se ao grau de suscetibilidade da madeira ao ataque de agentes degradadores bióticos, como fungos, insetos e

brocas marinhas, ou abióticos, entre estes, forças mecânicas naturais (ventos) e decomposição física e química (BURGER; RICHTER, 1991, SHMULSKY; JONES, 2011; TOMAZELI et al., 2016). Esta é diretamente influenciada, pela interação das propriedades físico-químicas e anatômicas da madeira, condições ambientais e projeto estrutural (BRISCHKE et al., 2013a).

O seu conhecimento, é de fundamental importância para que se possa recomendar o emprego adequado da madeira, com orientação quanto a sua utilização principalmente na construção civil, e outros objetos madeireiros, e assim, evitam-se gastos desnecessários com a reposição de peças deterioradas e reduzem os impactos sobre as florestas remanescentes (PAES et al., 2009; RODRIGUES, 2010). Oliveira et al. (2005) enfatizaram que madeiras com elevada durabilidade natural aos fungos podem ser destacadas por um alto grau de nobreza, conferindo-lhes um amplo espectro de utilização.

Os agentes xilófagos, principalmente os fungos, que causam a biodeterioração da madeira devem especialmente se adaptar para ultrapassar três principais estratégias de defesa presentes na madeira. Duas destas têm caráter biológico, enquanto a terceira é de origem química (READING et al., 2003).

Segundo os autores anteriormente citados, a primeira e segunda defesas estão relacionadas com a disponibilidade de nutrientes e à presença de compostos tóxicos. O lenho tem um teor muito baixo de nitrogênio (N) e fósforo (P), dois elementos que são importantes para o crescimento de microrganismos. O teor médio de nitrogênio para espécies de folhosas e coníferas é de 0,09% da massa seca, com uma proporção média de carbono:nitrogênio de 600:1. A presença de produtos químicos potencialmente tóxicos no cerne, em folhosas e coníferas, previnem ou limitam o ataque de fungos apodrecedores.

Uma terceira defesa natural está relacionada com a ultraestrutura da parede celular, em que, a lignina por ser uma substância altamente polimerizada, forma um complexo amorfo com as hemiceluloses para interligá-las à celulose, o que reduz a biodisponibilidade da holocelulose, resultante da formação de um tipo de barreira física contra o ataque microbiano (BLANCHETTE; BIGGS, 1992). Zabel e Morrell (1992) destacam que este processo de lignificação proporciona rigidez aos tecidos lenhosos das árvores, em que, o teor de lignina pode variar entre espécies e entre

individuais de uma mesma espécie, sendo a parede celular primária e a lamela média mais resistentes ao ataque de microorganismos.

Madeiras com elevados níveis de lignina do tipo guaiacila, proporcionam uma maior durabilidade natural, em relação à lignina siringila, em virtude, desta ser mais condensada, que confere maior rigidez a parede celular. As células da madeira também podem variar em grau e tipo de lignificação. Em fibras de folhosas possui lignina do tipo siringila, enquanto as paredes dos vasos tendem a possuir lignina guaiacila. De modo semelhante, as células do parênquima radial, do alburno de coníferas, tendem a ser não lignificadas e facilmente degradadas, enquanto traqueídeos radiais adjacentes são lignificados (DANIEL, 2003).

Outras características a serem destacadas são a massa específica e a porosidade, que podem ser utilizadas como fator de comparação entre as espécies florestais com relação à durabilidade natural, em que madeiras mais densas e com menores quantidades de poros oferecem maior resistência à deterioração por fungos e insetos xilófagos (PANSIN; DE ZEEUW, 1980).

No entanto, a durabilidade natural da madeira está relacionada, principalmente, à presença de extrativos tóxicos (MOORE et al., 2015, BRISCHKE et al., 2013a). Estes são particularmente localizados no cerne, proveniente do alburno quando este cessa suas atividades fisiológicas (KLOCK; ANDRADE, 2013). Extrativos que conferem a durabilidade natural de muitas espécies florestais são formados a partir de amido e carboidratos solúveis, que penetram nas paredes celulares (SCHMIDT, 2006).

Pala (2007) e Reinprecht (2016) ressaltam que apesar da madeira ser uma das principais fontes de alimento natural de diversos agentes xilófagos, a intensidade do ataque depende da composição química e morfológica do material e, à presença de concentrações mais elevadas de extrativos proporciona maior durabilidade. Estes componentes secundários podem ser tóxicos para os microrganismos, inibitórios do processo degradativo, exercem um efeito antioxidante e, ou, reduzem a permeabilidade da madeira à água, ao ar ou às hifas dos fungos.

Rowell et al. (2005) enfatizam que os extrativos estão presentes na madeira como monômeros, dímeros e polímeros, na qual, alguns são responsáveis também pela cor, cheiro, e outras propriedades organolépticas da madeira. Estes são classificados em compostos alifáticos (principalmente gorduras e cera), terpenos,

terpenóides e compostos fenólicos, que produzem uma inibição química contra o avanço do ataque de agentes xilófagos (SJÖSTRÖM, 1981).

Os radicais livres, dos fenóis oxidados podem funcionar como inibidores não específicos que afetam indiscriminadamente muitas enzimas de origem fúngicas (BLANCHETTE; BIGGS, 1992). As principais classes de extrativos que contribuem para a durabilidade da madeira ao ataque de agentes xilófagos são principalmente os compostos fenólicos, dentre estes os polifenóis, terpenóides, tropolonas e taninos (SJÖSTRÖM 1981; LEPAGE et al., 1986; BLANCHETTE; BIGGS, 1992; SCHMIDT, 2006; OLIVEIRA et al. 2010; ALMEIDA et al. 2012; MORRELL, 2012; LU et al. 2016).

Os extrativos fenólicos produzidos no parênquima difundem-se para regiões que circundam os traqueídeos (coníferas), fibras e vasos (folhosas), onde são absorvidos pelas paredes celulares da madeira, que passam a apresentar propriedades fungicidas e inseticidas. Algumas espécies produzem uma variedade de compostos tóxicos a fungos, insetos ou brocas marinhas. Em outras, a produção de compostos fenólicos são extremamente limitada ou ausente (LEPAGE et al., 1986; SCHMIDT, 2006; MORRELL, 2012).

Zabel e Morrell (1992) e Schmidt (2006) destacam que os polifenóis incluem os estilbenos e flavonóides, extrativos mais comuns no cerne, que ocorre neste, em quase todas as espécies. Os estilbenos são sintetizados pela via do ácido chiquímico. Estilbenos isolados são tóxicos para bactérias, fungos e insetos, embora a sua capacidade para proteger a madeira variam consideravelmente. Flavonóides incluem muitas fitoalexinas importantes, compostos produzidos pelas plantas em resposta ao ataque microbiano e inibem, por exemplo, os fungos *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor*.

Terpenóides são derivados da condensação de unidades isoprenóides C-5 e podem variar a partir de monômeros de isopreno relativamente voláteis para polímero, monoterpenos, como pineno, que consistem de duas unidades de isopreno. Outro terpenóide importante é a terebintina, uma mistura de terpenos e *tall oil*, um subproduto no processo de polpação Kraft da madeira de coníferas resinosas, constituída por misturas de terpenos e ácidos graxos. Os terpenos são sintetizados por uma variedade de tecidos nas plantas, tais como; os canais resiníferos em coníferas (SJÖSTRÖM,1981; ZABEL; MORRELL,1992).

Segundo os autores acima citados, compostos terpenóides são importantes precursores de extrativos mais tóxicos presentes no cerne da madeira, como; as tropolonas, que causam um aumento na resistência à biodeterioração. Estas são derivadas de terpenóides, os quais são sintetizados a partir da acetilcoenzima A (Acetil- CoA).

Assim, para conferir resistência aos agentes xilófagos, os extrativos devem possuir propriedades antioxidantes e antifúngicas e, quando as madeiras não possuem extrativos com estas propriedades ou em níveis baixos, quando comparado com espécies que apresentam tais substâncias em maiores quantidades, essas são mais susceptíveis ao ataque de agentes xilófagos (CLAUSEN, 2010; LEBOW, 2010; KOCH; SCHMITT, 2013).

A utilização de espécies vegetais naturalmente duráveis possuem vantagem adicional em relação à madeira tratada quimicamente, por não haver quaisquer problemas de eliminação no decorrer dos anos de sua utilização (SUNDARARAJ et al., 2015). Assim o termo durabilidade natural é um significativo fator para a conservação florestal e ambiental.

2.5 VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA

Em uma peça de madeira há variação na resistência natural proveniente da porção interna do cerne, formada durante o período juvenil da árvore, sendo menos resistente à biodeterioração que à proveniente do cerne externo, região fronteira com o alburno, formada na fase adulta. Porém, nem todas as espécies possuem este padrão de variação, e em algumas, a região próxima à medula é tão resistente quanto à externa do cerne, enquanto a madeira de alburno é suscetível à biodeterioração (SCHEFFER, 1973; PANSIN; DE ZEEUW, 1980; FINDLAY, 1985; PAES et al., 2007).

O cerne normalmente é a zona de coloração mais escura, resultante de metabólitos secundários (extrativos), localizados na parte central do tronco na maioria das espécies florestais e fisiologicamente formado a partir do alburno, resultado da diminuição do teor de umidade, morte das células do parênquima e principalmente, aumento no teor dos extrativos, que o tornam com maior durabilidade natural aos

agentes xilófagos, quando comparado ao alburno (KOCH; SCHMITT, 2013; SILVA et al., 2014; LU et al., 2016).

A decomposição natural do cerne é afetada pelas diferentes características dos extrativos, tipo de agente biodeteriorador responsável pelo ataque, e às condições de exposição do material (CLAUSEN, 2010).

Em oposição, o alburno de praticamente todas as espécies de madeira demonstra alta susceptibilidade à deterioração por organismos xilófagos, independentemente da durabilidade do cerne (RÄBERG et al., 2005). A proporção de cerne e alburno depende da espécie e varia na árvore, em função da idade, local, solo e condições climáticas e, em geral, a madeira mais jovem apresenta maior porcentagem de alburno (PAES et al., 2002; 2007; EVANGELISTA, 2011). Esta baixa resistência do alburno pode ser decorrência de sua maior permeabilidade e à presença de carboidratos armazenados, que são fatores favoráveis ao ataque por agentes xilófagos (KOLLMANN; COTÊ JUNIOR, 1968).

A madeira intermediária é definida como as camadas internas do alburno que representam a transição entre cerne e alburno com cor e características gerais, e possui um teor de umidade inferior ao alburno e semelhante ao cerne (HILLIS, 1987). Estas diferenças na durabilidade natural em uma peça de madeira estão associadas com modificações químicas e fisiológicas resultantes da formação do cerne, com o surgimento de substâncias tóxicas que conferem durabilidade a certas madeiras, além de modificar sua coloração (LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2009; MOYA et al., 2014).

A durabilidade natural é caracterizada por uma grande variabilidade entre espécies e entre indivíduos da mesma espécie, que reflete o potencial genético de determinada árvore e as condições ambientais do seu desenvolvimento (ZABEL; MORRELL, 1992).

Lepage et al. (1986) e Zabel e Morrell (1992) destacam que a resistência à biodeterioração aumenta a partir do câmbio para a região de transição entre cerne e alburno e diminui próxima à medula. Este declínio é resultante provavelmente do reflexo de desintoxicação biológica ou oxidação natural de extrativos presentes no cerne, com a polimerização contínua destes compostos secundários que produzem substâncias menos tóxicas. Assim, a atividade microbiana pode reduzir a durabilidade do cerne ao longo dos anos. A durabilidade também varia com a altura do tronco da árvore, com a madeira mais durável próximo à base da árvore.

Na Tabela 1 pode ser observada a diferença de durabilidade natural da madeira aos agentes xilófagos entre as posições cerne e alburno de algumas espécies nativas e exóticas em diferentes idades, ensaios biológicos, origem do material avaliado e a fonte dos dados coletados.

Tabela 1 - Distinção da resistência natural da madeira a agentes xilófagos entre cerne e alburno de algumas espécies nativas e exóticas.

Espécies Avaliadas	Idade (Anos)	Ensaio Biológico	Origem do Material	Perda de Massa (%)		Fonte
				Cerne	Alburno	
<i>Leucaena leucocephala</i>	----	Fungo xilófago	Paraíba	8,81	24,22	Paes et al. (2007)
<i>Cordia trichotoma</i>	----	Fungo xilófago	Paraíba	3,43	19,01	Paes et al. (2007)
<i>Mimosa tenuiflora</i>	----	Fungo xilófago	Paraíba	0,64	1,46	Paes et al. (2007)
<i>Caesalpinia echinata</i>	25	Fungo xilófago	São Paulo	0,35	5,68	Silva et al. (2007a)
<i>Prosopis juliflora</i>	----	Simulador de campo	Paraíba	5,59	7,50	Paes et al. (2009)
<i>Anadenanthera colubrina</i>	----	Simulador de campo	Paraíba	4,73	5,37	Paes et al. (2009)
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>	----	Simulador de campo	Paraíba	2,44	3,10	Paes et al. (2009)
<i>Luehea divaricata</i>	----	Campo de apodrecimento	Rio Grande do Sul	29,85	41,87	Melo et al. (2010)
<i>Carya illinoensis</i>	----	Campo de apodrecimento	Rio Grande do Sul	28,70	43,86	Melo et al. (2010)
<i>Platanus x acerifolia</i>	----	Campo de apodrecimento	Rio Grande do Sul	33,75	38,37	Melo et al. (2010)
<i>Pinus elliottii</i>	21	Térmita xilófaga	Rio de Janeiro	3,85	-----	Rodrigues; Brito(2011)

Tabela 1 - continuação...

<i>Corymbia citriodora</i>	21	Térmita xilófaga	Rio de Janeiro	2,89	-----	Rodrigues; Brito(2011)
<i>Eucalyptus urophylla</i>	21	Térmita Xilófaga	Rio de Janeiro	2,89	-----	Rodrigues; Brito(2011)
<i>Luehea divaricata</i>	----	Fungo xilófago	-----	2,02	-----	Modes et al. (2012)
<i>Peltophorum dubium</i>	----	Fungo xilófago	-----	4,39	-----	Modes et al. (2012)
<i>Eucalyptus grandis</i>	----	Fungo xilófago	-----	6,06	-----	Modes et al. (2012)
<i>Tectona grandis</i>	15	Térmita xilófaga	Minas Gerais	0,75	26,73	Motta et al. (2013)
<i>Tectona grandis</i>	15	Fungo xilófago	Minas Gerais	3,47	24,71	Motta et al. (2013)
<i>Anadenanthera colubrina</i>	----	Térmita xilófaga	Paraíba	0,77	0,90	Paes et al. (2013)
<i>Amburana cearensis</i>	----	Térmita xilófaga	Paraíba	17,54	50,77	Paes et al. (2013)
<i>Eucalyptus Camaldulensis</i>	----	Térmita xilófaga	Paraíba	96,25	100	Paes et al. (2013)
<i>Tectona grandis</i>	20	Térmita xilófaga	Minas Gerais	1,16	7,51	Brocco (2014)

Fonte: o autor.

Foi observado na Tabela 1, que o cerne exibiu maior resistência natural aos agentes xilófagos que o alburno, no entanto, a variação da durabilidade natural da madeira entre e dentro das espécies é proveniente dos diversos constituintes químicos presentes no lenho, dentre estes, o teor de extrativos desempenha o principal papel em termos de durabilidade, mas existem outras características da madeira que também exercem influência na susceptibilidade das árvores ao ataque de agentes xilófagos, como as características anatômicas (PAES, 2007; CLAUSEN, 2010; KOCH; SCHMITT, 2013; REINPRECHT, 2016).

Ali et al. (2011) ao avaliarem a durabilidade natural de cinco espécies de madeira originárias de Moçambique por métodos de laboratório e testes de campo

com térmitas e fungos xilófagos, concluíram que a madeira proveniente do cerne apresentou menor perda de massa quando comparada a do albúrneo.

2.6 AVALIAÇÃO DA DURABILIDADE NATURAL DA MADEIRA

Para avaliação da durabilidade natural das madeiras, estas são expostas a uma gama de agentes físicos, químicos e biológicos do ambiente e do solo, em ensaios laboratoriais e em campo, que frequentemente possuem elevados riscos de biodeterioração, ao possibilitarem o contato da madeira com o solo, insetos ou inoculação com microorganismos (PAES et al., 2007; 2009; BRISCHKE et al., 2013a).

Nos testes de campo, apesar das madeiras permanecerem expostas as condições edafoclimáticas e biológicas que poderiam ocorrer durante seu uso, estes demandam um período mais prologado da sua avaliação, que resulta em aumento de custos (PAES et al., 2012). Madeiras nesta situação estão expostas às condições irregulares de precipitação, secagem, exposição à luz solar, além de inúmeros agentes xilófagos que poderão atuar simultaneamente (MELO et al., 2010).

Apesar dos ensaios em laboratórios permitirem situações claramente definidas e um alto nível de reprodutibilidade da biodeterioração ocasionados pelos agentes xilófagos, estes possuem algumas desvantagens, tais como; a impossibilidade de reproduzirem completamente as condições iguais as presentes no ensaio de campo, existência do risco de fornecerem cenários de testes severos em termos de umidade e temperatura, ideais para o agente biodeteriorador, ou o número limitado de espécimes nos ensaios (BRISCHKE; MEYER; BORNEMANN, 2013).

Um ensaio intermediário entre os dois métodos expostos anteriormente, são os simuladores de campo, que possuem resultados mais próximos do apodrecimento das madeiras às condições reais, quando comparado aos testes tradicionais de laboratório, e propicia o aumento na economia de tempo e redução de custos das pesquisas, com uso de amostras de menores dimensões, em relação, aos ensaios de campo (PAES et al., 2009; 2012).

Estes têm como objetivo primordial ocasionar o acréscimo da taxa de biodeterioração da madeira, e permite que as condições ofertadas durante o ensaio (temperatura e umidade) possam reproduzir a deterioração representativa alcançada em situações de campo (NICHOLAS; CRAWFORD, 2003). No entanto, devem ser

utilizados como ensaios de triagem de madeiras quanto à durabilidade natural, em virtude, do seu potencial limitado para fornecer informações realistas do ambiente natural (BRISCHKE; MEYER; OLBERDING, 2014).

Os métodos mais utilizados para avaliar a durabilidade da madeira são a avaliação visual, análise de imagem, avaliação microscópica, perda de massa, e testes de resistência mecânica. Estes detectam a extensão do apodrecimento, mas somente a avaliação visual e microscópica, por exemplo, podem constatar que fungos são os responsáveis pela deterioração (RABERG et al., 2005).

Assim, os procedimentos de avaliação da resistência natural para testes em campo estão relacionados as medidas objetivas ou subjetivas de perda de resistência da madeira, enquanto, para testes laboratoriais, a perda de massa é frequentemente empregada. Ambos utilizam avaliação do desgaste por meio de notas, que representam níveis de biodeterioração (BRISCHKE et al., 2013a). Na Tabela 2, constam algumas características dos principais métodos de avaliação da durabilidade da madeira aos agentes xilófagos.

Tabela 2 - Características dos métodos de ensaios utilizados para avaliar a durabilidade da madeira.

Método	Subjetivo	Objetivo	Rapidez	Qualitativo	Quantitativo
Avaliação visual	X		X		X
Análise macroscópica	X			X	
Teste de arrancamento	X		X		X
Perda de densidade		X	X		X
Perda de massa		X	X		X
Teste de resistência		X			X
Teste acústico		X	X		X

Fonte: adaptado de RÄBERG et al. 2005.

Dentre estes métodos, a análise atribuída por meio de notas (análise visual) é um dos principais critérios utilizados para avaliar a durabilidade das madeiras em ensaios de campo de apodrecimento, que consistem em empregar amostras de grandes dimensões, nas quais são realizadas avaliações periodicamente, que são reinseridas no ambiente de teste (MELO et al., 2010).

Como exemplos, da importância da avaliação da madeira, quanto à resistência natural na escolha de espécies de maior durabilidade natural, Silva; Caballeira Lopez; Oliveira (2004) ao avaliarem a madeira de *Eucalyptus grandis* com idades de 10, 14, 20 e 25 anos a térmitas de madeira seca *Cryptotermes brevis* em amostras obtidas na região próxima ao cerne mais externo, concluíram que a espécie, independentemente das idades estudadas, mostrou-se altamente suscetível ao ataque.

Paes e Vital (2000) ao realizarem ensaios de resistência natural em cinco espécies de *Eucalyptus* com 21 anos de idade a cupins subterrâneos do gênero *Nasutitermes*, constataram que o *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla* foram as madeiras com menor resistência detectada nas posições internas do cerne. As espécies *Eucalyptus cloeziana*, *Corymbia citriodora* e *Corymbia maculata* praticamente não foram atacadas pelas térmitas, avaliada pelo alto índice de mortalidade dos insetos, não havendo diferença em termos de resistência para as amostras obtidas dos cerne interno e externo.

2.7 PARÂMETROS COLORIMÉTRICOS DA MADEIRA

Uma das ramificações da ciência que realiza a medição de cores é conhecida como colorimetria. Na madeira a determinação da cor, torna-se evidente, por ser um dos primeiros contatos visuais com o material, sendo um dos parâmetros utilizados para a classificação da madeira quanto à finalidade de uso (MARTINS, et al., 2015).

A coloração da madeira normalmente tem tonalidades que vão do bege claro ao marrom escuro, com variações com espécies madeiras de tonalidades amareladas, avermelhadas, arroxeadas e alaranjadas, resultante da sua composição química, caracterizados principalmente como extrativos (MORI et al. 2005).

Esta pode ser determinada por meio de espectrofotômetros ou colorímetros. O segundo não tem a possibilidade da obtenção de uma resolução espectral da cor do objeto, em razão da ausência de dados de refletância espectral (STARGERLIN, 2012). Segundo o mesmo autor, para ocorrência desta característica, são fundamentais três parâmetros: da fonte luminosa, do objeto e observador. No entanto, ao determinar a cor de um determinado material utilizando somente o aspecto visual, torna-se particular da capacidade de cada observador e o ambiente onde está sendo realizada

a avaliação. Desta forma, uma técnica que pode ser utilizada é a colorimetria, no qual gera dados quantitativos dos parâmetros colorimétricos.

Em adição às características intrínsecas da madeira que afetam sua coloração, como os compostos químicos, esta pode ser alterada por fatores externo tais como: temperatura, teor de umidade, tratamento térmico, produtos de acabamentos, tratamento químico, reações fotoquímicas e deterioração causada por agentes xilófagos, principalmente, fungos (CAMARGO; GONÇALEZ, 2001; MONTES et al., 2013).

A colorimetria é uma técnica que utiliza como base o sistema da Comissão Internacional de Iluminantes (CIE Lab), um dos mais utilizados para quantificação e medição da cor por meio de coordenadas cromáticas L^* , a^* , b^* , C^* e h . Os colorímetros impede as oscilações da iluminação do dia, possui a mesma sensibilidade apresentada pelo olho humano e registra minuciosas diferenças entre as cores (MORI et al., 2005). Esse sistema define a sensação da cor com base em três elementos: a luminosidade ou claridade, a tonalidade ou matiz e a saturação ou cromaticidade (CAMARGO; GONÇALEZ, 2001). Estes parâmetros são utilizados para correlacionar a cor da madeira com o teor de extrativos em espécies tropicais comerciais (KOCH; SCHMITT, 2013).

O L indica a claridade que varia entre 0 (preto) e 100 (branco). O a^* e b^* são coordenadas cromáticas, em que o a^* corresponde à matriz verde - vermelho, em que o número positivo indica o vermelho e o negativo, o verde. O b^* revela a matriz azul-amarelo, e o número positivo estabelece o amarelo e o negativo, o azul. O C (saturação) indica a pureza da cor, enquanto o ângulo de tinta (H) determina o predomínio de determinada tonalidade de cor (SCHIMLECK et al., 2009; PINCELLI et al., 2012; ZANUNCIO et al., 2014; DELUCIS et al., 2016).

A biodeterioração da madeira por fungos xilófagos ocasiona alterações na sua coloração e seus subprodutos (SOUZA et al., 2010; COSTA et al., 2011; ALMEIDA et al., 2012; STANGERLIN, 2013). As alterações na cor da madeira, submetidas ao ataque de fungos xilófagos, são dependentes do tipo de fungo, em virtude da variabilidade do ataque aos constituintes químicos da madeira (COSTA, 2009).

3 METODOLOGIA

3.1 ESPÉCIES ESTUDADAS

Nesta pesquisa foi avaliada a resistência natural de sete espécies de eucalipto, pertencentes aos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia*, como o *Eucalyptus camaldulensis*; *Eucalyptus grandis*; *Eucalyptus urophylla*; *Eucalyptus robusta*; *Eucalyptus saligna*; *Eucalyptus pellita* e *Corymbia citriodora*, a fungos e térmitas xilófagos, em ensaios de laboratório e campo.

Como padrão de comparação foi avaliada a durabilidade natural da madeira de *Pinus elliottii*, com 21 anos de idade, proveniente do Complexo Agroindustrial Pindobas, município de Venda Nova do Imigrante, ES, considerada um espécie de baixa resistência natural.

3.2 PROCEDÊNCIA E AMOSTRAGEM DA MADEIRA

Para o estudo foram tomadas aleatoriamente duas árvores por espécie, que representavam o diâmetro médio de cada espécie do plantio florestal, de origem seminífera, com boa fitossanidade e com idade de 12 anos, provenientes de uma coleção florestal da Empresa Florestal Celulose Nipo Brasileira - CENIBRA S.A., município de Guanhães, Minas Gerais (Latitude de 18° 46' 16" Sul, Longitude de 42° 55' 55" Oeste e a 744 metros de altitude).

De cada árvore foi retirado um disco com 5,0 cm de espessura, no diâmetro a altura do peito (DAP, 1,30 m do nível do solo) e nas posições a 0 (base), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco, considerado um diâmetro mínimo de 6,0 cm e medidos os diâmetros com e sem casca nestas posições, para o cálculo do volume de madeira e de casca por meio da equação de Smalian.

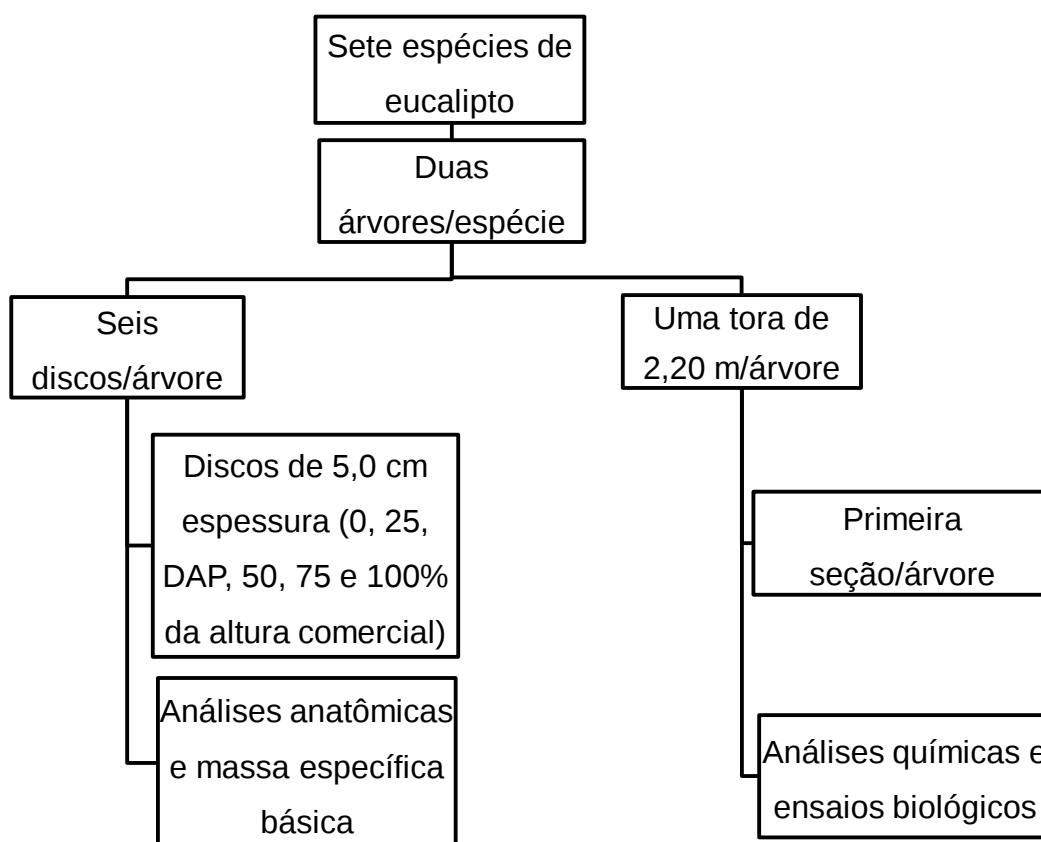
Os discos foram subdivididos em quatro partes, em forma de cunha, passando pela medula. Duas destas, diametralmente opostas, foram utilizadas para a determinação da massa específica básica e, o restante reservado para necessidade de repetição de alguma análise. O disco do DAP foi utilizado para os estudos anatômicos. Para as análises químicas, ensaios biológicos em laboratório com fungos

e térmitas e de campo empregou-se uma tora de 2,20 m obtidas da primeira seção de cada árvore.

Para estes ensaios, foram realizadas amostragens em duas posições no sentido radial do tronco na direção medula-casca (cerne mediano e região de transição, contendo cerne e alburno), em virtude do diâmetro das espécies de eucaliptos estudadas. Para a madeira de pinus, foram obtidas amostras da parte interna e externa, no sentido medula-casca, que representaram no trabalho como região de cerne e transição, devido à dificuldade de diferenciação nesta madeira.

Posterior realização dos ensaios biológicos, foram realizadas correlações entre a resistência natural e as características físico-químicas e anatômicas para cada posição avaliada. Na Figura 1 é esquematizado um organograma para uma melhor compreensão da amostragem na pesquisa.

Figura 1 - Organograma de amostragem para avaliação físico-química, anatômica e ensaios biológicos das espécies estudadas.



Fonte: o autor

Para os experimentos com fungos e térmitas utilizaram-se 10 repetições para cada posição, totalizando 20 amostras para cada espécie estudada. As amostras foram lixadas para eliminar defeitos e secas em estufa à temperatura de 103 ± 2 °C, até atingirem massa constante, pesadas em balanças de 0,01g de precisão e destinadas à montagem dos ensaios biológicos.

3.3 CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS E ANATÔMICAS

A seguir serão demonstrados os principais procedimentos adotados para a determinação da massa específica básica, análises química e anatômicas das espécies avaliadas.

3.3.1 Massa específica básica e análise química

O volume do corpo de prova foi medido de acordo com o método da balança hidrostática. Para a determinação da massa específica básica de cada árvore foi utilizada a média ponderada, ao considerar o volume entre as seções de onde foram retirados os discos como fator de ponderação (VITAL, 1984).

Foi realizada uma amostragem dos corpos de prova remanescentes de cada ensaio biológico, em que, estes foram transformados em palitos e posteriormente em serragem em moinho do tipo Willey, para a realização da análise química da madeira.

A serragem utilizada foi a que passou pela peneira de 40 e ficou retida na de 60 *mesh* e condicionadas a uma umidade relativa de $65 \pm 5\%$ e temperatura de 25 ± 2 °C. A determinação da massa absolutamente seca das amostras foi realizada de acordo com a *Technical Association of the Pulp and Paper Industry-TAPPI-T 264 om - 88* (1996). O teor de extrativos totais da madeira foi efetuado segundo a *American Society for Testing and Materials ASTM D-1105* (2013).

O teor de lignina foi determinado pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1983). Do filtrado restante da análise da lignina Klason foi realizada a leitura em espectrofotômetro, para determinação da lignina solúvel em ácido, conforme Goldschimid (1971).

O teor de holocelulose foi obtido por diferença a partir da expressão: Holocelulose (%) = {100 - [extrativos (%) + lignina (%) + cinzas (%)]}. A determinação do teor de cinzas ou minerais da madeira foi efetuada segundo a ASTM D-1102 (2013).

3.3.2 Análises anatômicas das espécies

Para caracterização microscópica das madeiras foram utilizadas as recomendações da *Comisión Panamericana de Normas Técnicas-COPANT* (1974) e a lista de características microscópicas para a identificação de madeira da Associação Internacional de Anatomistas de Madeira (IAWA COMMITTEE, 1989).

Para a mensuração dos componentes anatômicos (vasos, raios e fibras), corpos de prova foram obtidos nas direções transversais e longitudinal tangencial localizados no cerne mediano e região de transição entre cerne e alburno nos discos do DAP. As amostras depois de amolecidas em água à temperatura de ebulição, com posteriores cortes histológicos de 18 a 20 µm de espessura realizados em micrótomo de deslize, foram sequencialmente montadas as lâminas temporárias, utilizando glicerina e água destilada na proporção de 1:1.

A mensuração dos componentes anatômicos foi realizada por meio de fotomicrografias obtidos dos planos nas lâminas temporárias, por meio de uma câmera fotográfica digital, acoplada a um microscópio óptico.

Para avaliação quantitativa dos elementos anatômicos das madeiras foi usado um *software* analisador de imagem (Image-Pro Plus 4.5). Desta forma, foi possível analisar as seguintes variáveis: diâmetro e frequência dos vasos (µm e número de vasos mm⁻²), e para os raios, foram mensurados a altura (µm e número de células), largura (µm) e frequência (número mm⁻¹), sendo realizadas para cada variável 20 repetições.

A mensuração das fibras seguiu o método proposto por Nicholls e Dadswell (1962) descrito por Ramalho (1987). Este procedimento, conhecido como maceração, consiste em obter fragmentos de madeira e transferi-los para frascos de 25 mL contendo solução macerante de ácido acético e peróxido de hidrogênio na proporção de 1:1. Estes recipientes foram lacrados e colocados na estufa a 60 ± 2 °C por 48 horas.

Após o término da maceração, o material foi lavado com água corrente, colorido com o corante safranina e preparadas lâminas em glicerina para obtenção das fotomicrografias, seguindo o mesmo procedimento anterior citado para a caracterização de vasos e raios.

3.4 RELAÇÃO CERNE:ALBURNO DA ESPÉCIES

Na determinação da relação cerne: alburno das madeiras, os discos foram mensurados nas posições 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial das árvores, e obtido o diâmetro médio destes sem casca e o diâmetro médio do cerne, ao realizar a medição do maior e menor diâmetro com régua graduada em milímetros.

Assim, foi calculado o volume de madeira sem casca e o volume do cerne ao ser empregado o método de Smalian, sendo o volume de alburno obtido pela diferença entre estes valores. Os teores de cerne e alburno foram determinados por meio das Equações 1 e 2.

$$\% \text{ cerne} = \frac{V_{\text{cerne}} * 100}{V_{\text{madeira s/c}}} \quad (1)$$

$$\% \text{ alburno} = \frac{V_{\text{alburno}} * 100}{V_{\text{madeira s/c}}} \quad (2)$$

em que: V_{cerne} : volume de cerne (m^3); V_{alburno} : volume de alburno (m^3); e $V_{\text{madeira s/c}}$: volume de madeira sem casca (m^3).

3.5 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM AGENTES XILÓFAGOS

Para avaliação da resistência natural aos agentes xilófagos realizaram-se ensaios em nível de laboratório com térmitas, fungos apodrecedores, simulador de campo e em campo de apodrecimento.

3.5.1 Ensaios de alimentação forçada e preferência alimentar as térmitas subterrâneas

As colônias das térmitas utilizadas nos ensaios foram coletadas nas proximidades do município de Jerônimo Monteiro, ES. Para o ensaio de alimentação

forçada e preferência alimentar foi utilizada a espécie de térmita *Nasutitermes corniger*, representando o de solo. Para o ensaio de alimentação forçada foram seguidas as recomendações da ASTM D-3345 (2008).

Neste ensaio, foram adicionados em cada frasco um corpo de prova e $1 \pm 0,05$ g da térmita, o que correspondeu a ± 260 térmitas, na proporção de 90% de operários e 10% de soldados (proporção existente na colônia). O ensaio permaneceu em sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa) durante 28 dias, quando foi avaliada a durabilidade natural das madeiras em função da perda de massa (%), desgaste (nota) dos corpos de prova e mortalidade das térmitas (%) (Tabela 3).

Tabela 3 - Avaliação do desgaste nos corpos de prova 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: Adaptado de ASTM D - 3345 (2008).

Para o ensaio de preferência alimentar às térmitas *Nasutitermes corniger*, a colônia foi disposta sobre uma grelha de 30 x 40 cm, sustentada por dois tijolos de oito furos apoiados sobre a camada de areia presente na caixa, conforme ilustrado na (Figura 3).

As amostras ficaram expostas à ação das térmitas durante 45 dias, em uma sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa). Estas ficaram dispostos em uma caixa com capacidade de 250 litros, contendo uma camada de ± 10 cm de areia úmida. A caixa ficou apoiada sobre quatro blocos cerâmicos colocado em

bandejas de plástico de 26 x 35 x 4,5 cm, conforme metodologia descrita por Paes et al. (2007; 2010).

As amostras foram fixadas, tendo a metade do seu comprimento soterrado na areia, e distribuídas em delineamento em bloco casualizado com arranjo fatorial, com cinco blocos (repetições), duas posições no sentido medula-casca e oito tratamentos (espécies), mantendo um espaçamento de 4,5 cm (entre blocos) e 6,0 cm (entre amostras).

Após o término do ensaio, as amostras foram limpas com uma escova de cerdas macias para retirar o excesso de areia e excrementos, secas em estufa a 103 ± 2 °C até atingirem massas constantes, e estimadas a perda de massa (%) e o desgaste (nota). Estas notas foram atribuídas por cinco avaliadores, de maneira individual, em função da atividade biológica ocorrido nas amostras, sendo as amostras avaliadas segundo a ASTM D-3345 (2008) (Tabela 3).

Figura 3 - Disposição da colônia de térmitas em ensaio biológico de preferência alimentar.



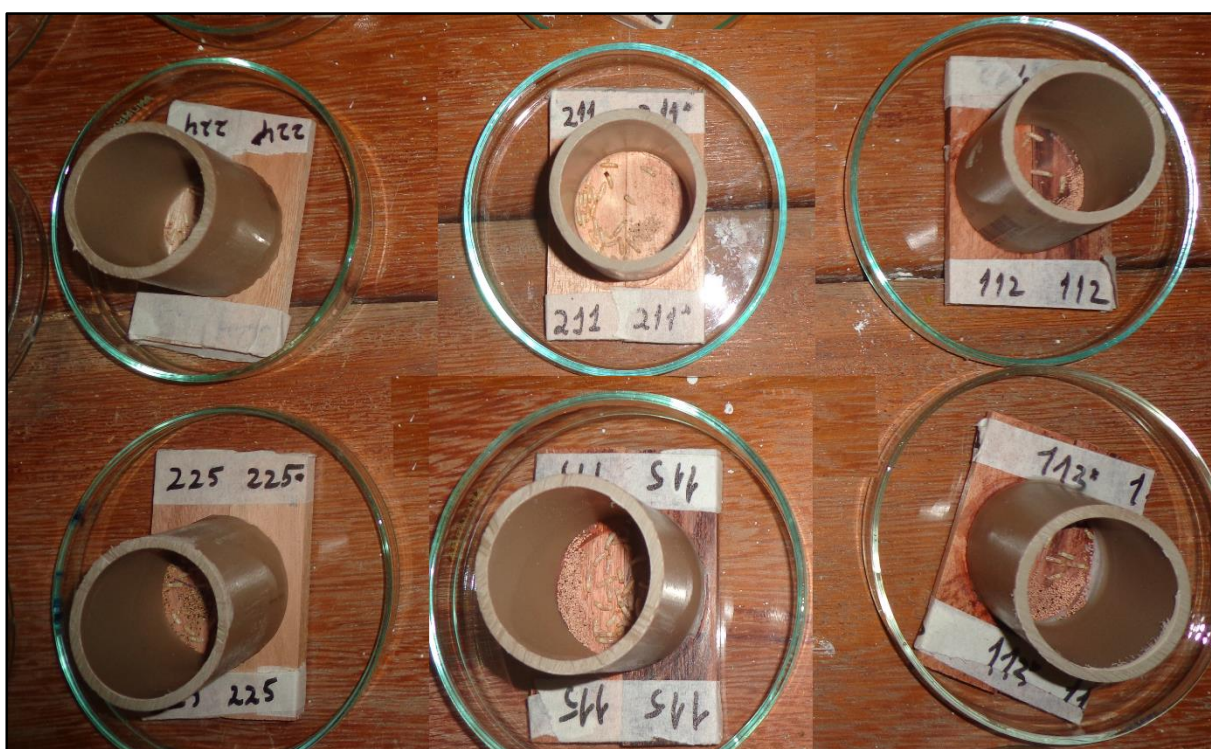
Fonte: o autor.

3.5.2 Ensaio biológico com térmitas de madeira seca

Para as térmitas de madeira seca, empregou-se o procedimento do Instituto de Pesquisas e Tecnológicas/Divisão de Madeiras IPT/DIMAD D-2 (1980), ao serem computadas, além das avaliações citadas para a térmita de solo, a quantidade de orifícios produzidos pelos insetos nas amostras. Segundo esta metodologia, corpos de prova com dimensões de 2,3 x 0,6 x 7,0 cm (radial x tangencial x longitudinal) foram submetidos a espécie *Cryptotermes brevis*. Foram utilizadas cinco repetições para cada posição, totalizando 10 repetições por espécie.

As amostras foram agrupadas em conjuntos de dois corpos de prova, unidos por fita adesiva e fixadas com parafina, em um recipiente de policloreto de polivinila (PVC) com diâmetro de 3,5 cm e altura de 4,0 cm. Dentro de cada recipiente foram inseridos 40 térmitas, sendo 39 operários e um soldado dispostos em uma placa de Petri para evitar a fuga das térmitas. O ensaio foi mantido em sala climatizada (27 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa), durante 45 dias (Figura 2).

Figura 2 - Ensaio de durabilidade com a térmita de madeira seca.



Fonte: o autor.

Ao término do ensaio, as térmitas que sobreviveram foram retiradas e contadas para avaliação da porcentagem de mortalidade, com posterior avaliação do desgaste por meio de notas que variam de zero a quatro, em que, 0 (nenhum desgaste), 1 (desgaste superficial), 2 (desgaste moderado), 3 (desgaste acentuado), 4 (desgaste profundo), seguindo o procedimento anteriormente citado. A perda de massa foi corrigida por meio da perda de massa operacional, obtida das amostras sem a presença de térmitas.

3.5.3 Ensaio de resistência natural aos fungos apodrecedores

Foram utilizados fungos que causam a podridão parda (*Gloeophyllum trabeum* e *Postia placenta*), branca (*Trametes versicolor*) e mole (coletado em ambiente natural). No preparo do meio de cultura e no ensaio com os fungos de podridão branca e parda foram seguidas as designações da ASTM D-1413 (2007).

No ensaio com fungos de podridão mole, seguiram-se as recomendações do método IPT/DIMAD D-5 (1980). Este preconiza a utilização de corpos de prova de 3,0 x 1,5 x 0,5 cm (comprimento x largura x espessura). O ensaio foi montado em frascos de 600 mL, preenchidos com 300g de solo orgânico, proveniente de uma área de floresta nativa, localizada no município de Jerônimo Monteiro, ES, tendo sua umidade ajustada para 80% da capacidade de retenção para a madeira de folhosas e 100% para coníferas, pela adição de água destilada.

Aos frascos, assim preparados, foram adicionadas duas amostras, permanecendo por 120 dias em sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa). A avaliação do ensaio foi realizada com base na perda de massa, sendo esta corrigida em função das amostras soterradas em solo esterilizado. As características químicas do solo coletado para o ensaio são observadas no Apêndice A.

O ensaio com fungos de podridão parda e branca foi realizado em frascos de 600 mL, preenchidos com 300 g de solo de pH 6,8 e capacidade de retenção de água de 36%, conforme ASTM D-1413 (2007). O solo foi umedecido para 130% da capacidade de retenção, pela adição de 116 mL de água destilada e posteriormente adicionado dois alimentadores de madeira de *Pinus elliottii*, e o conjunto (frascos e alimentadores) esterilizados em autoclave a 103 kPa e 121 °C por 30 minutos.

Após o processo de esterilização, fragmentos oriundos de culturas puras dos fungos foram adicionados sobre os alimentadores. Após o desenvolvimento dos fungos nos frascos foram inseridas duas amostras teste por frasco com 10 repetições para cada tratamento. O ensaio foi mantido em sala climatizada (25 ± 2 °C e 65 ± 5 % de umidade relativa) por 12 semanas. 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 ± 2 °C até atingirem massa constante.

Para a estimativa da perda de massa resultante da ação fúngica, foi seguida a designação da ASTM D-2017 (2005) (Tabela 4). Realizou-se a correção dos valores por meio da perda de massa operacional. Os dados foram obtidos mensalmente durante o ensaio biológico com os fungos xilófagos propostos, a fim de realizar correlações destes valores com os dados colorimétricos das madeiras avaliadas.

Tabela 4 - 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	Resistência moderada
≥ 45	≤ 55	Não resistente

Fonte: adaptado da ASTM D - 2017 (2005).

3.5.4 Determinação dos índices colorimétricos das madeiras após ataque fúngico

A cor das amostras de madeira foi mensurada com um espectrofotômetro portátil, com uma fonte de luz D65 e um ângulo de observação de 10°, com a parte utilizada do sensor de 3 mm de diâmetro.

A variação colorimétrica foi avaliada em função das alterações causadas pelos fungos de podridão parda e branca nos corpos de prova. A avaliação da mudança de cor foi mensurada mensalmente, a partir das amostras obtidas no ensaio com fungos de podridão parda e branca, sendo desmontado um ensaio por mês, e realizadas três análises com seis repetições para cada amostra, na face radial. A diferença de cor

total (ΔE_{ab}^*), antes, durante e após o ataque fúngico foram determinadas em termos de L^* , a^* , b^* , sendo calculada, conforme Equação 6, ASTM D-2244 (2016).

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (3)$$

em que: ΔE^* : variação total da cor da madeira mensuradas mensalmente; ΔL^* , Δa^* e Δb^* : variação das coordenadas L^* , a^* e b^* , respectivamente.

As variações totais da cor das madeiras ensaiadas posterior ao ataque fúngico, foram classificadas ao utilizar a classificação proposta 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 (ΔE^*)	Classificação Colorimétrica
Ligeiramente perceptível	0,0 - 0,4
Perceptível	4,1 - 8,0
Muito perceptível	Acima de 8,1

Fonte: Stangerlin (2012).

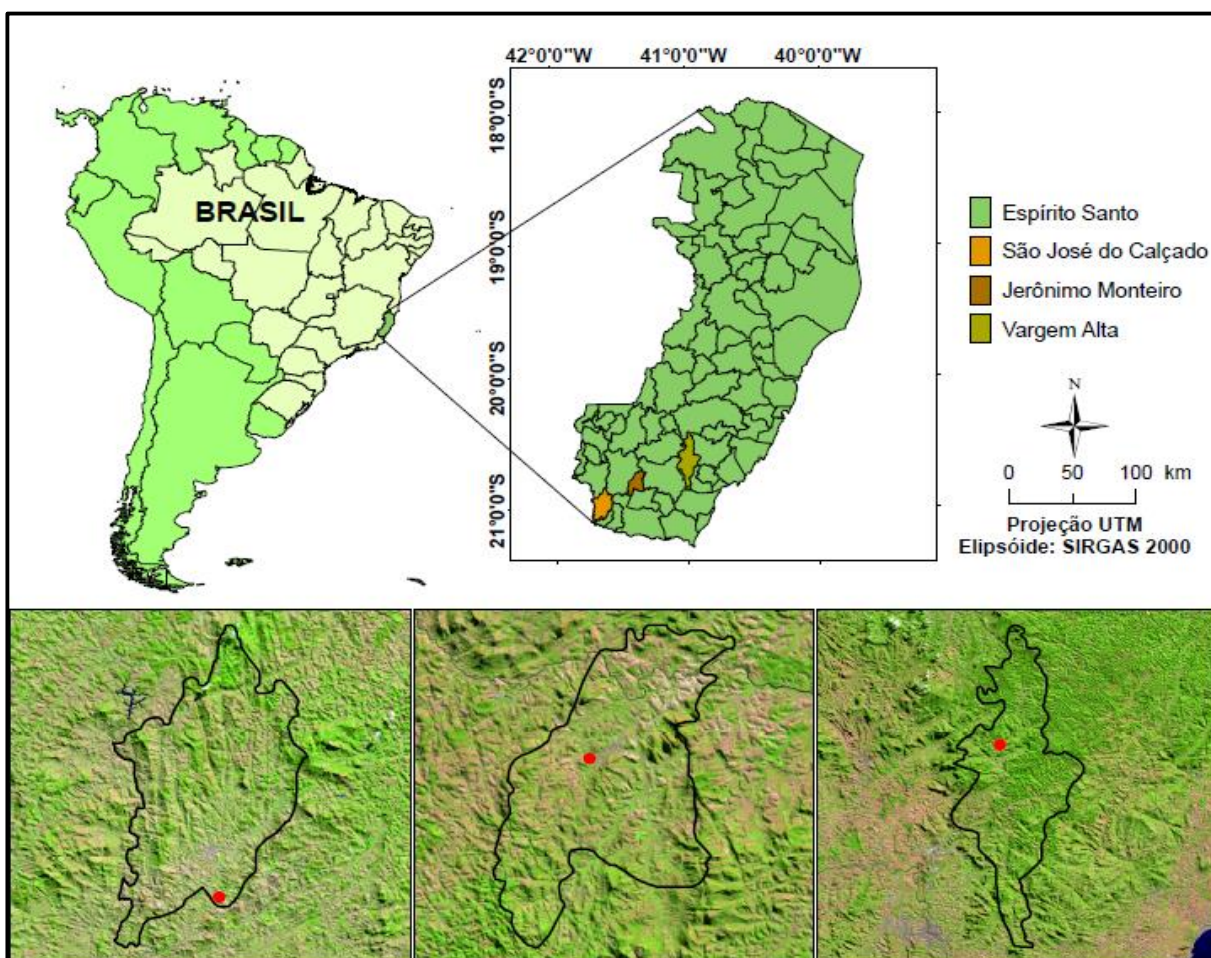
3.5.5 Ensaio em campo de apodrecimento

Em razão da simplicidade, ao utilizarem estacas de pequenas dimensões e tempos relativamente curtos, empregou-se o método-padrão, sugerido pela *International Union of Forestry Research Organizations* -IUFRO, descrito por BECKER (1972).

O método preconiza o emprego de corpos de prova com dimensões de 50 x 5,0 x 2,5 cm (comprimento x largura x espessura), os quais foram obtidos de duas posições radiais no sentido medula-casca (cerne mediano e região de transição contendo cerne e alburno). Estes foram acondicionados durante quatro meses em condições de laboratório ($25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa). O ensaio foi instalado nos municípios de Jerônimo Monteiro, São José do Calçado e Vargem Alta, localizados no estado do Espírito Santo (Figura 4).

O ensaio de campo foi instalado no mês de maio de 2015, com término em dezembro de 2016, inspecionado após 6, 12 e 18 meses da instalação. Os dados de precipitação (mm) e temperatura (°C) dos três municípios foram obtidos até o mês de setembro de 2016, a partir do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural-INCAPER (2017), Apêndice B.

Figura 4 - Localização geográfica dos municípios instalados para o ensaio de campo com as sete espécies de eucaliptos.

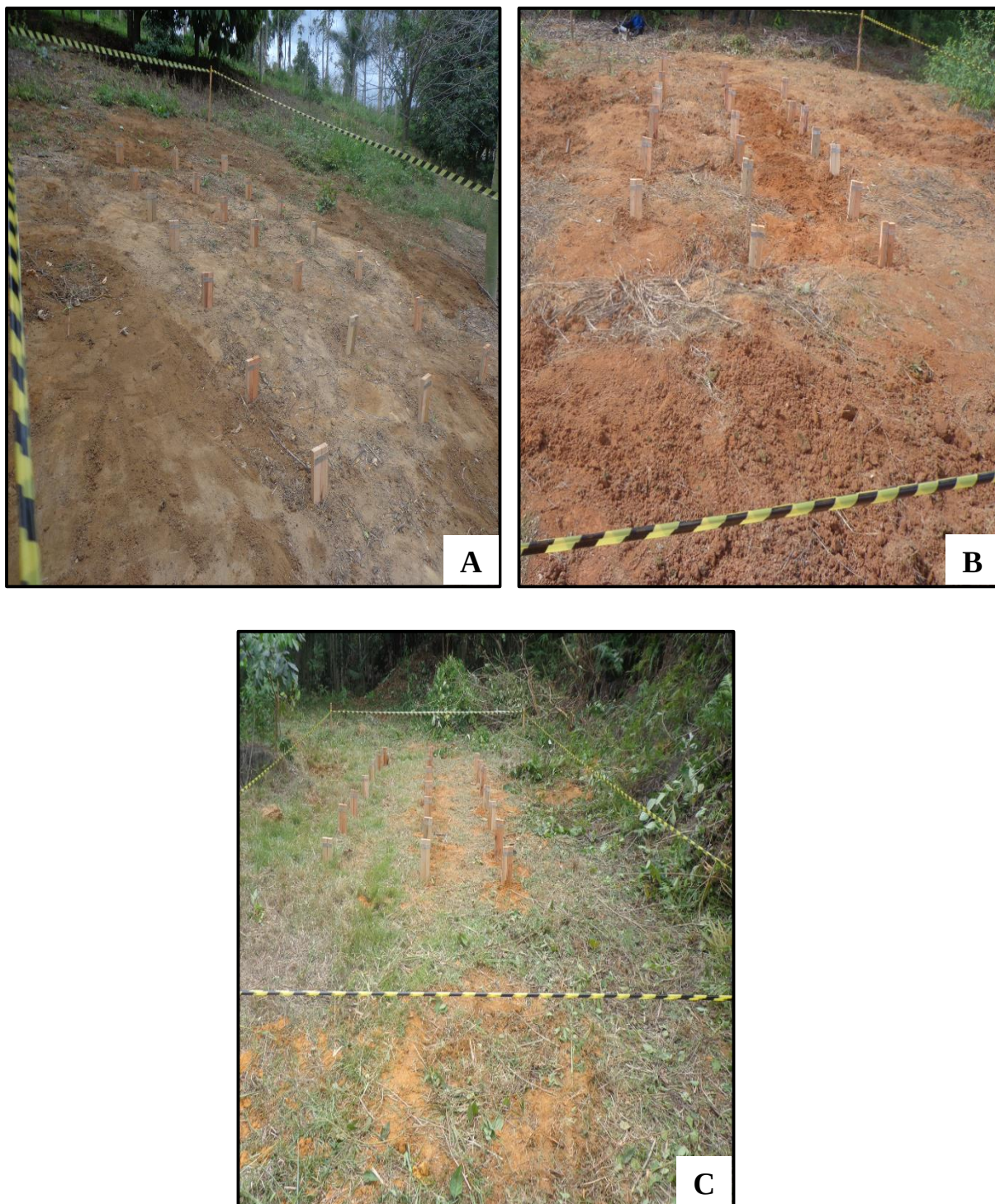


Fonte: o autor.

Desta forma, possibilitou avaliar o desgaste da madeira em regiões com características distintas. Nos locais de instalação em cada município, foram retiradas amostras nos horizontes A e B, para análises das características físico-químicas dos solos (Apêndice C) e material para a montagem dos simuladores de campo em laboratório. Para cada posição e espécie estudada foram instaladas três repetições por localidade (Figura 5). Na avaliação do estado de sanidade (intensidade do ataque

por agentes deterioradores) foram utilizadas as indicações de Becker (1972), expostas na Tabela 6.

Figura 5 - Instalação do ensaio de campo. A: Jerônimo Monteiro, B: São José do Calçado e C: Vargem alta.



Fonte: o autor.

Tabela 6 - Critérios para avaliação das estacas no ensaio de campo.

Estado de sanidade	Nota	Índice de Comportamento
Sadio	0	100
Ataque incipiente	1	90
Ataque moderado	2	70
Ataque intenso	3	40
Quebra	4	0

Fonte: Becker (1972).

3.5.6 Ensaio em simulador acelerado de campo

Para montagem dos simuladores de campo foram seguidas as recomendações de Vinden et al. (1982), Paes et al. (2000; 2009) e da *American Wood Preservers' Association* - AWP - E14 (2014). Os simuladores foram montados em caixas de madeira com dimensões de 60 x 60 x 50 cm (menor dimensão na direção da largura) e mantidos em sala climatizada (25 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de umidade relativa). Cada caixa, representava um município onde foi instalado o ensaio de campo (Figura 6).

Para o preenchimento dos simuladores, foram utilizados cascalhos e solos provenientes dos locais, nos quais, foram instalados os ensaios de campo. Os primeiros 15 cm das caixas foram preenchidos com cascalho, e completadas com os respectivos solos, tendo o horizonte B uma altura de 25 cm e o horizonte A de 10 cm.

Neste ensaio utilizaram-se estacas com dimensões de 15 x 1,5 x 0,5 cm (comprimento x largura x espessura). Estas foram parcialmente soterradas (2/3 do comprimento), e aleatoriamente distribuídas no simulador. Os simuladores mantiveram-se umedecidos com água semanalmente para manter a umidade próxima à capacidade de campo dos solos empregados, controlada por meio dos quatro orifícios, utilizados para a drenagem.

O experimento foi avaliado após 180 dias da instalação por meio dos critérios descritos anteriormente na Tabela 6, com a determinação da perda de massa, após as amostras permanecerem em estufa a 103 ± 2 °C até atingirem massa constante.

Figura 6 - Ensaio em simuladores de campo com as sete espécies de eucaliptos e solos dos locais avaliados. A: Vargem alta, B: São José do Calçado e C: Jerônimo Monteiro.



Fonte: o autor

3.6 AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA AOS AGENTES XILÓFAGOS

De forma complementar, com os valores obtidos da massa específica básica, teor de extrativos e a perda de massa causada pelo ataque dos fungos nas sete espécies de eucaliptos, foram estipulados a porosidade (Equação 3), o potencial de resistência natural da madeira, calculado pelo produto entre a massa específica básica e o teor de extrativos (CARNEIRO et al., 2009) (Equação 4) e o índice de susceptibilidade ao ataque (CURLING; MURPHY, 2002), que relaciona a perda de massa de uma determinada espécie de interesse com a perda de massa de uma espécie de referência (Equação 5).

$$\Phi = \left(1 - \frac{M_{eb}}{M_{epc}}\right) * 100 \quad (4)$$

em que: Φ : porosidade (%); Meb : massa específica básica (g cm^{-3}); $Mepc$: massa específica da parede celular ($1,53 \text{ g cm}^{-3}$, segundo SIAU,1995).

$$Rnm = Meb * Text \quad (5)$$

em que: Rnm : potencial de resistência natural da madeira; Meb : massa específica básica (g cm^{-3}); $Text$: teor de extrativos (%).

$$ISA = \left(\frac{PMai}{PMr} \right) * 100 \quad (6)$$

em que: ISA = índice de susceptibilidade ao ataque (%); $PMai$ = perda de massa da amostra de interesse (%) (espécies de eucaliptos); PMr = perda de massa da amostra de referência (*Pinus elliottii*).

3.7 ANÁLISES ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Para avaliar as características anatômicas das madeiras estudadas foi empregada estatística descritiva ao serem analisadas as médias e coeficiente de variação. Na avaliação da massa específica, teores de casca, cerne e alburno foi aplicado o teste de diferença de médias.

Para a avaliação do teor dos componentes químicos e da resistência natural das madeiras em laboratório com fungos apodrecedores e o ensaio com térmitas de alimentação forçada foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, com arranjo fatorial em que foram analisados os seguintes fatores: espécies de madeiras, com oito níveis, posições medula casca, com dois níveis (cerne mediano e transição entre cerne e alburno) e a interação entre os fatores. No ensaio de preferência alimentar a térmitas foi utilizado um delineamento em blocos casualizados com arranjo fatorial, em que foram avaliados os mesmos fatores anteriormente citados.

Para comparar a resistência natural das madeiras em ensaio de simulador acelerado de campo e em campo de apodrecimento foi empregado um delineamento em blocos casualizados, com esquema de parcelas subdivididas com três repetições (bloco), sendo as parcelas (espécies), e subparcelas (posições medula-casca).

Quando necessário, para possibilitar a análise estatística, os dados de perda de massa e mortalidade das térmitas foram transformados em $\arcsen \sqrt{x/100}$ e os de

desgaste, tempo em dias para a morte das térmitas e número de orifícios foram transformados em $\sqrt{x + 0,5}$. Os dados colorimétricos foram transformados em $\log_{10}(L^*, a^*, b^* \text{ e } \Delta E^*)$. Estas transformações, sugeridas por Steel e Torrie (1980), devem ser empregadas no caso da necessidade de normalizar a distribuição dos dados (teste de Lilliefors) e homogeneizar as variâncias (teste de Cochran e Bartellett).

Na análise e avaliação dos ensaios foi empregado o teste de Scott - Knott ($p \leq 0,05$), para os fatores e interações detectados como significativos pelo teste de F ($p \leq 0,05$). A avaliação das relações entre as variáveis estudadas foi realizada por meio da análise de regressão linear simples.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS E MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DAS ESPÉCIES DE *Eucalyptus*

Conforme pode ser observado na Tabela 7, para as características dendrométricas (altura comercial, DAP e volume) e massa específica básica média das espécies avaliadas, notou-se que o *E. grandis* exibiu a menor massa específica básica e o maior volume comercial. Já o *C. citriodora*, o maior valor de massa específica e o *E. pellita*, o menor volume de madeira.

Tabela 7 - Valores médios para as características dendrométricas e massa específica básica da madeira das sete espécies de *Eucalyptus* com 12 anos de idade.

Espécies Avaliadas	Altura Comercial (m)	Diâmetro Altura do Peito (cm)	Volume (m ³)	Massa Específica Básica (g cm ⁻³)
<i>Eucalyptus saligna</i>	26,3	24,67	0,5821	0,55 c (3,80)
<i>Eucalyptus grandis</i>	30,0	26,74	0,7774	0,51 d (3,59)
<i>Eucalyptus urophylla</i>	23,9	24,35	0,4249	0,59 b (4,96)
<i>Eucalyptus pellita</i>	21,3	21,01	0,2269	0,57 b (2,37)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	22,5	21,65	0,2904	0,58 b (1,85)
<i>Corymbia citriodora</i>	20,10	20,53	0,2462	0,73 a (2,53)
<i>Eucalyptus robusta</i>	22,0	21,33	0,3358	0,60 b (5,69)

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p > 0,05$). Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%).

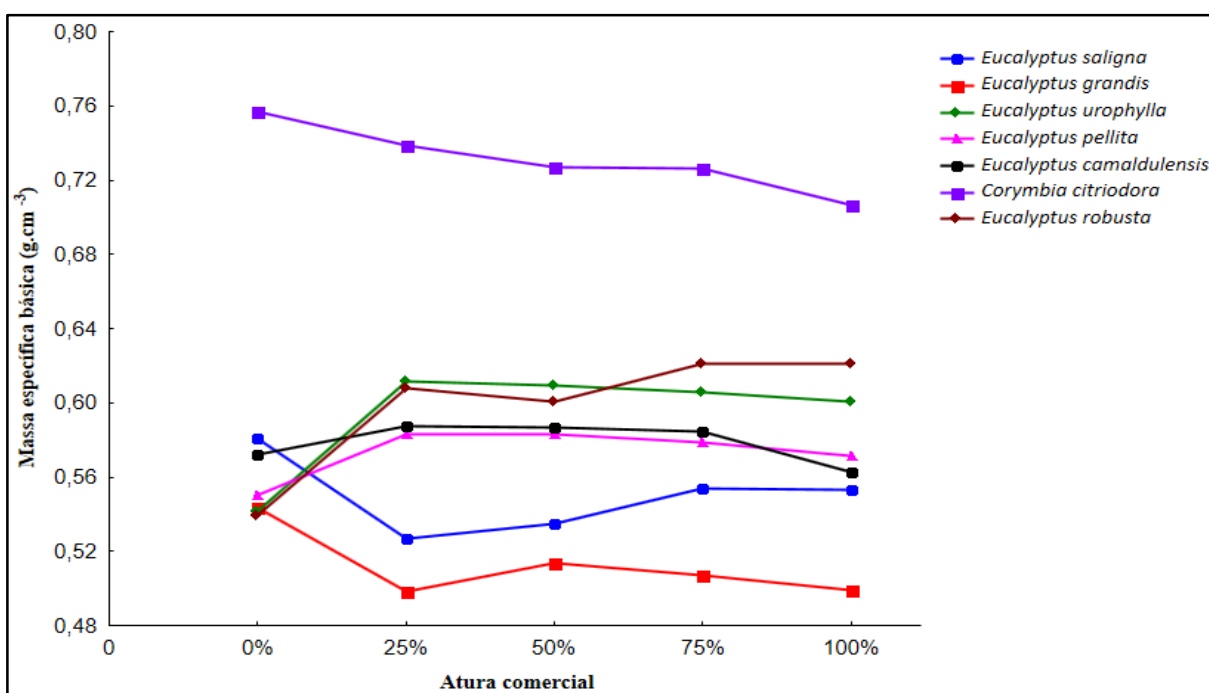
Ao avaliarem a madeira de um clone proveniente do híbrido do *E. urophylla* (GG 100), com idades entre quatro e nove anos, Meneses et al. (2015) encontraram resultados de massa específica básica que variaram de 0,40 a 0,47 g cm⁻³. A disparidade do valor encontrado neste trabalho, provavelmente, foi resultante das diferenças das idades das árvores e condições dos sítios de crescimento.

Silva et al. (2015) ao analisarem a madeira de *E. grandis* com idades entre 10 e 25 anos, observaram que a massa específica básica variou de 0,46 a 0,60 g cm⁻³, valores semelhantes aos obtidos no presente trabalho. O valor desta variável para a madeira de *E. urophylla* com 18 anos de idade foi de 0,69 g cm⁻³ (LOPES et al., 2011).

Este valor foi superior ao encontrado nesta pesquisa, mas provavelmente pela disparidade das idades dos indivíduos avaliados.

Na Figura 7, pode ser observada a variabilidade da massa específica ao longo do fuste no sentido base - topo entre as sete espécies de eucaliptos avaliadas. Nota-se para o *E. grandis*, *E. saligna* e *C. citriodora* que a massa específica teve uma tendência de decréscimo da base para o topo. Na madeira de *E. camaldulensis* a variação foi praticamente igual entre as cinco posições avaliadas. Para as demais espécies estudadas o valor da massa específica aumentou no sentido longitudinal.

Figura 7 - Variação da massa específica básica em relação à altura comercial de sete espécies de *Eucalyptus* com 12 anos de idade.



Fonte: o autor.

Os estudos realizados para avaliar o modo de variação da massa específica básica no sentido longitudinal, comprovam a inexistência de um padrão definido, no qual, pode ocorrer uma redução, aumento ou redução até certo ponto da altura do tronco, seguido de incremento, ou dentro de um intervalo, não ocorrer modificação com a altura (SANTOS; GARCIA; GERALDI, 2004; PÁDUA, 2009; SANQUETTA et al., 2013). Fato comprovado por Oliveira et al. (2005) ao avaliarem sete espécies de eucaliptos.

A distinção desta variação provavelmente está relacionada aos diversos fatores envolvidos durante o crescimento da árvore, tais como; características intrínsecas da madeira, variações edafoclimáticas e metodologia de amostragem da madeira (VALÉRIO et al., 2008; MARQUES et al., 2012). Para madeira de *E. grandis*, o padrão de variação da massa específica básica no sentido longitudinal, foi semelhante ao encontrado por Lopes et al. (2011), ou seja, decréscimo da base para o topo da árvore.

Com relação à durabilidade natural, geralmente, madeiras mais densas e com menores quantidades de poros oferecem maior resistência à deterioração por fungos e insetos xilófagos (PANSIN; DE ZEEUW, 1980), provavelmente resultante na redução da difusão de gases que provoca uma menor disponibilidade de oxigênio para o crescimento e atividades de biodeterioradores da madeira (DADZIE; AMOAH, 2015).

Stallbaun et al. (2016) ao analisarem a durabilidade natural da madeira de *Tachigali vulgaris* ao fungo *Postia placenta*, observaram que uma maior massa específica normalmente ocasionou menor perda de massa, mesmo assim, os autores destacaram que ao considerar a variação no sentido longitudinal do tronco, os resultados não comprovaram tal influência.

Alguns autores, dentre eles, Paes et al. (2004; 2005; 2007; 2015); Corassa et al. (2013); Gonçalves et al. (2013); Carvalho et al. (2015) destacam que a massa específica não está diretamente associada ao aumento da durabilidade da madeira aos agentes xilófagos e afirmam que a resistência natural está relacionada à quantidade e classes de extrativos presentes na madeira.

Os valores dos percentuais médios de casca, cerne e alburno do fuste das sete espécies de eucaliptos estudadas são exibidos na Tabela 8. Nota-se que a espécie *E. grandis* e *E. saligna* exibiram os menores percentuais de casca, sendo as demais espécies estatisticamente semelhantes. Quanto aos teores de cerne e alburno todas as madeiras estudadas apresentaram estatisticamente valores iguais.

Espécies com maiores teores de cerne são mais utilizadas nas indústrias moveleiras e de construção civil, em virtude, do maior percentual de madeira adulta (PEREIRA et al., 2013). A formação de cerne ocorre como resultante do acúmulo dos excedentes de produtos fotossintetizados nos tecidos mais internos do tronco das árvores, que o torna menos permeável, quando comparado ao alburno, e com elevada concentração de extrativos (JÓIA et al., 2006).

Assim, madeiras com maiores teores de cerne dificultam a impregnação de produtos químicos durante a fase de cozimento da madeira para produção de celulose, tratamento preservativo da madeira e contribuem para a geração de finos durante o processo de carbonização para produção de carvão vegetal (PEREIRA et al., 2013).

Tabela 8 - Percentuais médios de casca, cerne e alburno de sete espécies de eucalipto com 12 anos de idade.

Espécies Avaliadas	Teor de Casca (%)	Teor de Cerne (%)	Teor de Alburno (%)
<i>Eucalyptus saligna</i>	4,47 b (37,92)	62,27 a (19,64)	33,72 a (35,32)
<i>Eucalyptus grandis</i>	3,33 b (39,46)	68,89 a (20,68)	28,10 a (50,38)
<i>Eucalyptus urophylla</i>	6,41 a (17,02)	58,55 a (22,02)	35,45 a (35,25)
<i>Eucalyptus pellita</i>	6,35 a (34,62)	62,99 a (26,63)	31,00 a (51,69)
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5,24 a (36,22)	60,69 a (23,74)	34,30 a (39,90)
<i>Corymbia citriodora</i>	6,81 a (26,15)	56,40 a (24,33)	37,60 a (35,59)
<i>Eucalyptus robusta</i>	5,64 a (13,63)	55,40 a (29,06)	39,59 a (40,80)

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($P > 0,05$). Valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação (%).

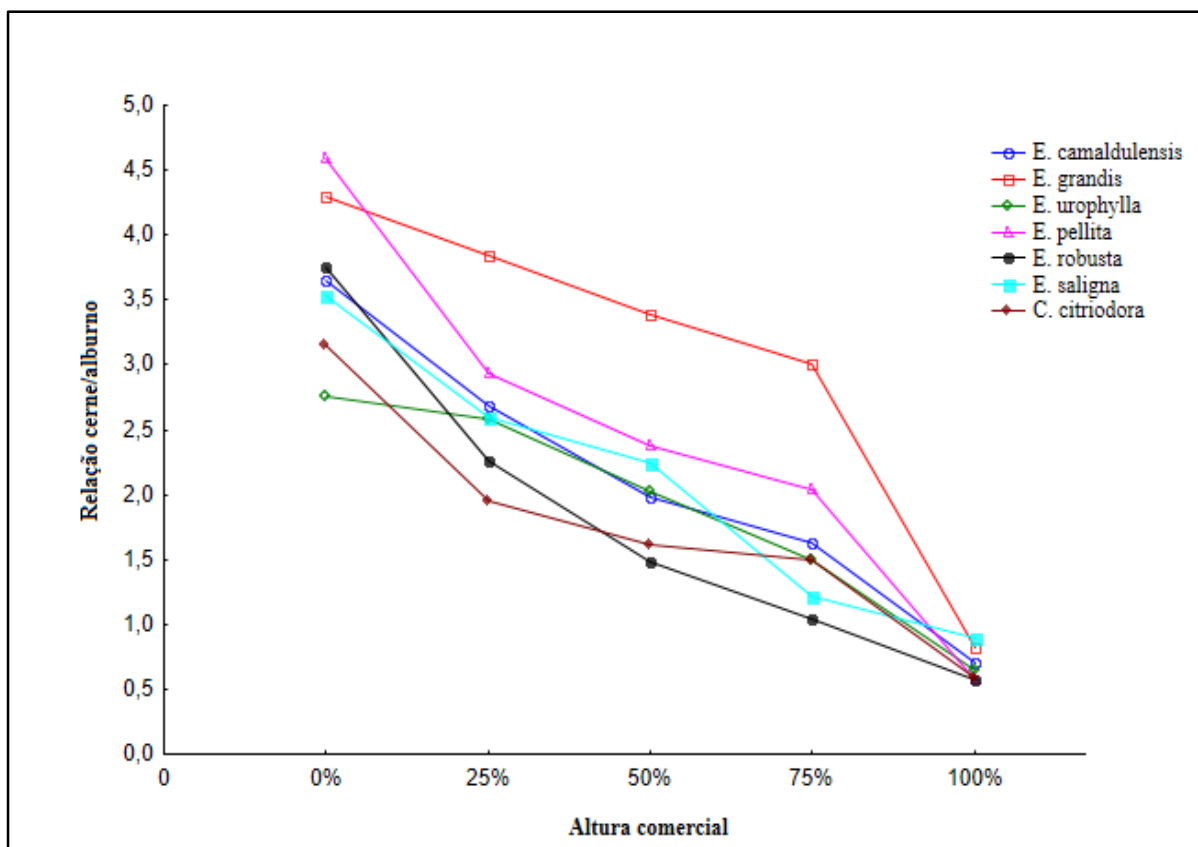
A maior permeabilidade do alburno facilita a perda de água da madeira durante o processo de secagem; e a torna menos susceptível ao surgimento de defeitos, tais como fendilhamento e empenamento, provenientes do colapso (OLIVEIRA et al., 1999). Os mesmos autores enfatizam que o teor de casca na madeira pode superestimar a produtividade dos fustes das plantações florestais.

Quanto à relação cerne: alburno (Figura 8), pode ser observado uma tendência de decréscimo da relação cerne:alburno (C:A) na direção base-topo de todas as espécies avaliadas. A maior média foi para a madeira de *E. grandis* (3,07), e menor relação para a espécie *C. citriodora* (1,75). A presença de uma maior ou menor porcentagem de cerne e alburno pode proporcionar diferentes retenções e penetrações de preservativos no interior da madeira, além de diferença na durabilidade natural ao ataque de agentes xilófagos.

Ao avaliarem a relação C:A de seis clones de *Eucalyptus* sp., com 7,5 anos de idade, (PEREIRA et al., 2013) encontraram valores médios de 0,49 a 1,01. Estes resultados inferiores quando comparados ao presente trabalho, está provavelmente

relacionado as características do material genético, condições edafoclimáticas da região e idade das árvores (PAES et al., 2002; 2007). A quantificação das porcentagens de cerne e alburno, é importante dependendo do uso final da madeira (OLIVEIRA et al., 1999).

Figura 8 - Relação cerne: alburno média para as sete espécies de eucaliptos avaliadas com 12 anos de idade.



Fonte: o autor.

Dentre os usos finais da madeira se destacam, principalmente, a indústria de celulose, o tratamento com preservativos químicos e a indústria moveleira. Quanto à durabilidade natural, um maior percentual de alburno, resultará em uma baixa resistência da madeira, em decorrência de sua maior permeabilidade, presença de carboidratos armazenados e ausência de extrativos tóxicos, que são fatores favoráveis ao ataque de agentes xilófagos (KOLLMANN; COTÊ JUNIOR, 1968).

4.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E ANATÔMICAS DAS MADEIRAS

4.2.1 Características químicas das madeiras avaliadas

Quanto à análise química da madeira, os maiores valores de extrativos totais foram obtidos para o *E. camaldulensis*, para ambas as posições avaliadas no sentido medula: casca, e os menores resultados para o *E. grandis* no cerne mediano e na região de transição, nesta não diferenciado estatisticamente do *E. urophylla*, que juntamente com o *C. citriodora* exibiram maiores valores para o cerne mediano (Tabela 9). Nas demais espécies, a região de transição exibiu os maiores resultados.

Tabela 9 - Percentuais médios dos teores de extrativos totais e cinzas das sete espécies de eucaliptos com 12 anos de idade avaliadas e da madeira de *Pinus elliottii*.

Espécies Avaliadas	Extrativos Totais (%)		Cinzas (%)	
	Cerne	Transição	Cerne	Transição
<i>Eucalyptus saligna</i>	9,06 Ca	9,25 Ca	0,003 Gb	0,250 Ba
<i>Eucalyptus grandis</i>	4,54 Fb	5,79 Ga	0,120 Db	0,247 Ba
<i>Eucalyptus urophylla</i>	7,88 Da	5,51 Gb	0,205 Cb	0,317 Ba
<i>Eucalyptus pellita</i>	7,36 Eb	9,96 Ba	0,075 Eb	0,158 Ca
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	13,89 Ab	14,89 Aa	0,028 Fb	0,053 Da
<i>Corymbia citriodora</i>	10,12 Ba	8,85 Db	0,952 Aa	0,869 Aa
<i>Eucalyptus robusta</i>	7,79 Da	8,02 Ea	0,062 Eb	0,232 Ba
<i>Pinus elliottii</i>	7,01 Ea	7,00 Fa	0,291 Ba	0,290 Ba

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

A importância dos teores de extrativos está diretamente relacionada ao aumento da durabilidade natural da madeira ao ataque de agentes xilófagos, principalmente os constituídos de compostos tóxicos, com características antioxidantes e antifúngicas (KOCH; SCHMITT, 2013; MOORE et al., 2015).

Em estudo realizado por Kirker et al. (2016), com espécies de coníferas e folhosas, os autores explicitaram os extrativos como o principal responsável pela durabilidade da madeira aos agentes xilófagos. No entanto, a porcentagem de

extrativos não foi diretamente correlacionada com a durabilidade natural. Assim, não somente a quantidade, mas também a classe de extrativos é que confere resistência natural às espécies (PAES et al., 2004, CORASSA et al., 2013; GONÇALVES et al., 2013; CARVALHO et al., 2015).

Para os valores de cinzas, os maiores resultados foram observados para a madeira de *C. citriodora*, tanto no cerne mediano, quanto na região de transição, sendo a única, no qual, as posições foram estatisticamente semelhantes. Os menores valores foram observados no cerne mediano do *E. saligna* e, para o *E. camaldulensis* na região de transição.

Gonçalves et al. (2013) ao avaliarem a resistência natural das espécies *Chlorophora tinctoria*, *Hymenolobium petraeum*, *Anadenanthera columbrina* var. *cebil*, *Anadenanthera peregrina*, *Dalbergia nigra*, *Manilkara longifolia*, *Peltogine nitens*, *Caesalpiniae echinata*, *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus torelliana* ao cupim *Cryptotermes brevis*, constataram que os maiores valores de mortalidade foram observados nas madeiras com valores de massa específica, teores de extrativos ou de cinzas mais elevados. No entanto, os mesmos autores destacaram que não existe uma característica única, que possa ser empregada, a fim de relacionar o ataque provocado pelas térmitas nas madeiras estudadas.

Paes et al. (2013) ao analisarem a durabilidade natural de *Anadenanthera colubrina*, *Tabebuia aurea*, *Amburana cearensis* e *Eucalyptus camaldulensis* ao ataque da térmita *Nasutitermes corniger*, concluíram que uma maior quantidade de cinzas proporcionou uma maior resistência ao ataque, em virtude, da capacidade dos compostos inorgânicos ocasionarem desgastes ao aparelho bucal do inseto.

Quanto ao teor de lignina total e de holocelulose não se observou interação significativa entre posição e espécie, em que, as posições foram estatisticamente semelhantes em ambas as variáveis estudadas (Tabela 10). Entre as espécies estudadas, os menores valores de lignina foram para as madeiras de *E. grandis*, *C. citriodora* e *Pinus elliottii*, sendo as demais madeiras estatisticamente iguais.

Com relação à holocelulose, as espécies *E. grandis* e *Pinus elliottii* obtiveram os maiores resultados e o *E. camaldulensis* os menores valores, sendo as demais madeiras avaliadas exibiram valores estatísticos semelhantes. Andrade et al. (2010) ao avaliarem um híbrido natural de *E. urophylla*, com sete anos de idade, encontraram valores médios de 5,2%, 28,2% e 66,6% de extrativos totais, lignina e holocelulose,

respectivamente. Valores próximos aos encontrados neste trabalho para a mesma espécie, mesmo considerando que são de procedências e idades diferentes.

Tabela 10 - Percentuais médios dos teores de lignina total e holocelulose das sete espécies com 12 anos de idade de eucaliptos avaliadas e da madeira de *Pinus elliottii*.

Espécies Avaliadas	Lignina Total (%)		Holocelulose (%)	
<i>Eucalyptus saligna</i>	30,79 A		59,92 B	
<i>Eucalyptus grandis</i>	28,46 B		66,18 A	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	30,84 A		62,20 B	
<i>Eucalyptus pellita</i>	30,89 A		60,33 B	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	32,18 A		53,39 C	
<i>Corymbia citriodora</i>	27,34 B		62,11 B	
<i>Eucalyptus robusta</i>	32,08 A		59,87 B	
<i>Pinus elliottii</i>	28,84 B		63,85 A	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição	Cerne	Transição
	30,37 a	29,99 a	60,94 a	61,03 a

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

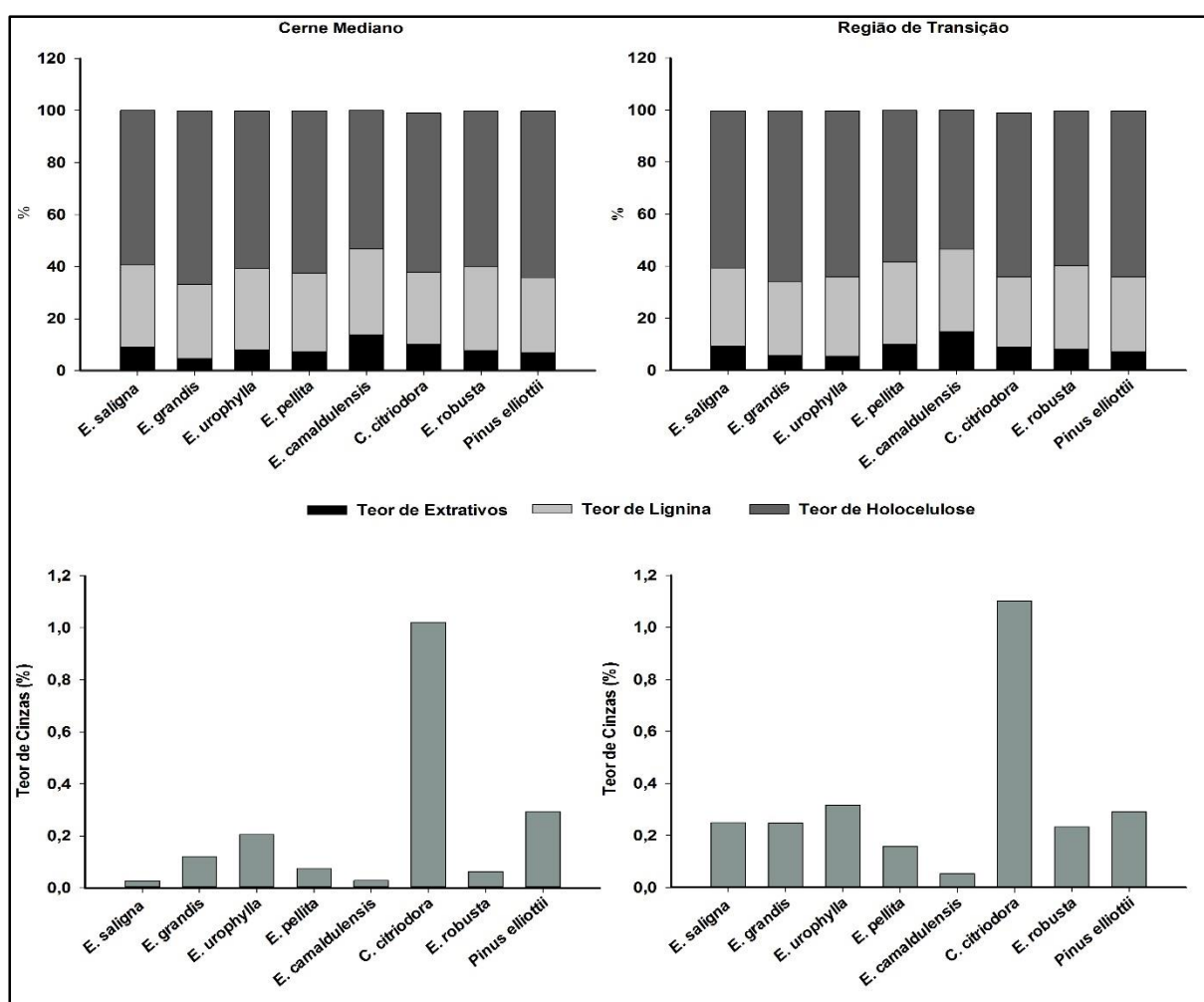
Botelho, Santana e Alves (2000), para seis espécies de eucaliptos com 22 anos de idades, encontraram valores de extrativos totais que variaram desde 6,4 a 21,6% e teores de lignina entre 23,9 a 33%. Estes dados, quando comparados aos obtidos neste trabalho, tiveram variações resultantes da influência de fatores como, espécie, idade, características do solo, condições climáticas, adubação, variação genética e tratamentos silviculturais (HILLIS, 1987; OLIVEIRA, 2003; REIS et al., 2012, COLODETTE; GOMIDE; CARVALHO, 2015).

Para melhor visualização dos resultados encontrados das características químicas das madeiras avaliadas, a Figura 9, apresenta graficamente as diferenças de valores entre as duas posições para as espécies estudadas.

Pode ser observado, que o maior teor de extrativos em ambas as posições avaliadas, foi obtido para a madeira de *E. camaldulensis*. Em relação aos teores de lignina e holoceluloses, observa-se a existência de uma pequena disparidade entre os valores encontrados para o cerne mediano e região de transição, com maiores valores de lignina para a região do cerne e de holocelulose na região de transição. Klitze et

al. (2008) ao analisarem a madeira de *Hymenaea* sp. observaram a mesma tendência, quando compararam os resultados da região de transição com o cerne. O teor de holocelulose na madeira é atingido na fase jovem, com tendência de estabilização com aumento da idade da árvore (HSING, 2013).

Figura 9 - Percentuais médios da análise química das madeiras estudadas nas duas posições avaliadas.



Fonte: o autor.

No entanto, a maior disparidade dos resultados entre as espécies estudadas está relacionada ao teor de cinzas presente na madeira de *C. citriodora*, em que podem ser visualizados os maiores resultados desta variável, tanto no cerne mediano, quanto na região de transição, e a madeira de *E. camaldulensis* os menores valores destes compostos inorgânicos.

4.2.2 Caracterização anatômica das madeiras de eucaliptos

Em relação às características anatômicas, ao usar os parâmetros de medições presentes na Iowa Committee (1989), quanto às dimensões dos vasos, fibras e raios (Tabela 11), podem-se classificar qualitativamente as espécies, em vasos de médio diâmetro tangencial (100 a 200 μm) para os sete lenhos avaliados na região de transição. Já no cerne as espécies *E. robusta*, *E. saligna* e *C. citriodora* foram classificadas como de pequeno diâmetro ($< 100 \mu\text{m}$). Em relação à frequência de vasos, as madeiras das sete espécies de eucaliptos podem ser classificadas como de poucos vasos (5 a 20 vasos mm^{-2}), com maior quantidade por mm^{-2} no cerne mediano, e maiores valores para o *E. camaldulensis* e menores para o *E. urophylla*.

A região de transição entre cerne e o alburno exibiu os maiores diâmetros e menores frequências de poros para todas as sete madeiras de eucaliptos avaliadas, em relação ao cerne mediano. Isto provavelmente está relacionada com uma maior atividade fisiológica do alburno (CHERELLI, 2015).

Com relação às fibras, estas foram definidas como curtas (900 a 1600 μm), com comprimentos superiores para a região de transição nas sete espécies avaliadas, ou seja, aumentou no sentido medula: casca, com maiores valores médios para a madeira de *E. grandis*, que obteve resultados superiores, também para largura de fibra, e *C. citriodora* com os menores valores de largura, em ambas as posições avaliadas (cerne mediano e região de transição).

O aumento nas dimensões das fibras no sentido medula:casca é proporcionado pelas células cambiais que passam a produzir, por algum período, elementos com maiores proporções, até a fase de estabilização, proporcionando, assim, aumento no comprimento das fibras, com o incremento da idade da planta (SILVA et al., 2007b; SETTE JUNIOR et al., 2012). Quanto ao diâmetro do lume, os menores valores médios em ambas as posições avaliadas, foi para a madeira de *C. citriodora*, e maior espessura de parede e *E. camaldulensis* exibiu os menores resultados.

Quanto aos raios, estes foram classificados como baixos ($< 1000 \mu\text{m}$) para todas as espécies avaliadas, com menores resultados para o lenho de *C. citriodora*, em ambas as posições avaliadas e, com maior altura para a região de transição do *E. urophylla*. Em relação à largura dos raios, os mesmos foram identificados como finos

(< 100 μm) para as madeiras estudadas, com menor largura para a posição do cerne mediano da espécie *E. grandis* e maior resultado na região de transição do *E. saligna*.

A frequência de raios foi definida como numerosa (> 12 mm^{-1}), com exceção do *Eucalyptus grandis* que exibiu raios pouco frequentes (4 a 12 mm^{-1}), com maiores valores para o *E. robusta*, em ambas as posições avaliadas. Ao avaliar o número de células, os maiores resultados foram para o cerne mediano, com exceção do *E. urophylla*, que exibiu os maiores valores para a região de transição.

Foi observado para os raios, uma elevada variabilidade entre as espécies avaliadas, não se observando uma tendência, de maiores ou menores valores para alguma espécie, com exceção do *C. citriodora*, quanto à altura de raios, que teve os menores valores para ambas as posições avaliadas. Alves; Angyalossy-Alfonso (2002) ao determinarem algumas tendências anatômicas para 491 espécies de diferentes ambientes, latitudes e altitudes no Brasil, concluíram que a composição dos raios seguiu uma distinção entre as espécies avaliadas.

Tabela 11 - Valores médios das características anatômicas das sete espécies de eucaliptos com 12 anos de idade para cada posição estudada.

Características Anatômicas		<i>Eucalyptus camaldulensis</i>		<i>Eucalyptus grandis</i>		<i>Eucalyptus urophylla</i>		<i>Eucalyptus robusta</i>		<i>Eucalyptus saligna</i>		<i>Eucalyptus pellita</i>		<i>Corymbia citriodora</i>	
		Cerne	Transição	Cerne	Transição	Cerne	Transição	Cerne	Transição	Cerne	Transição	Cerne	Transição	Cerne	Transição
Vasos	Diâmetro	112,92	115,21	117,91	135,73	123,99	128,53	92,63	118,45	98,76	115,14	104,21	123,92	91,91	109,20
	(μm)	(26,01)	(29,67)	(24,35)	(26,57)	(20,93)	(32,23)	(21,85)	(32,52)	(24,84)	(31,48)	(31,11)	(28,61)	(28,92)	(24,01)
	Frequência	12,85	12,75	8,58	7,55	7,00	4,93	9,00	6,38	7,63	6,20	10,03	7,20	10,63	7,40
	(n° mm ⁻²)	(34,11)	(18,69)	(25,99)	(28,45)	(31,20)	(43,23)	(27,10)	(35,29)	(27,49)	(27,62)	(53,53)	(29,20)	(29,97)	(36,70)
Fibras	Comprimento	983,69	1038,79	1025,50	1128,09	1019,58	1126,49	931,01	982,91	983,79	1101,85	977,81	1068,28	900,65	1073,49
	(μm)	(12,30)	(11,78)	(10,93)	(11,87)	(12,78)	(14,12)	(916,91)	(27,09)	(14,36)	(18,10)	(13,25)	(10,75)	(16,62)	(12,92)
	Largura	15,88	15,52	17,47	18,39	17,41	18,33	16,52	17,24	17,21	16,58	16,41	16,65	14,53	13,97
	(μm)	(13,38)	(13,21)	(14,59)	(18,69)	(16,54)	(16,41)	(14,55)	(18,16)	(15,04)	(15,77)	(16,56)	(16,31)	(15,39)	(17,19)
	Diâmetro	8,76	7,15	8,23	8,74	8,08	7,77	9,22	8,81	9,60	7,23	7,29	6,58	5,91	5,14
	Lume (μm)	(24,17)	(21,01)	(28,72)	(26,24)	(32,01)	(35,69)	(23,46)	(33,58)	(26,96)	(35,47)	(26,02)	(31,28)	(21,70)	(24,86)
	Espessura	3,56	4,18	4,62	4,82	4,31	4,42	3,65	4,21	3,81	4,67	4,56	5,04	4,66	5,28
	Parede (μm)	(18,15)	(19,84)	(24,08)	(28,01)	(20,54)	(17,07)	(19,64)	(15,08)	(16,87)	(18,54)	(22,44)	(18,15)	(17,97)	(18,70)
Raios	Altura	191,23	176,05	248,53	234,21	247,87	304,05	226,54	249,36	293,67	295,44	266,13	293,75	187,99	184,26
	(μm)	(26,63)	(28,34)	(34,34)	(31,29)	(30,68)	(29,94)	(30,28)	(27,15)	(34,88)	(38,31)	(35,36)	(32,68)	(24,89)	(33,34)
	Largura	16,32	16,28	13,85	17,60	16,76	19,18	15,86	19,64	18,56	26,52	19,34	19,76	17,91	19,34
	(μm)	(19,59)	(27,95)	(27,21)	(30,03)	(23,99)	(23,25)	(21,49)	(24,18)	(26,71)	(27,28)	(26,80)	(27,01)	(24,17)	(28,37)
	Frequência	12,05	12,43	10,75	11,70	14,10	13,23	15,48	13,95	13,75	13,53	14,83	14,43	13,15	11,70
	(n° mm ⁻¹)	(15,60)	(20,61)	(18,33)	(21,83)	(14,88)	(15,46)	(9,92)	(16,63)	(13,05)	(12,07)	(15,72)	(20,52)	(17,78)	(14,51)
	Altura	11,85	10,30	13,68	11,55	12,38	14,23	12,80	12,15	14,05	13,25	13,03	12,08	11,73	11,15
	(n° células)	(27,13)	(39,53)	(35,72)	(29,14)	(31,99)	(28,41)	(31,61)	(30,09)	(38,07)	(37,63)	(36,78)	(23,97)	(25,03)	(40,75)

Valores entre parênteses, corresponde ao coeficiente de variação.

4.3 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM TÉRMITAS XILÓFAGAS

4.3.1 Ensaios com térmitas subterrâneas

Houve diferença significativa para a perda de massa, entre os fatores e a interação (Apêndice D, Tabela 1D). No ensaio de preferência alimentar com térmitas, as maiores perda de massa foram observadas para a madeira de *E. grandis* nas duas posições, não diferenciando estatisticamente, para a posição do cerne mediano com a madeira de *E. robusta*.

A madeira de *C. citriodora* exibiu as menores perdas de massa em ambas as posições estudadas, não diferenciando estatisticamente do *E. pellita* e do *E. camaldulensis* para a região de transição. As madeiras de *E. camaldulensis*, *E. robusta* e *E. saligna* foram as espécies que exibiram diferença estatística entre as duas posições avaliadas, com o cerne mediano menos susceptível ao ataque, apenas para a madeira de *E. saligna* (Tabela 12).

Tabela 12 - Percentuais médios da perda de massa e desgaste causado pelas térmitas subterrâneas em função das espécies e posições avaliadas.

Espécies Avaliadas	Perda de Massa (%)		Desgaste (notas)	
	Cerne	Transição	Cerne	Transição
<i>Eucalyptus saligna</i>	15,22 Db	38,87 Ca	6,68 Aa	3,52 Bb
<i>Eucalyptus grandis</i>	100,00 Aa	99,85 Aa	0,00 Ca	0,00 Ca
<i>Eucalyptus urophylla</i>	87,04 Ba	84,98 Ba	0,64 Ca	0,48 Ca
<i>Eucalyptus pellita</i>	37,17 Ca	20,57 Da	3,40 Bb	5,84 Aa
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	67,32 Ba	24,92 Db	2,20 Bb	6,48 Aa
<i>Corymbia citriodora</i>	4,00 Ea	11,48 Da	8,00 Aa	6,64 Ab
<i>Eucalyptus robusta</i>	99,34 Aa	37,70 Cb	0,48 Cb	3,20 Ba
<i>Pinus elliottii</i>	31,91 Ca	29,30 Ca	7,40 Aa	2,64 Bb

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

A resistência natural do *C. citriodora* pode estar relacionada aos maiores teores de cinzas exibidos por esta espécie, uma vez que, os compostos inorgânicos podem ocasionar desgaste ao aparelho bucal do *Nasutitermes corniger*, reduzindo sua capacidade de biodeterioração da madeira (GONÇALVES et al. 2013; PAES et al., 2013). No entanto, o *E. saligna* exibiu o menor valor de cinzas, mas apresentou resistência ao ataque no cerne mediano, resultado provavelmente, da presença de

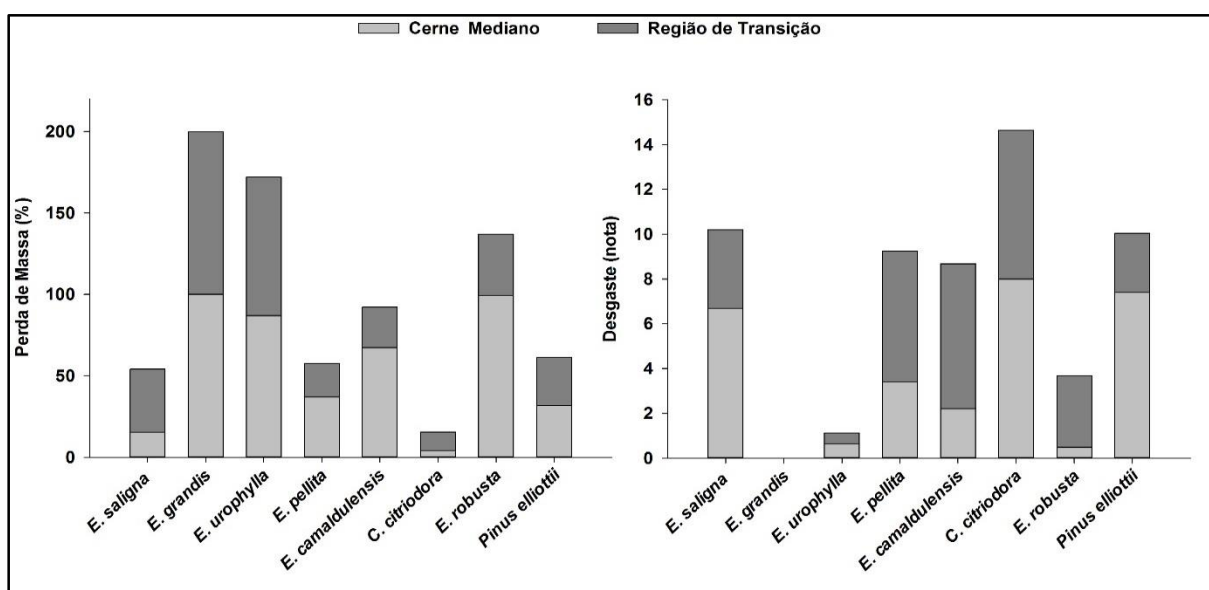
extrativos tóxicos (PAES et al., 2004, GONÇALVES et al., 2013; CARVALHO et al., 2015).

No geral, as madeiras com maiores teores de extrativos, foram menos susceptíveis ao ataque das térmitas, com exceção, do *E. camaldulensis* que exibiu maior quantidade de extrativos, porém, não foi uma das espécies com maior durabilidade natural, principalmente no cerne mediano, e o *E. robusta* apresentou maiores quantidades de extrativos que a madeira de *E. pellita*, no entanto, foi mais consumida. Assim, fica evidenciado que provavelmente, a classe ou tipo dos componentes secundários são os responsáveis pela redução da perda provocada por agentes xilófagos (PAES et al., 2004; ROMANINI et al., 2014; KIRKER et al., 2016).

Quanto avaliado o desgaste (notas), os resultados seguiram a tendência anteriormente relatada para a perda de massa, em virtude desta avaliação visual expressar a intensidade do ataque realizado pelas térmitas nas madeiras. Foi observado que as espécies *E. grandis* e *E. urophylla* apresentaram desgastes estatisticamente iguais entre o cerne mediano e região de transição, e nas demais madeiras, estas exibiram valores distintos entre as duas posições avaliadas.

Ao analisar a Figura 10, nota-se para a perda de massa da madeira, que não houve um padrão, quanto a posição com maior resistência natural, em que, no geral, estas apresentaram valores estatisticamente semelhantes.

Figura 10 - Percentuais médios da perda de massa e desgaste das madeiras estudadas nas posições avaliadas pelas térmitas subterrâneas.



Fonte: o autor.

Estas diferenças na durabilidade natural da madeira, como anteriormente citadas, estão associadas principalmente, pelas diferentes características dos extrativos, principalmente relacionados aos compostos fenólicos (CLAUSEN, 2010), que causam uma proteção natural à madeira (SJÖSTRÖM, 1981) e as modificações químicas resultantes da formação do cerne (LUKMANDARU; TAKAHASHI, 2009; MOYA et al., 2014), que podem apresentar compostos de natureza menos tóxica.

Com relação ao ensaio de alimentação forçada, foi observado que as espécies *E. grandis* e *E. pellita* exibiram as maiores perda de massa na região de cerne mediano (Tabela 13), com as madeiras de *C. citriodora*, *E. urophylla* exibido os menores valores, sendo estas, juntamente com o *E. saligna* as únicas em que o cerne mediano foi mais resistente que a região de transição. Em relação à região de transição, as espécies com maior resistência ao ataque das térmitas foram *E. pellita*, *C. citriodora* e *Pinus elliottii*, esta última, juntamente com o *E. camaldulensis*, foram as espécies que não apresentaram diferença estatística entre as duas posições avaliadas.

Tabela 13 - Percentuais médios da perda de massa, desgaste das madeiras estudadas e mortalidade das térmitas para as espécies avaliadas no ensaio de alimentação forçada.

Espécies Avaliadas	Perda de Massa (%)		Desgaste (notas)		Mortalidade (%)	
	Cerne	Transição	Cerne	Transição	Cerne	Transição
<i>Eucalyptus saligna</i>	5,91 Cb	11,46 Ba	8,48 Aa	7,28 Cb	66,71 Ba	51,00 Ca
<i>Eucalyptus grandis</i>	23,51 Aa	13,95 Ab	4,68 Ca	5,08 Da	35,38 Ca	44,18 Ca
<i>Eucalyptus urophylla</i>	3,55 Db	10,43 Ba	9,44 Aa	7,72 Bb	100,00 Aa	62,65 Cb
<i>Eucalyptus pellita</i>	25,87 Aa	4,12 Db	4,24 Cb	8,88 Aa	33,68 Cb	99,02 Aa
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	7,72 Ca	7,69 Ca	8,64 Aa	7,24 Cb	77,29 Ba	70,92 Ca
<i>Corymbia citriodora</i>	2,59 Db	4,99 Da	9,36 Aa	9,00 Aa	100,00 Aa	82,88 Bb
<i>Eucalyptus robusta</i>	17,89 Ba	12,35 Ab	5,40 Bb	6,56 Ca	33,57 Cb	58,98 Ca
<i>Pinus elliottii</i>	5,74 Ca	5,00 Da	8,92 Aa	8,94 Aa	100,00 Aa	99,00 Aa

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

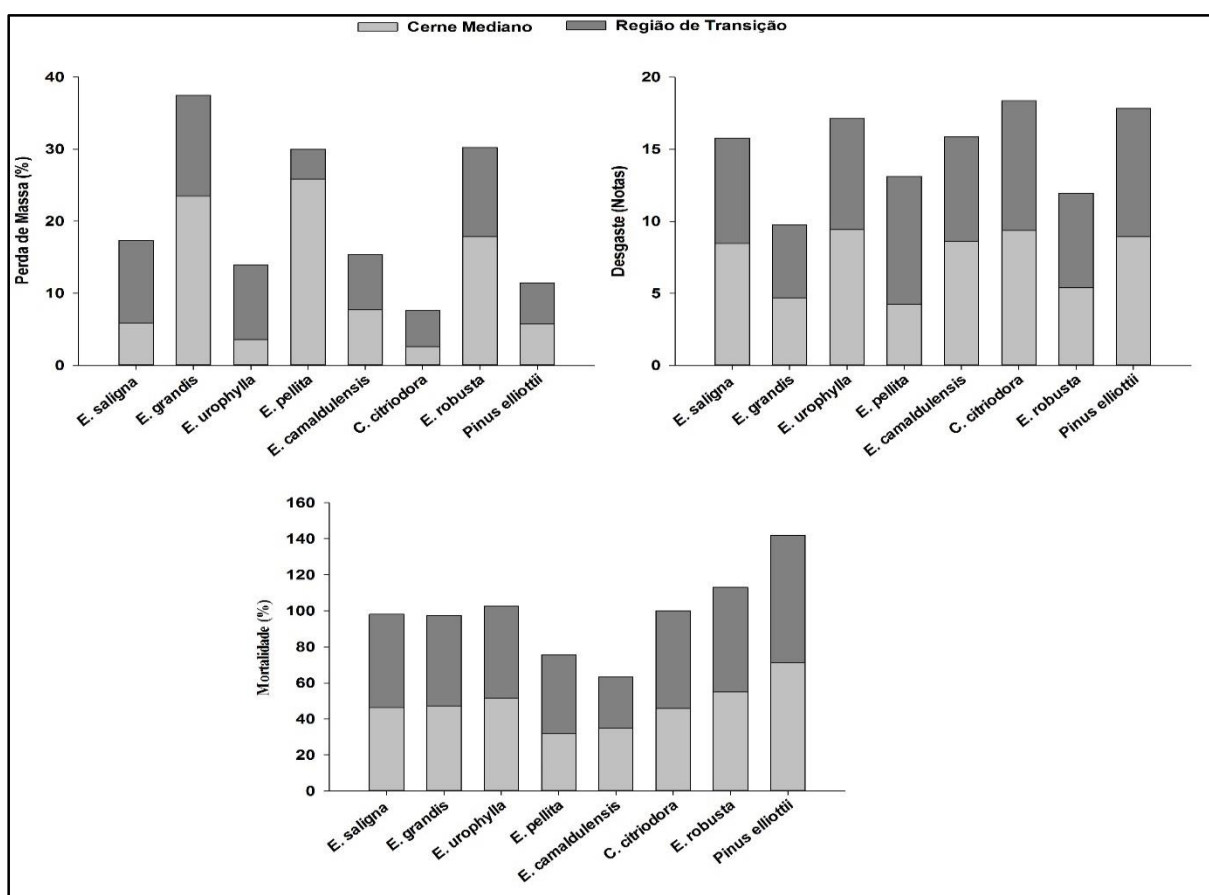
Pode ser observado neste ensaio, a mesma tendência de resistência natural, demonstrado para a avaliação no teste de preferência alimentar, na qual,

provavelmente as mesmas variáveis; classe de extrativos e teores de cinzas influenciaram na maior durabilidade das madeiras, além de ser utilizada a mesma espécie de térmita. Quanto ao desgaste (notas), as espécies que apresentaram as maiores perdas de massa, exibiram os menores valores de desgaste.

Quanto à mortalidade das térmitas, esta foi considerada de moderada à alta (Tabela 13), com menores resultados para a madeira de *E. grandis*, *E. pelitta* e *E. robusta*. A mortalidade mais acentuada foi observada para o *Pinus elliottii*, *E. urophylla* e *C. citriodora*, para a região de cerne mediano, na qual, foi observado 100% dos insetos mortos ao término do ensaio.

Para melhor visualização das diferenças entre as posições do cerne mediano e da região de transição, quanto à perda de massa, desgaste e mortalidade das térmitas no ensaio de alimentação forçada, é ilustrada na Figura 11, as variações entre as posições.

Figura 11 - Percentuais médios de perda de massa, desgaste das madeiras e mortalidades das térmitas nas duas posições para as espécies avaliadas.



Fonte: o autor.

Na região de transição, o maior percentual de mortalidade foi para o *Pinus elliottii* e *E. pellita*, seguidas pelas madeiras de *C. citriodora*. As demais espécies exibiram valores estatisticamente semelhantes. Quando avaliadas ambas as posições no sentido medula: casca as madeiras das espécies *E. grandis*, *E. camaldulensis*, *E. saligna* e *Pinus elliottii* não exibiram diferença estatística entre elas.

Observa-se que o *E. grandis* e o *E. robusta*, em ambas as posições avaliadas, exibiram menores percentuais de mortalidade dos térmitas, provavelmente em virtude de suas maiores perdas de massa, que consequentemente, resultou em maior disponibilidade de alimento para os insetos. O *E. urophylla* e *C. citriodora* foram as únicas espécies que a região de transição ocasionou menores índices de térmitas vivos. Estas diferenças de mortalidade entre espécies e posições, provavelmente estão relacionadas à presença de componentes químicos que atuam como repelentes naturais ao ataque a térmitas, que ocasionou uma redução na digestibilidade da madeira (SCHMIDT, 2006; MORRELL, 2012).

4.3.2 Ensaios com térmitas de madeira seca

A análise de variância, contida no Apêndice D, Tabela 2D, foi observado que não houve diferença significativa somente para a mortalidade das térmitas entre as posições avaliadas e a interação entre os fatores. A espécie com menor perda de massa foi a *C. citriodora*, no cerne mediano, com maiores valores para as madeiras de *E. grandis*, *E. saligna*, *E. pellita* e *Pinus elliottii* (Tabela 14). Na região de transição, os maiores resultados de perda de massa foram observados no *E. grandis* e *Pinus elliottii*, espécie essa utilizada para comparação dos resultados. Já as demais espécies não exibiram diferença estatística entre elas. O *E. pellita* foi a única madeira que exibiu diferença estatística entre as duas posições avaliadas para a perda de massa causada pelo *Cryptotermes brevis*.

Para os valores de desgaste (notas), a espécie *C. citriodora* exibiu os menores valores no cerne mediano, enquanto na região de transição, as maiores notas foram para as madeiras de *E. grandis*, *E. camaldulensis* e *Pinus elliottii*. Já a madeira de *E. robusta* foi a única que exibiu diferença estatística entre as duas posições avaliadas, com o cerne mediano exibindo visualmente maior desgaste.

Com relação a mortalidade das térmitas, não houve interação significativa entre posição e espécies, e entre as madeiras avaliadas o maior percentual de mortalidade

foi para o *Pinus elliottii*. Para as espécies de eucalipto, o *E. pellita* e o *E. camaldulensis* causaram os menores valores de mortalidade das térmitas. Nenhuma das espécies avaliadas tiveram a presença de orifícios que transpusesse as amostras.

Na avaliação da resistência natural de 11 espécies florestais, entre nativas e plantadas, a térmita *Cryptotermes brevis* em condições de laboratório, Gonçalves et al. (2013) verificaram que apenas a madeira de *Pinus* sp., exibiu orifícios que transpassaram as amostras, demonstrando a preferência destes insetos em permanecerem no interior da madeira.

Tabela 14 - Percentuais médios de perda de massa, desgaste, mortalidade e número de orifícios causados pelos térmitas de madeira seca nas espécies avaliadas.

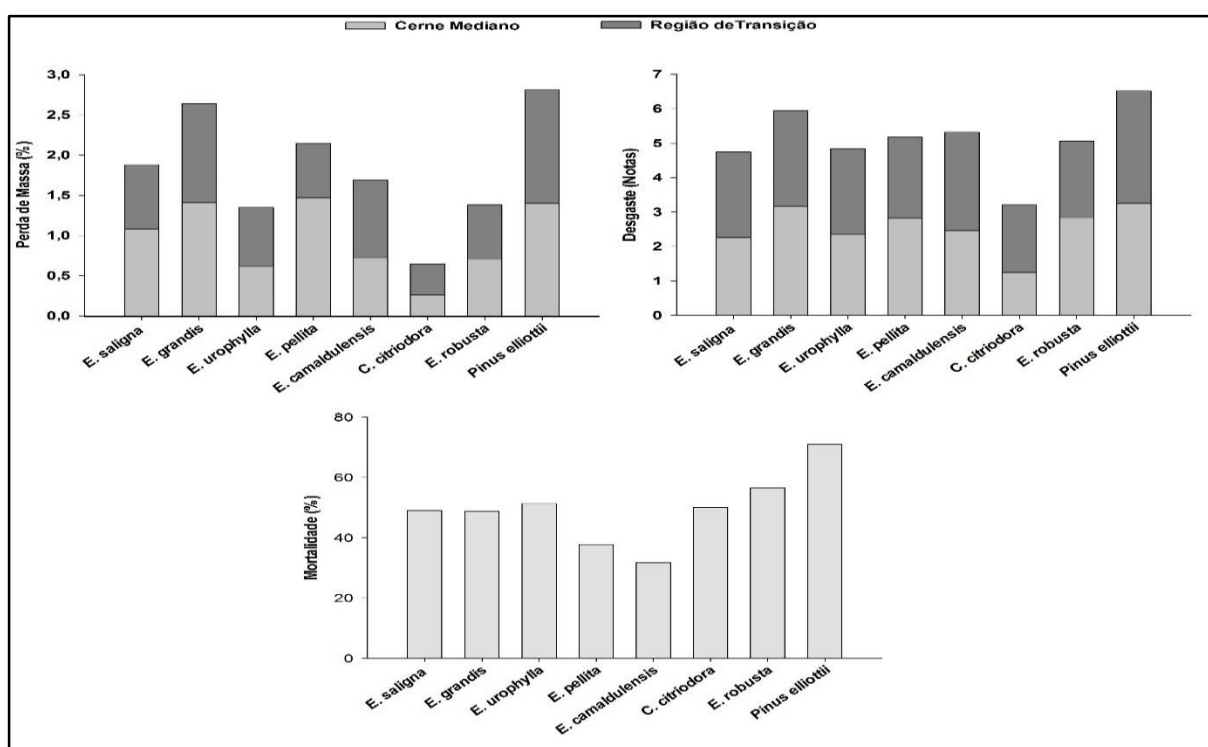
Espécies Avaliadas	Perda de Massa (%)		Desgaste (Notas)		Número de Orifícios		Mortalidade (%)
	Cerne	Transição	Cerne	Transição	Cerne	Transição	-
<i>E. saligna</i>	1,08 Aa	0,80 Ba	2,26 Ba	2,48 Ba	0,10	0,10	49,00 B
<i>E. grandis</i>	1,41 Aa	1,23 Aa	3,16 Aa	2,78 Aa	0,20	0,10	48,75 B
<i>E. urophylla</i>	0,62 Ba	0,73 Ba	2,36 Ba	2,48 Ba	0,00	0,00	51,25 B
<i>E. pellita</i>	1,47 Aa	0,68 Bb	2,82 Aa	2,36 Ba	0,20	0,00	37,75 C
<i>E. camaldulensis</i>	0,72 Ba	0,97 Ba	2,46 Ba	2,86 Aa	0,10	0,10	31,75 C
<i>C. citriodora</i>	0,26 Ca	0,39 Ba	1,24 Ca	1,98 Ba	0,00	0,00	50,00 B
<i>E. robusta</i>	0,71 Ba	0,67 Ba	2,84 Aa	2,22 Bb	0,00	0,00	56,50 B
<i>Pinus elliottii</i>	1,40 Aa	1,41 Aa	3,26 Aa	3,26 Aa	0,30	0,30	71,00 A
Posições Avaliadas							Cerne Transição
							48 a 51 a

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

Na madeira de *E. grandis* com idades entre 10 a 25 anos (SILVA et al., 2004), constataram esta espécie de baixa resistência natural ao *Cryptotermes brevis*, com valor de desgaste e mortalidade de 3,2 e 48%, respectivamente, na idade de 14 anos, sendo estes valores semelhantes ao encontrado nesta pesquisa. Batista et al. (2016b) ao analisarem a madeira de *E. grandis* com 18 anos, observaram mortalidade de 77,25% na região do cerne, resultado superior ao encontrado neste trabalho, provavelmente resultante da procedência e idade da madeira avaliada.

Na Figura 12, pode ser visualizado que a maior disparidade da perda de massa para ambas as posições avaliadas, foi para a madeira de *E. pellita*, na qual, a madeira de cerne mediano, exibiu os maiores valores, com o desgaste praticamente seguindo a mesma tendência observada na perda de massa. Quanto a mortalidade, os maiores resultados foram observados para a madeira de *Pinus elliottii*, e menor mortalidade para a espécie *E. camaldulensis*, apesar desta, possuir os maiores teores de extrativos, que enfatiza a importância das classes de extrativos que realmente conferem durabilidade a madeira.

Figura 12 - Percentuais médios de perda de massa, desgaste das madeiras e mortalidades das térmitas para as espécies e posições avaliadas.



Fonte: o autor.

Pode ser observado que a madeira de pinus foi uma das mais atacadas pelas térmitas, no entanto, com alta taxa de mortalidade. Isto, provavelmente está relacionado à presença de alguma substância tóxica em concentrações suficientes para causar a mortalidade das mesmas, após consumirem a madeira (PAES, 2002; SILVA et al., 2004; GONÇALVES et al., 2013, BATISTA et al., 2016b), dentre estas, aquelas com características antioxidantes como, as flavonanas, ácidos tânico, morina e catequina (LITTLE; SCHULTZ; NICHOLAS, 2010).

4.4 ENSAIOS BIOLÓGICOS COM FUNGOS XILÓFAGOS

Ao avaliar a resistência natural da madeira de eucalipto e pinus ao ataque com fungos de podridão mole, observou-se que não houve interação significativa entre espécies e posições avaliadas (cerne mediano e região de transição) (Apêndice E, Tabela 1E). Com relação às posições, a região de transição exibiu a maior perda de massa (Tabela 15). A presença de compostos químicos potencialmente tóxicos no cerne, tais como taninos em folhosas e uma variedade de compostos fenólicos em coníferas, previnem ou limitam o ataque de fungos apodrecedores (READING et al., 2003).

Entre as espécies avaliadas, o *E. grandis* exibiu a menor resistência ao ataque de fungos de podridão mole, sendo a madeira que exibiu os menores teores de extrativos, enquanto as demais espécies exibiram perdas de massa semelhantes, com as madeiras de *E. saligna*, *E. urophylla* e *E. camaldulensis* sendo estatisticamente diferentes das demais.

Tabela 15 - Percentuais médios de perda de massa no ensaio de podridão mole nas posições e espécies avaliadas.

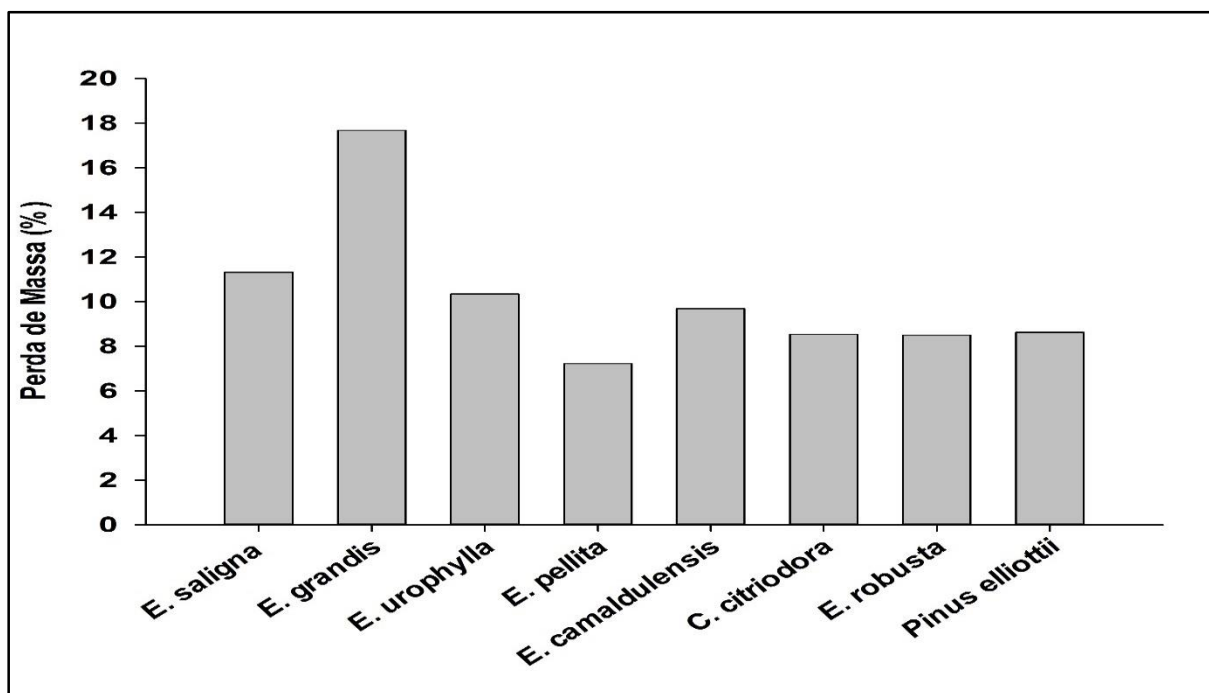
Espécies Avaliadas	Perda de Massa (%)	
<i>Eucalyptus saligna</i>	11,32 B	
<i>Eucalyptus grandis</i>	17,67 A	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	10,34 B	
<i>Eucalyptus pellita</i>	7,22 C	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	9,69 B	
<i>Corymbia citriodora</i>	8,54 C	
<i>Eucalyptus robusta</i>	8,50 C	
<i>Pinus elliottii</i>	8,62 C	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição
	9,32 b	11,16 a

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

Nota-se (Figura 13), que dentre as espécies de eucaliptos avaliadas, a maior perda de massa foi observada para a madeira de *E. grandis* (17,67%) e os menores valores para a madeira de *E. pellita* (7,22%). O nível de danos do ataque destes

microorganismos ocorre de forma menos perceptível e mais lentamente, do que a biodeterioração causada por fungos de podridão parda e branca (SHMULSKY; JONES, 2011; BRISCHKE et al., 2013b).

Figura 13 - Percentuais médios da perda de massa para as madeiras avaliadas em ensaio de podridão mole.



Fonte: o autor.

Com relação ao fungo *Trametes versicolor*, foi observado na análise de variância, que ambos os fatores avaliados e a interação foram significativos (Apêndice E, Tabela 2E). As maiores perdas de massa foram para o terceiro mês, resultante de maior tempo de ataque das hifas do fungo nas madeiras ensaiadas (Tabela 16). Apesar de ser avaliado mensalmente, o percentual de perda de massa foi somente considerado para os valores obtidos no terceiro mês, o qual representa 12 semanas de exposição preconizadas na ASTM D-2017 (2005).

Entre as posições ensaiadas, a região de transição exibiu os maiores percentuais de perdas de massa, quando comparada com a madeira proveniente do cerne mediano, com exceção da madeira de *Pinus elliottii*, em que, estas foram estatisticamente semelhantes, provavelmente em virtude, de maior homogeneidade do lenho desta espécie florestal.

Tabela 16 - Percentuais médios de perda de massa em função do tempo (meses) nas espécies e posições avaliadas para o fungo *Trametes versicolor*.

Espécies Avaliadas	<i>Trametes versicolor</i>					
	1° Mês		2° Mês		3° Mês	
	Perda de Massa (%)		Perda de Massa (%)		Perda de Massa (%)	
	Cerne	Transição	Cerne	Transição	Cerne	Transição
<i>E. saligna</i>	1,07 Ba	2,29 Ca	1,23 Cb	7,94 Ba	2,67 Bb	15,44 Ba
<i>E. grandis</i>	2,41 Bb	6,84 Aa	6,10 Bb	15,76 Aa	19,62 Ab	29,88 Aa
<i>E. urophylla</i>	1,05 Bb	9,73 Aa	1,97 Cb	20,45 Aa	5,72 Bb	28,99 Aa
<i>E. pellita</i>	0,87 Bb	4,73 Ba	2,66 Cb	13,83 Aa	5,51 Bb	25,86 Aa
<i>E. camaldulensis</i>	1,07 Bb	5,30 Ba	1,10 Cb	6,12 Ba	5,23 Bb	14,69 Ba
<i>C. citriodora</i>	1,01 Bb	6,49 Ba	3,48 Cb	12,67 Aa	4,33 Bb	20,74 Ba
<i>E. robusta</i>	0,52 Bb	4,97 Ba	2,93 Cb	16,69 Aa	6,73 Bb	20,54 Ba
<i>Pinus elliottii</i>	5,17 Aa	5,19 Ba	12,12 Aa	12,14 Ba	20,16 Aa	20,18 Ba

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

Entre as espécies avaliadas, a maior perda de massa foi observada para o *E. grandis* e a madeira de *Pinus elliottii*, no cerne mediano. Sendo às demais espécies estatisticamente semelhantes. Quanto à região de transição, a menor resistência natural foi observada para as espécies *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. pellita*.

Esta diferença de resistência natural entre as posições avaliadas ocorreu, provavelmente, em decorrência do cerne possuir menor teor de umidade, morte das células do parênquima e principalmente maior teor de extrativos, que o tornam com maior durabilidade natural aos agentes xilófagos, quando comparado ao alburno (KOCH; SCHMITT, 2013; SILVA et al., 2014; LI et al., 2013). No entanto, o efeito fungicida depende principalmente de compostos fenólicos, tais como, polifenóis, terpenóides, tropolonas e taninos que inibem o crescimento fúngico (SJÖSTROM 1981; SCHMIDT, 2006; MORRELL, 2012; KLOCK; ANDRADE, 2013).

A espécie *E. robusta*, com idade aproximada de 35 anos, posterior ao ataque do fungo *Trametes versicolor* apresentou perda de massa de 11,89% na madeira proveniente do cerne (CARVALHO et al., 2015), logo, superior ao valor encontrado nesta pesquisa (6,73%). Isto provavelmente esteja relacionado à desintoxicação biológica ou oxidação natural de extrativos presentes no cerne, uma vez que, a polimerização contínua destes compostos secundários produzem substâncias com

menos toxidez aos organismos xilófagos (LEPAGE et al., 1986; ZABEL; MORRELL, 1992; MOTTA et al., 2013).

Quanto à resistência natural das madeiras, estas foram classificadas ao término do ensaio biológico, conforme a ASTM D-2017 (2005), como resistentes ao fungo *Trametes versicolor* (*E. grandis* e *Pinus elliottii*) e altamente resistentes, as demais espécies avaliadas; quando analisada a região de cerne mediano. Já para a região de transição, todas as espécies foram classificadas como resistentes ou de resistência moderada.

Quanto aos fungos *Postia placenta* e *Gloeophyllum trabeum*, na análise de variância, foi observado que ambos os fatores avaliados e a interação foram significativos (Apêndice E, Tabela 2E), com a maior perda de massa para o *Pinus elliottii*, em ambas as posições avaliadas (Tabela 17). Estes fungos têm preferência por atacar madeiras de coníferas (SHMULSKY; JONES, 2011; VIVIAN et al., 2015).

Para o *Postia placenta*, quanto às espécies de eucaliptos, para o cerne mediano, as maiores perdas de massa médias foram para a madeira de *E. grandis*, com menores valores nas espécies *E. camaldulensis* e *C. citriodora*. Na região de transição, observou-se que o *E. urophylla* exibiu as maiores perdas de massa. Nota-se que o ensaio com o fungo *Postia placenta*, para as madeiras de *E. grandis* e *E. saligna*, a região de transição apresentou menores perdas de massa, enquanto para o *E. pellita* e *E. robusta*, os resultados foram estatisticamente semelhantes.

Ao avaliar o cerne mediano, praticamente todas as espécies foram consideradas como altamente resistentes, com exceção, das madeiras de *E. grandis* e *Pinus elliottii*, que possuíram resistência moderada ao agente xilófago utilizado. Na região de transição, as madeiras de *E. saligna* e *E. camaldulensis* foram agrupadas como altamente resistentes, *Pinus elliottii*, como de resistência moderada e as demais espécies, classificadas como resistentes. Silva et al. (2014) ao avaliarem a madeira de cerne de *E. grandis* com seis anos de idade, obtiveram resultado de perda de massa de 34,21% para o fungo *Postia placenta*, valor próximo ao encontrado no presente estudo para o cerne mediano.

Em relação ao fungo *Gloeophyllum trabeum*, as maiores perdas de massa entre as madeiras de eucaliptos, foram para a espécie *E. grandis* no cerne mediano, no qual, as demais madeiras apresentaram perdas de massa estatisticamente

semelhantes. Quanto à região de transição, o *E. urophylla* exibiu as maiores de perda de massa.

Tabela 17 - Percentuais médios da perda de massa em função do tempo (meses) nas espécies e posições avaliadas para os fungos *Postia placenta* e *Gloeophyllum trabeum*.

Espécies Avaliadas	<i>Postia placenta</i>					
	1º Mês		2º Mês		3º Mês	
	Perda de Massa (%)		Perda de Massa (%)		Perda de Massa (%)	
	-		Cerne	Transição	Cerne	Transição
<i>E. saligna</i>	2,57 C		6,79 Da	5,63 Da	17,69 Da	8,32 Db
<i>E. grandis</i>	8,06 B		31,52 Ba	15,76 Cb	38,13 Ba	19,89 Cb
<i>E. urophylla</i>	4,83 C		4,55 Db	21,41 Ba	16,02 Db	28,67 Ba
<i>E. pellita</i>	2,56 C		10,42 Ca	15,30 Ca	22,69 Ca	19,42 Ca
<i>E. camaldulensis</i>	1,22 C		0,52 Eb	6,16 Da	0,67 Eb	10,16 Da
<i>C. citriodora</i>	1,71 C		2,58 Db	9,52 Da	2,84 Eb	12,08 Da
<i>E. robusta</i>	11,37 B		13,41 Ca	12,99 Ca	21,53 Ca	18,52 Ca
<i>Pinus elliottii</i>	26,99 A		42,65 Aa	42,72 Aa	53,58 Aa	53,62 Aa
Posições	Cerne	Transição	-	-	-	-
Avaliadas	8,23 a	6,59 a	-	-	-	-
Espécies Avaliadas	<i>Gloeophyllum trabeum</i>					
	1º Mês		2º Mês		3º Mês	
	Perda de Massa (%)		Perda de Massa (%)		Perda de Massa (%)	
	Cerne	Transição	Cerne	Transição	Cerne	Transição
<i>E. saligna</i>	0,59 Ca	0,59 Da	0,73 Ca	1,14 Ca	4,49 Ca	5,84 Da
<i>E. grandis</i>	3,05 Ba	1,32 Cb	11,89 Ba	8,08 Ba	24,76 Ba	16,42 Ca
<i>E. urophylla</i>	0,64 Cb	2,56 Ba	1,43 Cb	7,73 Ba	1,92 Cb	23,11 Ba
<i>E. pellita</i>	0,87 Cb	1,75 Ba	0,87 Cb	9,32 Ba	1,08 Cb	17,10 Ca
<i>E. camaldulensis</i>	1,23 Ca	1,41 Ca	1,62 Ca	3,21 Ca	2,09 Ca	3,86 Da
<i>C. citriodora</i>	0,62 Cb	1,99 Ba	1,75 Cb	9,10 Ba	3,89 Ca	10,32 Da
<i>E. robusta</i>	0,59 Cb	2,01 Ba	2,65 Cb	6,67 Ba	3,21 Cb	14,02 Ca
<i>Pinus elliottii</i>	14,25 Aa	14,35 Aa	31,87 Aa	31,96 Aa	44,88 Aa	44,96 Aa

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

Para o cerne mediano, somente a madeira de *Pinus elliottii* foi considerada não resistente. As madeiras de *E. camaldulensis* e *C. citriodora* foram classificadas como altamente resistentes, sendo as demais espécies avaliadas como resistentes ou de

resistência moderada. Para a região de transição se observou a mesma tendência anterior para o *Pinus elliottii*. Quanto às folhosas, a madeira de *E. saligna* foi classificada como altamente resistente e as demais espécies como resistentes ou de resistência moderada.

Carvalho et al. (2015) ao avaliarem a madeira de cerne de *E. robusta* com idade aproximada de 35 anos, encontraram valores médios de perda de massa de 16,22% para o fungo *Gloeophyllum trabeum*, resultado superior ao exposto nesta pesquisa. Esta diferença possivelmente esteja relacionada ao fenômeno de desintoxicação biológica de extrativos fenólicos presentes no cerne, que produzem compostos menos tóxicos aos agentes xilófagos e consequentemente reduzem a durabilidade natural da madeira (LEPAGE et al., 1986; ZABEL; MORRELL, 1992).

Assim como observado para o *Postia placenta*, algumas madeiras de eucaliptos não apresentarem diferença estatística entre as duas posições ensaiadas. Pode ser observado na Tabela 18, que o fungo *Trametes versicolor* foi o único que exibiu interação entre os fatores meses e posição avaliadas.

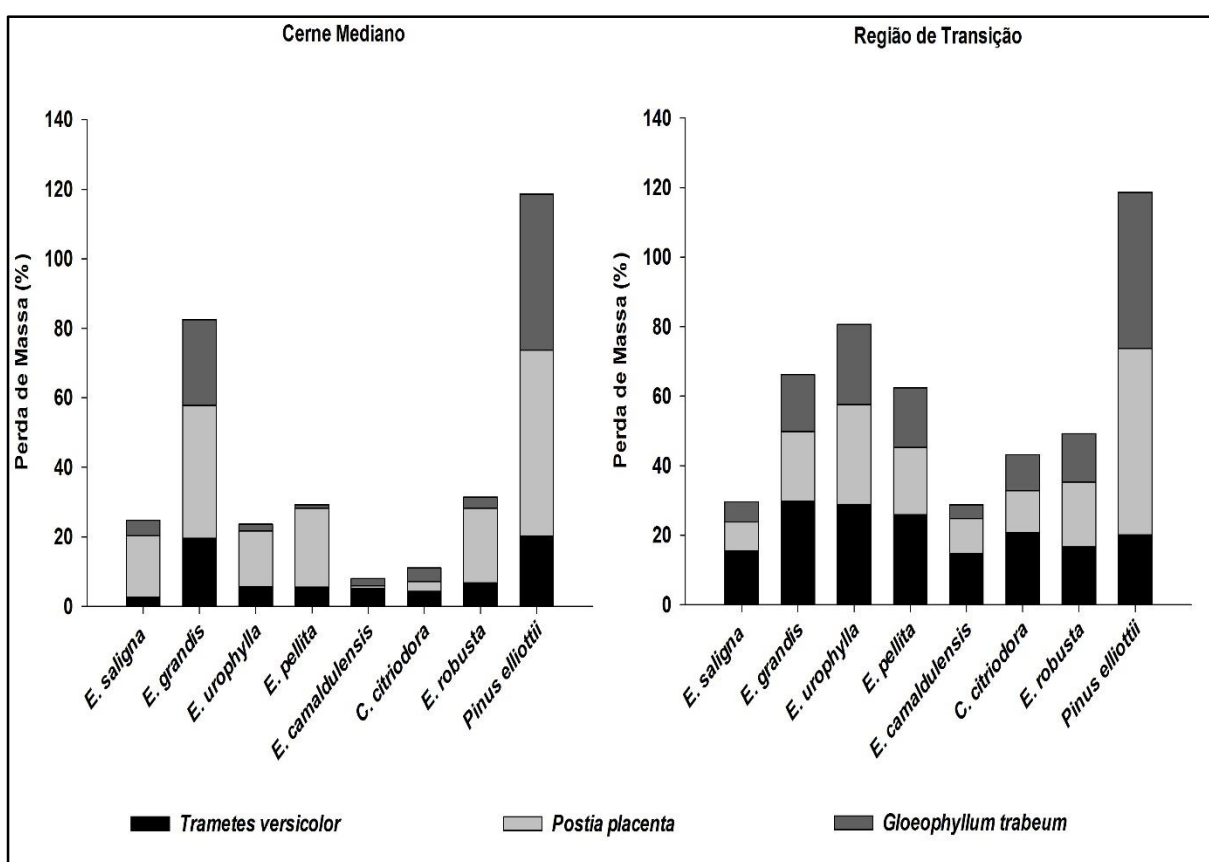
Tabela 18 - Percentuais médios da perda de massa provocada pelos fungos ao longo dos meses avaliados.

Tempo (Meses)	<i>Trametes versicolor</i>	
	Perda de Massa (%)	
	Cerne	Transição
1	1,65 Cb	5,69 Ca
2	3,95 Bb	13,68 Ba
3	8,78 Ab	21,56 Aa
Tempo (Meses)	<i>Postia placenta</i>	
	Perda de massa (%)	
	1	7,41 C
2	15,16 B	
3	21,49 A	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição
	14,64 a	14,70 a
Tempo (Meses)	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	
	Perda de Massa (%)	
	1	2,98 C
2	8,12 B	
3	13,87 A	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição
	6,71 b	9,94 a

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

O terceiro mês exibiu as maiores perdas de massa, evidenciando que o fungo manteve sua atividade enzimática no decorrer dos meses, sendo o cerne mediano menos susceptível ao ataque biológico. Em relação aos fungos de podridão parda, foi observado a mesma tendência para o fungo de podridão branca, com exceção, para o *Postia placenta*, em que, as duas posições avaliadas foram estatisticamente semelhantes. Na Figura 14, pode ser visualizada a diferença de resistência natural entre as posições e espécies avaliadas.

Figura 14 - Percentuais médios de perda de massa, ocasionadas pelos fungos de podridão branca e parda nas madeiras e posições avaliadas.



Fonte: o autor.

Para as espécies mais resistentes ao ataque dos fungos *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor*, esta provavelmente resultante da presença de extrativos de natureza tóxica, como os flavonóides, que incluem muitas fitoalexinas importantes que inibem o crescimento destes fungos (ZABEL; MORRELL, 1992; SCHMIDT, 2006).

4.5 VARIAÇÃO COLORIMÉTRICA DA MADEIRA APÓS ATAQUE FÚNGICO

Com relação aos valores colorimétricos da variação da cor nas madeiras ensaiadas ocasionada pelo ataque do *Trametes versicolor* (podridão branca), pode ser observado que não existe um padrão de variação de acréscimo ou decréscimo da variabilidade da cor entre as três avaliações realizadas (Tabela 19), provavelmente, em virtude, do uso de diferentes amostras para cada mês avaliado.

Ao avaliar as posições ensaiadas ao término do ensaio biológico, nota-se que as madeiras *E. pellita*, *E. camaldulensis*, *E. citriodora* e *E. robusta*, a variação da cor foi menor no cerne mediano. Nas demais espécies avaliadas a região de transição exibiram as maiores variabilidades de coloração das madeiras.

Tabela 19 - Percentuais médios da variação colorimétrica (ΔE) provocada pelo fungo *Trametes versicolor*.

Espécies Avaliadas	<i>Trametes versicolor</i>					
	1º Mês		2º Mês		3º Mês	
	ΔE		ΔE		ΔE	
	Cerne	Transição	Cerne	Transição	Cerne	Transição
<i>E. saligna</i>	11,37 Ba	12,86 Ba	9,64 Ba	11,08 Ba	8,51 Ba	10,15 Ca
<i>E. grandis</i>	9,50 Ba	11,09 Ba	10,04 Ba	11,81 Ba	13,66 Aa	16,88 Aa
<i>E. urophylla</i>	14,41 Aa	10,43 Bb	13,72 Aa	12,18 Ba	14,48 Aa	13,46 Ba
<i>E. pellita</i>	11,05 Bb	15,25 Aa	9,18 Bb	14,24 Aa	6,29 Cb	15,72 Aa
<i>E. camaldulensis</i>	14,73 Aa	16,81 Aa	12,55 Aa	15,80 Aa	10,40 Ab	17,48 Aa
<i>C. citriodora</i>	9,90 Bb	16,92 Aa	11,32 Bb	18,48 Aa	12,85 Ab	19,95 Aa
<i>E. robusta</i>	8,47 Cb	12,94 Ba	9,02 Bb	15,35 Aa	7,42 Bb	11,29 Ca
<i>Pinus elliottii</i>	11,36 Ba	11,40 Ba	10,58 Aa	10,64 Ba	12,46 Aa	12,50 Ba

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

A madeira de *E. pellita* foi menos susceptível a alteração colorimétrica da madeira no cerne mediano, seguida pelas madeiras de *E. saligna* e *E. robusta*. As demais apresentaram as maiores mudanças de cor, sendo estatisticamente semelhantes. Para a região de transição, as madeiras de *E. robusta* e *E. saligna* foram menos vulneráveis a modificação da cor na madeira por ataque do fungo *Trametes*

versicolor, sucedidas pelo *Pinus elliottii*, com as espécies restantes estatisticamente iguais.

Ao utilizar a comparação realizada por Stangerlin (2012), Tabela 5, as madeiras de *E. robusta* e *E. pellita*, somente no cerne mediano exibiram uma classificação da variação total na atribuição de “perceptível”, sendo as demais madeiras avaliadas classificadas com mudança na coloração da madeira de “muito perceptível”, que destaca a capacidade de modificação da cor da madeira provocada pela ação do fungo *Trametes versicolor*.

Com relação aos fungos causadores da podridão parda (Tabela 20), observa-se ao final do ensaio, para o *Postia placenta*, que a maior variação colorimétrica foi para o *Pinus elliotti* no cerne mediano. Entre as espécies de eucaliptos, os maiores valores foram observados no *E. saligna*, *E. grandis* e *E. urophylla*. Ao analisar a posição de transição, a madeira de *Pinus elliotti* foi mais susceptível a variação colorimétrica, e o *E. robusta*, foi o que exibiu a menor susceptibilidade às mudanças de cor ocasionadas pelo fungo *Postia placenta* nas espécies de eucaliptos. Quando comparada as duas posições avaliadas, as madeiras de *E. saligna* e *E. urophylla* exibiram menores variações de cor na região de transição.

Ao analisarem as alterações de cor da madeira provocadas pelo fungo *Gloeophyllum trabeum* (Tabela 20) ao final do ensaio, os maiores valores das modificações colorimétricas foram observadas para a madeira de *Pinus elliottii* na região de cerne mediano, para o *E. grandis* e o *C. citriodora*. Ao avaliar a posição de transição, observou-se que a espécie *Pinus elliottii* exibiu maiores variações colorimétricas, e o *E. saligna* exibiu a menor susceptibilidade às mudanças de cor ocasionadas pelo fungo *Gloeophyllum trabeum*.

O cerne mediano foi menos vulnerável à variação da cor que a região de transição, e esta diferença de mudança colorimétrica entre as duas posições está relacionada à resistência natural exibida pelas espécies ao ataque fúngico, em que, a presença de baixos teores de extrativos, como, os compostos fenólicos, taninos, resinas, ceras e gorduras proporcionam uma menor durabilidade natural da madeira aos agentes xilófagos (PALA, 2007).

As maiores alterações de cor para a madeira de *Pinus elliottii* para os fungos de podridão parda, está provavelmente relacionada à maior susceptibilidade desta espécie a estes microorganismos, ocasionando ataque mais expressivo e

consequentemente, modificações mais acentuadas na cor da madeira, quando comparado às espécies de eucaliptos (SCHMIDT, 2006; SHMULSKY; JONES, 2011; VIVIAN et al., 2015).

Tabela 20 - Percentuais médios da variação colorimétrica (ΔE) provocada pelo fungo de podridão parda.

Espécies Avaliadas	<i>Postia placenta</i>					
	1º Mês		2º Mês		3º Mês	
	ΔE		ΔE		ΔE	
	Cerne	Transição	Cerne	Transição	Cerne	Transição
<i>E. saligna</i>	9,55 Ca	9,37 Ca	10,22 Da	10,36 Da	16,09 Ba	13,30 Cb
<i>E. grandis</i>	11,69 Ba	9,98 Cb	17,42 Ba	18,05 Ba	17,30 Bb	20,68 Ba
<i>E. urophylla</i>	13,10 Ba	11,80 Ca	14,19 Ca	12,84 Ca	17,19 Ba	14,01 Cb
<i>E. pellita</i>	7,98 Cb	14,06 Ba	8,93 Db	14,42 Ca	11,70 Cb	17,92 Ba
<i>E. camaldulensis</i>	21,97 Aa	17,70 Aa	19,59 Ba	17,34 Ba	13,00 Cb	18,95 Ba
<i>C. citriodora</i>	10,55 Ba	11,51 Ca	11,25 Db	19,09 Ba	12,99 Cb	17,99 Ba
<i>E. robusta</i>	8,67 Ca	10,99 Ca	10,72 Da	12,58 Ca	10,97 Ca	11,09 Da
<i>Pinus elliottii</i>	18,03 Aa	18,07 Aa	22, 79 Aa	22, 82 Aa	31,78 Aa	31,82 Aa

Espécies Avaliadas	<i>Gloeophyllum trabeum</i>					
	1º Mês		2º Mês		3º Mês	
	ΔE		ΔE		ΔE	
	Cerne	Transição	Cerne	Transição	Cerne	Transição
<i>E. saligna</i>	8,31 Ca	9,87 Ba	8,71 Da	7,74 Da	9,66 Ca	11,84 Ea
<i>E. grandis</i>	8,18 Cb	15,38 Aa	16,97 Ba	15,70 Ba	19,36 Ba	18,10 Ca
<i>E. urophylla</i>	10,89 Ba	10,10 Ba	13,34 Ca	13,45 Ca	12,81 Cb	18,09 Ca
<i>E. pellita</i>	7,71 Cb	16,14 Aa	8,08 Db	15,54 Ba	8,98 Cb	21,40 Ba
<i>E. camaldulensis</i>	12,79 Ab	18,55 Aa	13,58 Cb	18,21 Ba	9,87 Cb	13,75 Da
<i>C. citriodora</i>	9,85 Bb	16,05 Aa	22,13 Ba	23,15 Aa	15,42 Bb	21,31 Ba
<i>E. robusta</i>	6,91 Cb	10,44 Ba	9,96 Da	12,67 Ca	10,21 Cb	14,37 Da
<i>Pinus elliottii</i>	14,03 Aa	14,07 Aa	22,79 Aa	22,82 Aa	26,45 Aa	26,47 Aa

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

Em ambos os fungos de podridão parda avaliados, independentemente da espécie ou posição analisada, a variação colorimétrica ao final do ensaio foi classificadas como “Muito perceptível” (Tabela 5), para todas as espécies avaliadas.

Na Tabela 21 podem ser visualizadas as interações entre a variação da cor da madeira nas duas posições e os três meses avaliados. Observa-se, de modo geral,

que em ambas as posições avaliadas, as madeiras foram menos propícias à variação de coloração ao fungo *Trametes versicolor*.

Tabela 21 - Valores médios da variação da cor (ΔE) em intervalo de um mês durante o ataque fúngico.

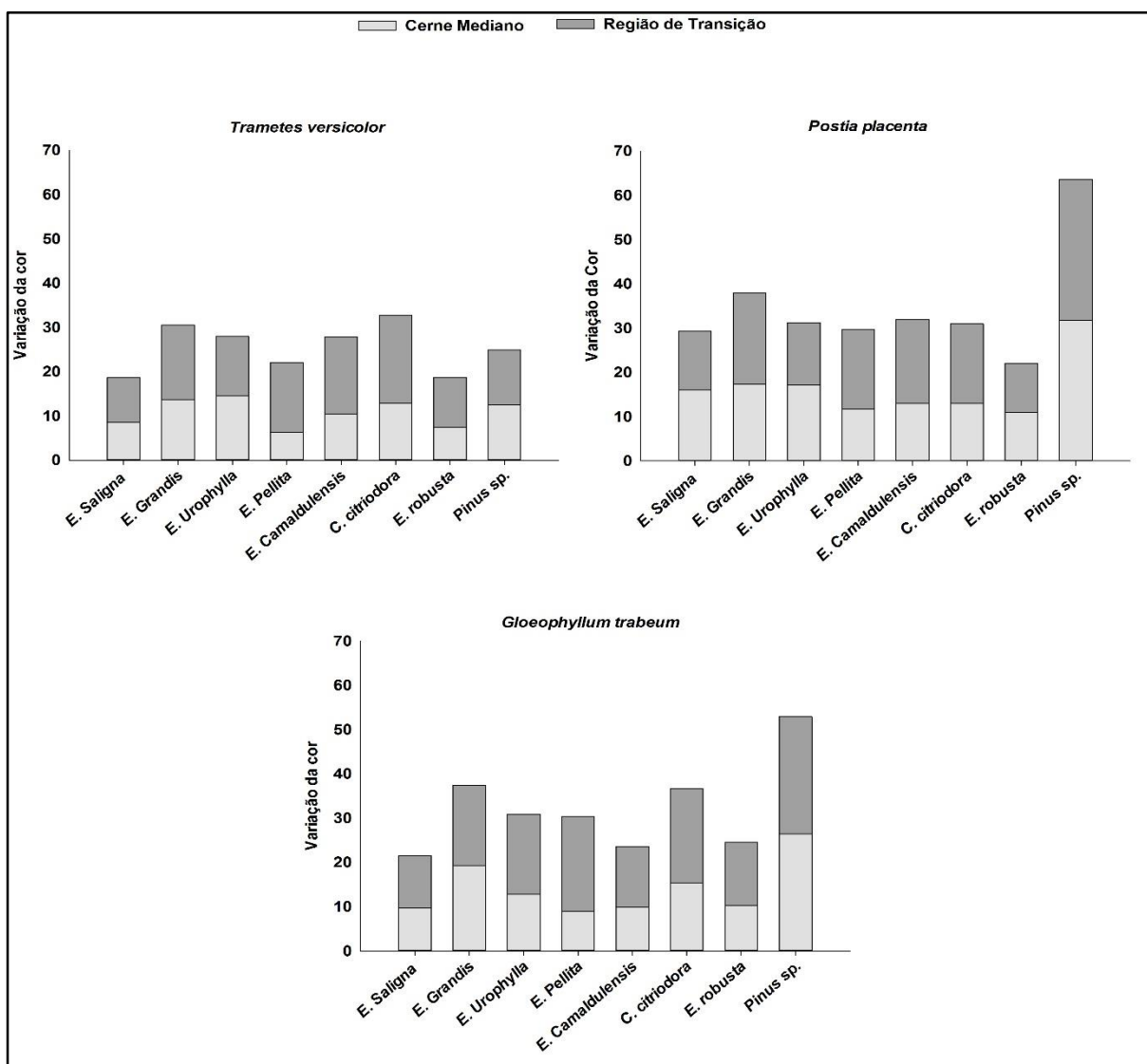
<i>Trametes versicolor</i>		
Tempo (Meses)	ΔE	
	Cerne	Transição
1	11,35 Ab	13,76 Aa
2	10,78 Ab	14,14 Aa
3	10,52 Ab	14,99 Aa
<i>Postia placenta</i>		
Tempo (Meses)	ΔE	
	Cerne	Transição
1	11,93 Ba	12,20 Ca
2	13,19 Ab	14,95 Ba
3	14,18 Ab	16,28 Aa
<i>Gloeophyllum trabeum</i>		
Tempo (Meses)	ΔE	
	Cerne	Transição
1	9,23 Bb	13,79 Ba
2	13,25 Ab	15,21 Ba
3	12,33 Ab	16,98 Aa

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

Já o *Gloeophyllum trabeum* promoveu os maiores valores das modificações de cor nas madeiras ensaiadas na região de transição, enquanto o *Postia placenta* apresentou os maiores resultados para o cerne mediano (FIGURA 15). Fungos de podridão parda degradam com mais rapidez a madeira que os de podridão branca (BRISCHKE; MEYER-VELTRUP, 2016), que resultou em maiores variações colorimétricas nas madeiras avaliadas.

Em relação ao tempo de exposição, para o fungo *Trametes versicolor* não houve diferença de variação de cor entre as três avaliações realizadas e, o cerne mediano exibiu os menores resultados. Com relação aos fungos *Postia Placenta* e *Gloeophyllum trabeum*, o primeiro mês exibiu as menores variações colorimétricas. Isto pode estar relacionado, possivelmente ao aumento na atividade fúngica, já que no início do ataque ainda o micélio estava em desenvolvimento nas amostras das madeiras.

Figura 15 - Modificações colorimétricas resultante do ataque fúngico às madeiras avaliadas.



Fonte: o autor.

Com relação às duas posições avaliadas, a região de transição foi mais susceptível à mudança de coloração durante o ensaio fúngico. Isto provavelmente esteja relacionado à presença de alburno, que possui alta susceptibilidade à deterioração por organismos xilófagos (RÄBERG et al., 2005). Esta melhor visualização das diferenças das modificações colorimétricas nas madeiras, ocasionadas pelo ataque dos três fungos nas duas posições avaliadas são apresentadas na Figura 15.

4.6 ENSAIOS EM SIMULADOR ACELERADO DE CAMPO E EM CAMPO

O ensaio em simulador de campo, preenchido com solo proveniente do município de Jerônimo Monteiro, não apresentou interação significativa entre as posições avaliadas e espécies de eucaliptos para perda de massa (Apêndice F, Tabela 2F). A madeira proveniente do cerne mediano exibiu menor perda de massa, quando comparada à proveniente da região de transição (Tabela 22).

Ao avaliar as perdas de massas entre as madeiras de eucaliptos, estas foram estatisticamente iguais. Ao avaliar o desgaste, as posições foram estatisticamente semelhantes, e as madeiras de *E. grandis* e *E. saligna* com maiores notas de desgaste. Apesar deste ensaio ser mais realístico que os de laboratório, ocorre no mesmo à presença principalmente de fungos podridão mole, os quais causam a degradação progressiva das superfícies da madeira para o interior de maneira mais lentamente, do que os fungos de podridão branca e parda (SHMULSKY; JONES, 2011). Isto, provavelmente resultou à similaridade das perdas de massas entre as madeiras estudadas.

Com relação ao solo de São José do Calçado, não houve interação significativa entre as espécies e as posições avaliadas (Apêndice F, Tabela 2F). Quanto às posições ensaiadas, o cerne mediano exibiu as menores perdas de massa, e, com relação ao desgaste, estas foram estatisticamente semelhantes. Para as espécies avaliadas, o *E. grandis* e *E. saligna* exibiram as maiores perda de massa e notas de desgaste, às demais espécies foram estatisticamente iguais.

Os corpos de prova soterrados no solo proveniente do município de Vargem Alta, não exibiram interação significativa entre as espécies de eucaliptos e as posições ensaiadas (Tabela 2F, Apêndice F). Ao comparar as posições avaliadas, as madeiras resultantes da região de transição exibiram as maiores perdas de massa. Quanto a perda de massa entre às madeiras de eucaliptos, estas foram estatisticamente semelhantes. Em relação ao desgaste, as posições ensaiadas foram estatisticamente semelhantes, e ao analisar as espécies, o *E. grandis* exibiu as maiores notas de desgaste, seguido pelo *E. pellita*, tendo as demais madeiras estudadas apresentado valores iguais.

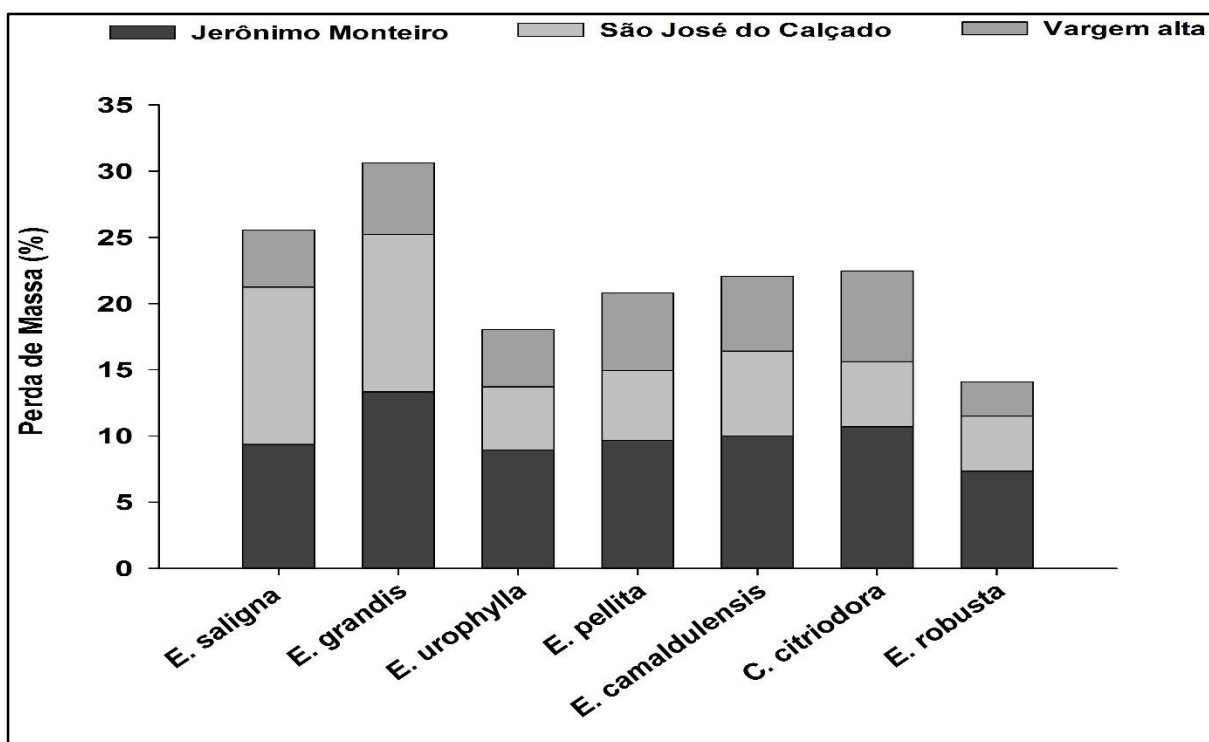
Tabela 22 - Valores médios da perda de massa e desgaste das sete espécies de eucaliptos em simulador de campo.

Espécies Avaliadas	Jerônimo Monteiro			
	Perda de Massa (%)		Desgaste (Notas)	
<i>Eucalyptus saligna</i>	9,37 A		0,83 A	
<i>Eucalyptus grandis</i>	13,32 A		1,00 A	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	8,93 A		0,00 B	
<i>Eucalyptus pellita</i>	9,66 A		0,00 B	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	9,98 A		0,00 B	
<i>Corymbia citriodora</i>	10,69 A		0,00 B	
<i>Eucalyptus robusta</i>	7,34 A		0,00 B	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição	Cerne	Transição
	7,90 b	11,90 a	0,33 a	0,19 a
Espécies Avaliadas	São José do Calçado			
	Perda de Massa (%)		Desgaste (Notas)	
<i>Eucalyptus saligna</i>	11,87 A		2,67 A	
<i>Eucalyptus grandis</i>	11,91 A		2,00 A	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	4,78 B		0,17 B	
<i>Eucalyptus pellita</i>	5,28 B		0,17 B	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	6,42 B		0,00 B	
<i>Corymbia citriodora</i>	4,92 B		0,00 B	
<i>Eucalyptus robusta</i>	4,15 B		0,00 B	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição	Cerne	Transição
	5,99 b	8,10 a	0,71 a	0,72 a
Espécies Avaliadas	Vargem Alta			
	Perda de massa (%)		Desgaste (notas)	
<i>Eucalyptus saligna</i>	4,32 A		0,00 C	
<i>Eucalyptus grandis</i>	5,39 A		1,00 A	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	4,35 A		0,00 C	
<i>Eucalyptus pellita</i>	5,87 A		0,50 B	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5,66 A		0,00 C	
<i>Corymbia citriodora</i>	6,87 A		0,00 C	
<i>Eucalyptus robusta</i>	2,59 A		0,00 C	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição	Cerne	Transição
	4,23 b	5,79 a	0,24 a	0,19 a

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

No geral, as menores perda de massa das madeiras de eucaliptos avaliadas foram observadas para o solo proveniente do município de Vargem Alta, enquanto os solos coletados dos municípios de São José do Calçado e Jerônimo Monteiro proporcionaram perda de massa com maior similaridade entres as espécies de eucaliptos avaliadas (Figura 16).

Figura 16 - Percentuais de perda de massa, provocada pelos fungos apodrecedores nas madeiras e posições avaliadas.



Fonte: o autor.

Quanto aos dados meteorológicos dos três municípios onde foram realizados o ensaio de campo, a maior precipitação média durante o período avaliado foi observada para São José do Calçado (81,55 mm), seguida por Jerônimo Monteiro (67,94 mm), e Vargem Alta (74,22 mm). Quanto a temperatura média, o maior valor foi para Jerônimo Monteiro (23,28 °C), acompanhada por São José do Calçado (21,78 °C) e Vargem Alta (19,27 °C) (Apêndice B, Figuras 1, 2 e 3). Estes dois fatores climáticos influenciam diretamente a biodeterioração da madeira.

No ensaio de campo, realizado no município de Jerônimo Monteiro, não se observou diferença estatística entre as espécies de eucaliptos e posições analisadas, no entanto, pode ser visualizado que no decorrer das três avaliações realizadas, as espécies *E. saligna*, *E. grandis* e *E. camaldulensis* tiveram um aumento progressivo nas suas notas de desgastes. A região de transição exibiu as maiores notas, quando comparado aos corpos de prova obtidos do cerne mediano, porém, ambas foram estatisticamente iguais. Quanto aos resultados para o comportamento, estes seguiram a mesma tendência observada anteriormente para o desgaste (Tabela 23).

Provavelmente, esta similaridade de resistência natural das madeiras ao intemperismo e ao ataque de agentes xilófagos, esteja relacionado ao tempo de avaliação em campo, que contemplou 1 ano e 6 meses. Segundo Silva e Castro (2014), ao utilizar a madeira de eucalipto para construção de cercas, mourões ou estacas sem tratamento preservativo, estes possuem um vida útil entre três e quatro anos. Desta forma, no decorrer dos meses seguintes deverá ser observado maiores variações da durabilidade natural entre as espécies estudadas.

Pode ser observada a mesma tendência de desgaste para as madeiras de eucaliptos avaliadas, anteriormente exibidos para o ensaio em simulador acelerado de campo, o que representa uma similaridade entre os dois ensaios realizados.

No município de São José do Calçado, foi observada diferença estatística entre as duas posições avaliadas após 12 e 18 meses, em que, a região de transição exibiu os maiores valores de desgaste, sendo mais susceptível aos fatores edafoclimáticos e biológicos (Tabela 24). Isto provavelmente, esteja relacionado à presença de alburno nesta posição que em decorrência de sua maior permeabilidade, contribui para maiores teores de umidade na madeira, além dos compostos químicos poderem ser lixiviados, contribuindo desta forma, para ataque de agentes xilófagos (BRISCHKE; MEYER-VELTRUP, 2015).

Aos 18 meses de avaliação, o comportamento exibiu estatisticamente disparidade entre o cerne mediano e a região de transição e, entre as madeiras ensaiadas não se notou diferença estatística. No geral, as espécies *E. grandis* e *E. robusta* exibiram maiores desgastes, e as madeiras de *C. citriodora* e *E. pellita* os menores valores, ao decorrer das três avaliações realizadas.

Tabela 23 - Valores de desgaste e comportamento das espécies avaliadas em campo no município de Jerônimo Monteiro.

Espécies Avaliadas	Tempo (Meses)			
	06 Meses			
	Desgaste (Notas)		Comportamento	
<i>Eucalyptus saligna</i>	0,33 A		96,67 A	
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,33 A		96,67 A	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	0,00 A		100,00 A	
<i>Eucalyptus pellita</i>	0,00 A		100,00 A	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0,17 A		98,33 A	
<i>Corymbia citriodora</i>	0,17 A		98,33 A	
<i>Eucalyptus robusta</i>	0,17 A		98,33 A	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição	Cerne	Transição
	0,09 a	0,24 a	97,62 a	99,05 a
Espécies Avaliadas	12 Meses			
	Desgaste (Notas)		Comportamento	
<i>Eucalyptus saligna</i>	1,33 A		83,33 A	
<i>Eucalyptus grandis</i>	1,50 A		80,00 A	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	1,00 A		90,00 A	
<i>Eucalyptus pellita</i>	1,00 A		90,00 A	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	1,17 A		86,67 A	
<i>Corymbia citriodora</i>	1,50 A		78,33 A	
<i>Eucalyptus robusta</i>	1,50 A		80,00 A	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição	Cerne	Transição
	1,19 a	1,38 a	86,19 a	81,90 a
Espécies Avaliadas	18 Meses			
	Desgaste (Notas)		Comportamento	
<i>Eucalyptus saligna</i>	1,50 A		80,00 A	
<i>Eucalyptus grandis</i>	1,67 A		76,67 A	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	1,00 A		90,00 A	
<i>Eucalyptus pellita</i>	1,00 A		90,00 A	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	1,33 A		83,33 A	
<i>Corymbia citriodora</i>	1,50 A		78,33 A	
<i>Eucalyptus robusta</i>	1,50 A		80,00 A	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição	Cerne	Transição
	1,28 a	1,43 a	84,28 a	80,95 a

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

Tabela 24 - Valores de desgaste e comportamento das espécies avaliadas em campo no município de São José do Calçado.

Espécies Avaliadas	Tempo (Meses)			
	06 Meses			
	Desgaste (Notas)		Comportamento	
<i>Eucalyptus saligna</i>	1,83 A		73,33 A	
<i>Eucalyptus grandis</i>	2,17 A		51,67 A	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	1,17 A		81,67 A	
<i>Eucalyptus pellita</i>	0,33 A		96,67 A	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	1,17 A		80,00 A	
<i>Corymbia citriodora</i>	0,50 A		93,33 A	
<i>Eucalyptus robusta</i>	2,50 A		55,00 A	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição	Cerne	Transição
	1,24 a	1,52 a	78,09 a	73,81 a
Espécies Avaliadas	12 Meses			
	Desgaste (Notas)		Comportamento	
<i>Eucalyptus saligna</i>	2,67 A		50,00 A	
<i>Eucalyptus grandis</i>	3,17 A		30,00 A	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	2,51 A		51,67 A	
<i>Eucalyptus pellita</i>	1,67 A		75,00 A	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	2,67 A		50,00 A	
<i>Corymbia citriodora</i>	1,83 A		71,67 A	
<i>Eucalyptus robusta</i>	3,50 A		20,00 A	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição	Cerne	Transição
	2,33 b	2,81 a	56,19 a	43,33 a
Espécies Avaliadas	18 Meses			
	Desgaste (Notas)		Comportamento	
<i>Eucalyptus saligna</i>	2,67 A		50,00 A	
<i>Eucalyptus grandis</i>	3,33 A		25,00 B	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	3,00 A		38,33 A	
<i>Eucalyptus pellita</i>	1,67 A		75,00 A	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	2,67 A		50,00 A	
<i>Corymbia citriodora</i>	2,33 A		58,33 A	
<i>Eucalyptus robusta</i>	3,50 A		20,00 A	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição	Cerne	Transição
	2,47 b	3,00 a	52,86 a	37,62 b

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

No ensaio de campo realizado no município de Vargem Alta, percebeu-se que somente na terceira avaliação (18 meses) houve diferença estatística entre as duas posições avaliadas, com menores desgastes e maiores índices de comportamento para o cerne mediano (Tabela 25). Isto está relacionado com o maior tempo de exposição do material as condições edafoclimáticas e biológicas da região.

Em relação às espécies avaliadas, estas foram estatisticamente semelhantes. Provavelmente, resultado das mesmas serem provenientes do mesmo gênero, com exceção do *C. citriodora* e, assim, exibirem características de durabilidade natural similares, em relação ao intemperismo e à biodeterioração causadas pelos agentes xilófagos. Entre estas, as madeiras de *E. grandis*, *E. urophylla* e *E. robusta*, demonstraram aumento do desgaste ao longo das avaliações realizadas.

Um dos principais fatores que provavelmente tenha influenciado para uma maior deterioração em São José do Calçado, entre os três municípios avaliados (Apêndice G), esteja relacionado ao teor de matéria orgânica no solo, principalmente no horizonte B, com valor de 8,8%, notadamente superior quando comparado ao teor presente no município de Jerônimo Monteiro (3,60%) e Vargem Alta (4,00%). Isto favorece a maior disponibilidade de nutrientes no solo, que propicia condições favoráveis para o desenvolvimento de agentes xilófagos (TREVISAN et al.; 2008; CORASSA et al., 2013; CARVALHO et al., 2016).

A importância da umidade está relacionada ao ataque de fungos e térmitas, em que os fungos geralmente não degradam a madeira com teores de umidade inferior a 30%, e a precipitação permite o armazenamento de água no solo, que aumenta o risco de biodeterioração desse material pelos agentes xilófagos, sendo mais favorável 45% de umidade (RÅBERG et al., 2005; MELO et al., 2010; TOMAZELI et al., 2016). Isto culminou com maiores valores de desgaste das madeiras avaliadas em São José do Calçado, que exibiu maiores índices pluviométricos no decorrer do experimento.

Quanto à temperatura, esta afeta as atividades metabólicas de fungos como, digestão, assimilação, respiração, translocação e síntese realizadas por enzimas, em que, as taxas das reações metabólicas aumentam com o acréscimo da temperatura, até o limite em que alguma reação se torne limitante desta velocidade, ou o calor cause desnaturação das enzimas, sendo a temperatura ideal para o desenvolvimento, por exemplo, dos fungos, em torno de 22 a 36 °C (RÅBERG et al., 2005; LI et al., 2013; BOUSLIMI et al., 2014).

Tabela 25 - Valores de desgaste e comportamento das espécies avaliadas em campo no município de Vargem Alta.

Espécies Avaliadas	Tempo (Meses)			
	06 Meses			
	Desgaste (Notas)		Comportamento	
<i>Eucalyptus saligna</i>	0,00		100,00	
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,00		100,00	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	0,00		100,00	
<i>Eucalyptus pellita</i>	0,00		100,00	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0,00		100,00	
<i>Corymbia citriodora</i>	0,00		100,00	
<i>Eucalyptus robusta</i>	0,00		100,00	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição	Cerne	Transição
	0,00	0,00	100,00	100,00
Espécies Avaliadas	12 Meses			
	Desgaste (Notas)		Comportamento	
<i>Eucalyptus saligna</i>	1,50 A		78,33 A	
<i>Eucalyptus grandis</i>	1,00 A		90,00 A	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	1,33 A		83,33 A	
<i>Eucalyptus pellita</i>	1,33 A		81,67 A	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	1,67 A		73,33 A	
<i>Corymbia citriodora</i>	1,50 A		78,33 A	
<i>Eucalyptus robusta</i>	1,83 A		71,67 A	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição	Cerne	Transição
	1,33 a	1,57 a	82,86 a	76,19 a
Espécies Avaliadas	18 meses			
	Desgaste (Notas)		Comportamento	
<i>Eucalyptus saligna</i>	1,50 A		78,33 A	
<i>Eucalyptus grandis</i>	1,50 A		80,00 A	
<i>Eucalyptus urophylla</i>	2,17 A		65,00 A	
<i>Eucalyptus pellita</i>	1,33 A		81,67 A	
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	1,67 A		75,00 A	
<i>Corymbia citriodora</i>	1,50 A		78,33 A	
<i>Eucalyptus robusta</i>	2,00 A		66,67 A	
Posições Avaliadas	Cerne	Transição	Cerne	Transição
	1,43 b	1,90 a	81,43 a	68,57 b

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

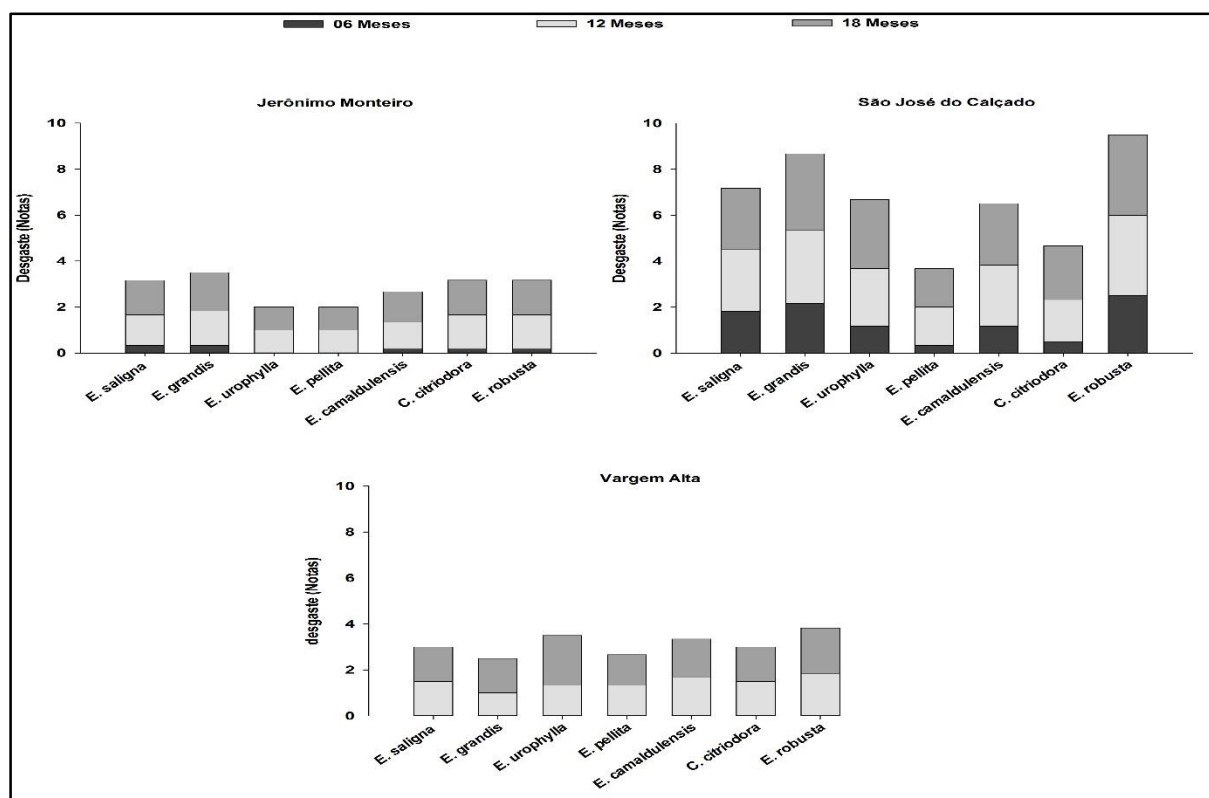
O efeito da temperatura ficou comprovado com menores valores de desgastes para as madeiras provenientes do ensaio instalado em Vargem Alta, que exibiu temperaturas médias inferiores às demais localidades. No geral, foi observado que o município de São José do Calçado apresentou as condições mais favoráveis para a deterioração natural da madeira (temperatura e umidade), o que resultou em maiores valores de desgaste, que pode ser visualizado na Tabela 26 e Figura 17.

Tabela 26 - Desgaste médio para as três localidades onde foram instalados os ensaios de campo.

Localidades	Tempo (Meses)					
	6		12		18	
	Desgaste (%)		Desgaste (%)		Desgaste (%)	
	Cerne	Transição	Cerne	Transição	Cerne	Transição
Jerônimo Monteiro	0,09 B	0,24 B	1,19 B	1,38 B	1,28 B	1,43 B
São José do Calçado	1,24 A	1,52 A	2,33 A	2,81 A	2,48 A	3,00 A
Vargem Alta	0,00 B	0,00 B	1,33 B	1,57 B	1,43 B	1,90 B

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

Figura 17 - Valores de desgaste para o ensaio de campo para as três localidades.



Fonte: o autor.

Como observado, a influência edafoclimática deve ser especialmente evidente em relação ao teor de umidade da madeira e a temperatura do ambiente, no entanto, diversos outros fatores podem influenciar, durante o ensaio de campo, tais como; competição e antagonismo entre os agentes xilófagos, composição química e permeabilidade da madeira, distância entre às fontes de infecção, teores de matéria orgânica e propriedades físico-químicas do solo, que potencialmente retardam ou intensificam a biodeterioração da madeira (BRISCHKE; OTTO; RAPP, 2008; 2010; BRISCHKE; MEYER-VELTRUP, 2016).

O solo de São José do Calçado, em média, exibiu menor valor de pH (Apêndice C). Em geral, os fungos apodrecedores da madeira se desenvolvem em condições mais ácidas; pH com intervalos entre 3 a 6 (NICHOLAS; CRAWFORD, 2003; BRISCHKE et al., 2013b), que favoreceu desta maneira, um maior ataque fúngico nas madeiras instaladas neste município, além da presença das térmitas (Apêndice G).

Nicholas; Crawford (2003) destacam que os principais nutrientes do solo necessários para o desenvolvimento dos fungos são o nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e cálcio. Assim, pode ser observado no Apêndice C, que o solo do município de Vargem Alta exibiu menores teores médios, praticamente em todos estes elementos químicos, e conseqüentemente apresentou os menores desgastes para as madeiras entre os três municípios avaliados. Desta forma, a durabilidade natural da madeira, em ensaios realizados em contato com o solo, é influenciada por vários fatores edafoclimáticos ou biológicos, que ocorrem de maneira isolada ou a combinação de ambos (BRISCHKE et al., 2014).

No geral, foi observado que entre as madeiras de eucaliptos avaliadas, os índices de desgaste obtidos nos ensaios em simulador acelerado de campo e em campo foram muito semelhantes, o que indica a redução de tempo de avaliação da madeira aos agentes xilófagos com a realização do primeiro ensaio e, conseqüentemente de custos. Brischke; Meyer; Olberding (2014) obtiveram resultados similares ao avaliarem a durabilidade de madeiras entre estes dois ensaios biológicos.

4.7 PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA AOS AGENTES XILÓFAGOS

Para avaliação da resistência natural das madeiras de eucaliptos estudadas, foram utilizados de maneira complementar, o potencial de resistência natural, a porosidade e o índice de susceptibilidade da madeira ao ataque (Tabelas 27 e 28). A espécie *E. camaldulensis* exibiu o maior potencial de resistência natural, em virtude, provavelmente da maior quantidade extrativos totais presentes da madeira, seguido pela *C. citriodora*, sendo a madeira de *E. grandis* a que ofereceu um potencial de resistência três vezes menor que o *E. camaldulensis*.

Tabela 27 - Potencial de resistência natural e porosidade das espécies de eucaliptos avaliadas.

Espécie avaliadas	Potencial de resistência natural	Porosidade (%)
<i>Eucalyptus saligna</i>	5,03	64,05
<i>Eucalyptus grandis</i>	2,65	66,51
<i>Eucalyptus urophylla</i>	3,98	61,19
<i>Eucalyptus pellita</i>	4,96	62,54
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	8,32	62,18
<i>Corymbia citriodora</i>	6,93	52,22
<i>Eucalyptus robusta</i>	4,73	60,92

Entretanto, apesar da relação entre a quantidade de extrativos e a massa específica da madeira (CARNEIRO et al., 2009), este índice de qualidade deve estar associado, principalmente, à composição química dos extrativos (STANGERLIN, 2012), com ênfase aos de características fenólicas, e dentre os principais grupos, destacam-se os polifenóis, terpenóides, tropolonas e taninos (BLANCHETTE; BIGGS, 1992; SJÖSTROM 1981; LEPAGE et al., 1986, SCHMIDT, 2006; MORRELL, 2012).

Quanto à porosidade da madeira, o menor valor foi para o *C. citriodora*, e o maior para o *E. grandis*. Madeiras com menores percentuais de vazios contribuem para uma maior resistência ao ataque de fungos xilófagos (PANSIN; DE ZEEUW 1980; STARGERLIN, 2012, ROMANINI et al., 2014). Provavelmente, pela redução da quantidade de ar presente entre os elementos anatômicos e, consequentemente

redução da disponibilidade de oxigênio para o desenvolvimento fúngico (DADZIE; AMOAH, 2015).

Tabela 28 - Valores de índice de susceptibilidade ao ataque (ISA) das espécies de eucaliptos estudadas aos fungos apodrecedores avaliados.

Espécies Avaliadas	ISA (%)		
	<i>Trametes versicolor</i>	<i>Postia placenta</i>	<i>Gloeophyllum trabeum</i>
<i>Eucalyptus saligna</i>	44,88	24,27	11,51
<i>Eucalyptus grandis</i>	122,69	54,14	45,88
<i>Eucalyptus urophylla</i>	86,01	41,69	27,89
<i>Eucalyptus pellita</i>	77,74	39,29	20,26
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	49,37	10,10	6,63
<i>Corymbia citriodora</i>	62,13	13,92	15,83
<i>Eucalyptus robusta</i>	58,04	37,37	19,20

Um índice de susceptibilidade (ISA) ao ataque superior a 100 indica que as amostras das madeiras avaliadas possuem menor resistência aos fungos apodrecedores que a madeira utilizada como referência (*Pinus elliottii*), e valores inferiores a 100, significam amostras mais resistentes que a referência (CURLING; MURPHY, 2002). Assim, pode-se observar que entre as espécies avaliadas, somente o *E. grandis* exibiu valor médio de ISA superior a 100, para o fungo *Trametes versicolor*, sendo as demais espécies mais resistentes que o pinus, com menor valor para a madeira de *E. saligna*.

Quanto os fungos *Postia placenta* e *Gloeophyllum trabeum* todas as madeiras avaliadas foram menos susceptíveis ao ataque fúngico que a madeira utilizada como referência, com maiores valores para o *E. grandis* e menores para o *E. camaldulensis*.

Carvalho et al. (2015) ao avaliaram a madeira de *E. robusta* com idade de aproximadamente de 35 anos, obtiveram um ISA de 30,29% e 22,72% para os fungos *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor*, respectivamente. Sendo este valores diferentes ao encontrado nesta pesquisa, provavelmente, em função da diferença de idade do eucalipto e a madeira de *Pinus* sp. utilizada como referência.

4.8 CORRELAÇÕES ENTRE A DURABILIDADE NATURAL E AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS E ANATÔMICAS

Foram realizadas correlações somente com as madeiras de eucaliptos, por possuírem características semelhantes. Na Tabela 29, foi observado que entre os compostos químicos presentes nas madeiras avaliadas, o teor de cinzas influenciou positivamente na redução da perda de massa com a térmita de madeira seca, *Cryptotermes brevis*, provavelmente, em virtude destas substâncias minerais serem capazes de causarem danificações no aparelho bucal das mesmas e dificultarem o consumo da madeira (GONÇALVES et al., 2013), e que diretamente interferiu nas avaliações dos desgastes realizadas em amostras posteriores a realização do ensaio biológico, exibindo uma correlação de -0,69.

Romanini et al. (2014) ao avaliarem quatro espécies amazônicas em campo de apodrecimento, não foi observado a influência do teor de cinzas no aumento da durabilidade natural das madeiras. No entanto, como o teste foi realizado em campo, pode não ter ocorrido a presença de térmitas, sendo estes mais susceptíveis a presença dos compostos inorgânicos. Paes et al. (2013) ao analisarem madeiras de ocorrência no Bioma Caatinga, as espécies com maiores teores de cinzas exibiram resistências superiores ao ataque do *Nasutitermes corniger*.

Em relação aos teores de extrativos, estes exibiram uma correlação negativa (- 0,67) com relação à perda de massa ocasionada pelo fungo *Postia placenta*, destacando a influência da ausência de classes de extrativos de natureza antifúngicas nas madeiras ensaiadas. Nas térmitas de madeira seca, uma maior quantidade de extrativos ocasionou uma redução na sua mortalidade, provavelmente resultante, em sua maior parte, da presença de substâncias de reserva, como açúcares e amidos, que são consumidas pelos insetos e fungos.

Além disso, a durabilidade natural das madeiras está relacionada com a presença de extrativos com características fenólicas e propriedades antioxidantes (POMETTI et al., 2010, COLODETTE, GOMIDE; CARVALHO, 2015), ou seja, a capacidade de biodeterioração está associada à classe de extrativos presentes na madeira (PAES et al., 2007; ROMANINI et al., 2014).

Tabela 29 - Coeficientes de correlação linear de Pearson entre as características físico-químicas e anatômicas e a resistência natural da madeiras de eucaliptos avaliadas.

Correlações	r	R ² aj (%)	Sy _x	Equações Ajustadas
Cinzas x PMTMS	-0,60	30,95	0,32	PMTMS = 1,079 - 0,667 * Cinzas
Cinzas x DTMS	-0,69	44,45	0,38	DTMS = 2,818 - 1,037 * Cinzas
Extrativos x MTMS	-0,57	27,52	9,08	MTMS = 65,622 - 2,097 * Extrativos
Extrativos x PMFP	-0,67	40,54	10,74	PMFP = 47,233 - 3,196 * Extrativos
Lignina x VCFT	-0,57	26,79	4,61	VCFT = 66,180 - 1,679 * Lignina
Hol. x MTMS	0,58	28,71	9,01	MTMS = -47,503 + 1,559 * holocelulose
Hol. x PMFP	0,61	32,25	11,46	PMFP = -110,16 + 2,129 * holocelulose
Hol. x PMFG	0,54	22,77	10,99	PMFG = -90,297 + 1,675 * holocelulose
PMTPA x DTPA	-0,98	96,13	0,60	DTPA = 8,007 - 0,086 * PMTPA
PMTMS x DTMS	0,81	64,12	0,30	DTMS = 1,547 + 1,097 * PMTMS
PMTAF x DTAF	-0,93	86,24	0,69	PMTAF = 9,994 - 0,234 * DTAF
DTAF x MTAF	0,93	85,06	9,98	MTAF = -28,044 + 12,935 * DTAF
PMTAF x MTAF	-0,91	82,11	10,91	MTAF = 102,976 - 3,192 * PMTAF
PMFP x VCFP	0,65	36,89	4,16	VCFP = 11,990 + 0,243 * PMFP
PMFT x VCFT	0,74	51,52	3,75	VCFT = 9,454 + 0,413 * PMFT
PMFPM x Larg. fibra	0,54	22,90	3,24	PMFPM = -15,229 + 1,549 * larg. fibra
MTMS x Alt. raio	-0,59	30,12	8,92	MTMS = 81,720 - 0,141 * altura raio
PMFT x Freq. vaso	-0,54	23,38	8,48	PMFT = 33,301 - 2,206 * frequência vaso
PMFT x Comp. Fibra	0,62	34,65	7,83	PMFT = -75,166 + 0,088 * comp. fibra
VCFG x Diam. vaso	0,67	41,12	3,04	VCFG = -10,490 + 0,205 * diâmetro vaso
VCFG x Freq. vaso	-0,56	26,16	3,41	VCFG = 20,790 - 0,942 * frequência vaso
VCFG x Comp. fibra	0,68	41,20	3,04	VCFG = -26,667 + 0,038 * comp. fibra
VCFG x esp. parede	0,67	40,28	3,08	VCFG = -10,521 + 5,292 * esp. parede

em que: Hol: holocelulose; MEB: massa específica básica; Freq. Vaso: frequência de vasos; Diam. vaso: diâmetro de vaso; Comp. Fibra: comprimento de fibra; esp. parede: espessura de parede; Larg. Fibra: largura de fibra; PMTMS: perda de massa do térmita de madeira seca; DTMS: desgaste do térmita de madeira seca; MTMS: mortalidade térmita de madeira seca; PMFP: perda de massa do fungo *Postia placenta*; VCFT: Variação colorimétrica do fungo *Trametes versicolor*; PMFT: perda de massa do fungo *Trametes versicolor*; PMFPM: perda de massa do fungo podridão mole. r: coeficiente de correlação; R²aj (%): coeficiente de determinação ajustado; Sy_x: erro padrão estimado; (P < 0,05).

Quanto ao teor de lignina, este exibiu correlação negativa (-0,57) apenas com a variação colorimétrica nas madeiras provocada pelo fungo *Trametes versicolor*. Isto poderá ser resultado da capacidade do fungo de podridão branca degradar compostos de ligninas, que favorece, desta forma, variações na mudança de cor nas madeiras de folhosas (IBACH, 2005; SCHMIDT, 2006; OLIVEIRA et al., 2010; OKINO et al., 2015).

Maiores valores de holocelulose contribuíram para aumentarem a perda de massa causada pelo ataque dos fungos *Postia placenta* e *Gloeophyllum trabeum*, este acréscimo pode estar relacionado, à natureza desses compostos químicos, principalmente a celulose, por ser a principal fonte de energia para o desenvolvimento fúngico e, conseqüentemente ocasionar um aumento no consumo da madeira (SCHMIDT, 2006; OKINO et al., 2015).

Um fato a ser considerado é a relação positiva (0,58) entre o teor de holocelulose e a mortalidade de térmitas de madeira seca, uma vez que, maiores teores deste constituinte químico, resultaram em índices superiores de mortalidade. No entanto, provavelmente a mortalidade das térmitas esteja relacionado com a presença de compostos tóxicos, em concentrações razoáveis para causar a mortalidade dos mesmos, após consumirem a madeira (SILVA et al., 2004; BATISTA et al., 2016b).

Com relação às correlações encontradas ao avaliar os ensaios biológicos com térmitas subterrâneas ou de madeira seca, observaram-se altas correlações entre a perda de massa e desgaste, com coeficientes de correlação superiores a - 0,91, para o ensaio com *Nasutitermes corniger* e de 0,81 na avaliação com *Cryptotermes brevis*. Isto comprova que mesmo com a subjetividade do critério de notas, quando bem efetuado, corresponde a resistência oferecida pelas madeiras ao ataque de agentes xilófagos (PAES et al., 2012).

Para as correlações relacionadas à variação de colorimétrica, resultante do ataque fúngico, percebeu-se que apenas o ataque causado pelo *Gloeophyllum trabeum*, não exibiu relação da mudança de coloração da madeira com os valores de perda de massa, provavelmente por este exibir os menores valores de perda de massa entre os três fungos avaliados. Um maior consumo das amostras indica uma atividade fúngica mais severa que, conseqüentemente favorece a modificações na cor da madeira.

Ao analisar a influência das características anatômicas na biodeterioração da madeira por agentes xilófagos, nota-se que apenas a altura de raios teve correlação com ensaios realizados com térmitas, excepcionalmente, as de madeira seca, em que, quanto menor a altura de raio, maior a mortalidade dos insetos. Isto certamente está relacionado ao fato das células radiais conterem substâncias de reservas e fonte de alimento mais digestível no intestino desses organismos, quando comparado à celulose e holocelulose, que necessitam de simbioses intestinais para seu uso como fonte de energia. Os demais caracteres anatômicos exibiram correlações somente com a biodeterioração causada por fungos.

A correlação da frequência de vaso foi negativa com relação à perda de massa provocada pelo *Trametes versicolor*, enquanto o comprimento de fibra foi positivamente correlacionado à deterioração. Dadzie e Amoah (2015) ao avaliaram as madeiras de *Entandrophragma cylindricum* e *Khaya ivorensis*, encontraram correlação negativa de -0,40, com esta característica anatômica e enfatizaram que uma maior frequência de vasos poderá reduzir a quantidade de ar presente entre os demais elementos anatômicos e conseqüentemente, diminuir a disponibilidade de oxigênio para o desenvolvimento fúngico na madeira.

Quanto à variação colorimétrica das madeiras originada após o ataque fúngico, somente o *Gloeophyllum trabeum* exibiu correlações com as características anatômicas da madeira, em que, o diâmetro de vasos, comprimento de fibras e espessura da parede exibiram relações positivas, enquanto a frequência de vasos apresentou relação negativa com mudanças da cor na madeira, causada pela deterioração. Provavelmente, relacionados as diferentes classes de compostos químicos localizados nas estruturas anatômicas.

5 CONCLUSÕES

A madeira de *C. citriodora* exibiu a maior massa específica básica e a de *E. grandis* a menor. Com relação aos percentuais de casca, cerne e alburno o *E. grandis* exibiu os menores teores de casca e alburno e maior de cerne. Por outro lado, a madeira de *C. citriodora* teve o maior teor de casca e menor de cerne e, o *E. robusta* o maior valor de alburno.

A madeira de *E. camaldulensis* teve um maior teor de extrativos em ambas as posições avaliadas e, as de *C. citriodora* e *E. urophylla* obtiveram um maior teor extrativos no cerne mediano. Para o teor de cinzas, a madeira de *C. citriodora* obteve os maiores resultados em ambas as posições, ao passo que, os menores valores foram para o *E. saligna* (cerne mediano) e para o *E. camaldulensis* (região de transição). A região de transição exibiu a maior quantidade de cinzas entre as posições avaliadas.

A madeira de *E. camaldulensis* apresentou o menor valor de holocelulose. Para as demais espécies avaliadas, os valores entre esses teores foram próximos, e semelhantes entre as posições avaliadas. Quanto às características anatômicas, destaca-se a variabilidade dos raios entre as espécies e posições avaliadas.

No ensaio de preferência alimentar, as madeiras de *E. grandis*, *E. robusta* e *E. urophylla*, foram as mais consumidas pelas térmitas, para ambas posições avaliadas, e a madeira de *C. citriodora* a mais resistente. O cerne mediano da madeira de *E. saligna* foi o menos deteriorado. Quanto ao ensaio de alimentação forçada, a madeira de *E. saligna* também foi uma das mais consumidas e a de *C. citriodora* a menos susceptível ao ataque.

No ensaio com térmita de madeira seca, a madeira de *C. citriodora* foi a mais resistente para ambas as posições avaliadas. Para a madeira *E. pellita*, o cerne mediano foi menos resistente que a região de transição. Nas demais espécies não houve diferença de durabilidade natural entre as posições avaliadas. No ensaio com fungos de podridão mole a maior perda de massa foi na região de transição, sendo a madeira de *E. grandis* mais susceptível ao ataque.

O *Trametes versicolor* degradou menos as madeiras provenientes da região de cerne mediano e, o *E. grandis* foi a espécie mais susceptível. No ensaio com o *Postia placenta* o cerne mediano foi o mais resistente apenas nas madeiras de *E. urophylla*,

C. citriodora e *E. camaldulensis*. Este fungo consumiu mais as madeiras do *E. grandis* e *E. urophylla*. No ataque causado pelo fungo *Gloeophyllum trabeum* o cerne mediano das madeiras de *E. urophylla*, *E. pellita* e *E. robusta* foi mais resistente que a região de transição. Para as demais espécies, o comportamento foi semelhante ao observado para o *Postia placenta*, quanto às espécies mais consumidas.

Na avaliação colorimétrica após a exposição ao *Trametes versicolor*, nas madeiras e posições ensaiadas, observam-se menores variações da cor para a madeira de *E. pellita*, no cerne mediano, e nas madeiras de *E. saligna* e *E. robusta* na região de transição, tendo o cerne mediano exibido menor variação para todas as espécies avaliadas.

Quanto ao fungo *Postia placenta*, para as madeiras de *E. saligna* e *E. urophylla*, o cerne mediano apresentou maior variação da cor. Para às demais espécies, não houve mudança da cor entre posições ou a região de transição exibiu a menor variação. No entanto, para a exposição ao *Gloeophyllum trabeum*, o cerne mediano foi menos vulnerável à mudança de coloração.

Para o ensaio em simulador de campo, a região de transição exibiu as maiores perdas de massas, independente da origem do solo e madeira avaliada. Os microorganismos presentes nos solos provenientes de Jerônimo Monteiro e Vargem Alta causaram perdas de massa semelhantes nas espécies ensaiadas. No entanto, aqueles existentes no solo de São José do Calçado deterioraram mais intensamente as madeiras de *E. grandis* e *E. saligna*.

No ensaio em campo de apodrecimento também não houve interação entre espécie e posição, com índices de deterioração semelhante entre os locais avaliados, com a região de transição mais deteriorada. Quanto às correlações, as características químicas foram mais relevantes para os ensaios com térmitas, principalmente de madeira seca. As variáveis anatômicas foram mais bem correlacionadas quanto ao ataque fúngico na madeira, enquanto a massa específica exibiu pouca influência na biodeterioração das espécies estudadas.

Ao avaliar os índices de resistência natural da madeira ao ataque de fungos xilófagos, as madeiras com maior durabilidade foram o *E. camaldulensis* e *C. citriodora* e a menos durável o *E. grandis*.

6 REFERÊNCIAS

ALI, A. S. et al. Comparative natural durability of five wood species from Mozambique. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.65, n.6, p.768-776, 2011.

ALMEIDA, N. A. et. al. Biodeterioração de produtos à base da madeira de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem. var. *australis*). **Cerne**, v.18, n.1, p.17-26, 2012.

ALVES; E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. **IAWA Journal**, v.23, n.4, p. 391-418,2002.

ANDRADE, C. R. et al. Calibrações NIRS para três propriedades químicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. **Cerne**, v.16, p.9-14, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL ABTCP M-11/77. **Normas Técnicas ABTCP**. São Paulo: ABTCP, 1974.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1413**: standard test method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures. Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, 2007. 8p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-3345**: standard method for laboratory evaluation of wood and other cellulosic materials for resistance to termite. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2008. 4p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-2017**: standard method of accelerated laboratory test of natural decay resistance of wood. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2005, 5p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1105**: standard test method for preparation of extractive-free wood. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2013. 2p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1102**: standard test method for ash in wood. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2013. 2p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-2244**: standard practice for calculation of color tolerances and color differences from instrumentally measured color coordinates. Annual Book of ASTM Standard, West Conshohocken, 2016. 12p.

AMERICAN WOOD PRESERVERS' ASSOCIATION. **AWPA-E14**: standard method of evaluating wood preservatives in a soil bed. Book of Standards, Washington, 2014. 5p.

ARANTES, V.; MILAGRES, A.M. F. Relevância de compostos de baixa massa molar produzidos por fungos e envolvidos na biodegradação da madeira. **Química Nova**, v.32, n.6, p.1586-1595, 2009.

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

BATISTA, D. C.; KLITZKE, R. J.; SANTOS, C. V. T. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, v.20, n.4, p. 665-674, 2010.

BATISTA, D. C. et al. Effect of the Brazilian thermal modification process on the chemical composition of *Eucalyptus grandis* juvenile wood - part 1: cell wall polymers and extractives contents. **Maderas. Ciencia y Tecnologia**, v.18, n.2, p.273-284, 2016a.

BATISTA, D. C. et al. Resistance of thermally modified *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden wood to deterioration by dry-wood termites (*Cryptotermes* sp.). **Ciência Florestal**, v. 26, n.2, p. 671-678, 2016b.

BECKER, G. Suggested standard method for field tests with wooden stakes. **PANS - Pest Articles & News Summaries**, v.18, n.1, Supl., p. 137-142, 1972.

BJORDAL, C. G.; NILSSON, T. Water logged archaeological wood - a substrate for white rot fungi during drainage of wetlands. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 50, n.1, p. 17-23, 2002.

BLANCHETTE, R. A.; BIGGS, A. R. **Defense mechanisms of woody plants against fungi**. Berlin: Springer-Verlag, 1992, 478p.

BOTELHO, G. M. L.; SANTANA, M. A. E.; ALVES, M. V. S. Caracterização química, durabilidade natural, e tratabilidade da madeira de seis espécies de eucaliptos plantadas no Distrito Federal. **Revista Árvore**, v.24, n.1, p.115,121, 2000.

BOUSLIMI, B.; KOUBAA, A.; BERGERON, Y. Effects of biodegradation by brown-rot decay on selected wood properties in eastern white cedar (*Thuja occidentalis* L.). **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 87, p. 87-98, 2014.

BRAZOLIN, S. Biodeterioração e preservação da madeira. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C. NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora, 2007, p.343-365.

BRISCHKE, C.; RAPP, A. O. Dose-response relationships between wood moisture content, wood temperature and fungal decay determined for 23 European field test sites. **Wood Science and Technology**, v.42, p.507-518, 2008.

BRISCHKE, C.; RAPP, A. O. Potential impacts of climate change on wood deterioration. **International Wood Products Journal**, v.1, n.2, p. 85-92, 2010.

BRISCHKE, C.; MEYER, L.; BORNEMANN, T. The potential of moisture content measurements for testing the durability of timber products. **Wood Science and Technology**, v.47, n.4, p.869-886, 2013.

BRISCHKE, C. et al. Natural durability of timber exposed above ground - a survey. **Drvna Industrija**, v 64, n.2, p.113-129, 2013a.

BRISCHKE, C. et al. Intrasite variability of fungal decay on wood exposed in ground contact. **International Wood Products Journal**, v.4, n.1, p. 37- 45, 2013b.

BRISCHKE, C.; MEYER, L.; S. OLBERDING, S. Durability of wood exposed in ground e comparative field trials with different soil substrates. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 86, n.6, p.108-114, 2014.

BRISCHKE, C.; MEYER-VELTRUP, L. Moisture content and decay of differently sized wooden components during 5 years of outdoor exposure. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.73, n.6, p.719-728, 2015.

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. **Potencialidades dos extrativos do cerne da madeira de teca como preservativo natural e sua influência na cor de madeiras claras**. 86 f. Dissertação. (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2014.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Livraria Nobel S.A.1991, 154p.

CABRERA, R. R.; LELIS, A.T.; BERTI FILHO, E. Ação de extratos das madeiras de ipê (*Tabebuia* sp., Bignoniaceae) e de Itaúba (*Mezilaurus* sp., Lauraceae) sobre o cupim-de-madeira-seca *Cryptotermes brevis* (Isoptera, Kalotermitidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, v.68, n.1, p.103-106, 2001.

CAO, Y. et al. Evaluation of decay resistance for steam - heat treated wood. **BioResources**, v.6, n.4, p. 4696-4704, 2011.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. A. A Colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, n. 71, 2001.

CARNEIRO, J. S. et al. Decay susceptibility of Amazon wood species from Brazil against white rot and brown rot decay fungi. **Holzforschung**, v.63, n.6, p.767-772, 2009.

CARVALHO, D. E. et al. Natural durability of *Eucalyptus dunnii* Maiden, *Eucalyptus robusta* Sm. *Eucalyptus tereticornis* Sm. and *Hovenia dulcis* Thunb. wood in field and forest environment. **Revista Árvore**, v.40, n.2, p.363-370, 2016.

CARVALHO, D. E. et al. Resistência natural de quatro espécies florestais submetidas a ensaio com fungos apodrecedores. **Floresta e Ambiente**, v.22, n.2, p. 271-276, 2015.

CHERELLI, S. G. Cerne e alburno em eucaliptos: influência da espécie e da idade nas propriedades tecnológicas. 2015. 165f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

CLAUSEN, C. A. Biodeterioration of Wood. In: **Wood handbook: wood as an engineering material**. 100 ed. Madison: USDA/FS/FPL, 2010, p.312-327, (General Technical Report FPL–GTR–190).

COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, D. M. Composição anatômica e química dos materiais lignocelulósicos: composição química de materiais lignocelulósicos. In: COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B. (Ed.) **Branqueamento de polpa celulósica: da produção da polpa marrom ao produto acabado**. Viçosa: UFV, 2015, p.31-57.

COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS - COPANT. **Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas**, Buenos Aires: COPANT, v.30, p. 1-19, 1974.

CONSTANTINO, R. The pest termites of South America: taxonomy, distribution and status. **Journal of Applied Entomology**, v.126, n.7, p.355-365, 2002.

CONSTANTINO, R. Chave ilustrada para a identificação dos gêneros de cupins (Insecta: Isoptera) que ocorrem no Brasil. **Papéis Avulsos de Zoologia**, v.40, n.25, p. 387-448, 1999.

CORASSA, J. N. et al. Durabilidade natural da madeira de quatro espécies florestais em ensaios de deterioração em campo. **Ciência da Madeira**, v.4, n.1, p.108-117, 2013.

COSTA, M. A. **Avaliação de metodologias alternativas para a caracterização do ataque de fungos apodrecedores de madeiras**. 2009. 70f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

COSTA, M. A. et al. Caracterização do ataque de fungos apodrecedores de madeiras através da colorimetria e da espectroscopia de infravermelho. **Ciência Florestal**, v.21, n.3, p.567-577, 2011.

CURLING, S. F.; MURPHY, R. J. The use of the decay susceptibility index (DSI) in the evaluation of biological durability tests of wood based board materials, **Holz als Roh-und Werkstoff**, v.60, n.3, p.224-226, 2002.

DADZIE, P. K.; AMOAH, M. Density, some anatomical properties and natural durability of stem and branch wood of two tropical hardwood species for ground applications. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.73, n.6, p.759-7732, 2015.

D'ALMEIDA, M. L. O. et al. Composição química da madeira e matérias-primas fibrosas. In: SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (Org.). **Celulose**. São Paulo: SENAI, 2013, p. 11-36.

DANIEL, G. Free radical reactions of wood-degrading fungi. In: GOODELL, B.; NICHOLAS, D. D.; SCHULTZ, P. (Ed.). **Wood deterioration and preservation**. Washington: American Chemical Society, 2003. p. 34-72.

DELUCIS, R. A. et al. Color de la madera de dos eucaliptos expuestas al intemperismo natural en tres entornos ambientales diferentes. **Maderas Ciencia y Tecnologia**, v.18, n.1, p.133-142, 2016.

EVANGELISTA, W. V. **Penetração e retenção de arseniato de cobre cromatado em madeira de eucalipto**. 126f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.

FINDLAY, W. P. K. The nature and durability of wood. In: FINDLAY, W. P. K. (Ed). **Preservation of timber in the tropics**. Dordrecht: Martinus Nijhoff/ Dr. W. Junk Publishers, 1985, p.1-13.

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWWIG, C. H. (Eds) **Lignins**. New York: Wiley Inter Science, 1971, p. 241-66.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, v.47, n.8, p.36-38,1986.

GONÇALVES, F. G. et al. Durabilidade natural de espécies florestais madeireiras ao ataque de cupim de madeira seca. **Revista Floresta e Ambiente**, v.20, n.1, p. 110-116, 2013.

HILLIS, W. H. **Heartwood and tree exudates**. Berlin: Springer-Verlag, 1987, p.68-73.

HSING, T. Y. **Crescimento e qualidade da madeira de plantas jovens de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla***. 2013. 42f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Jaboticabal, 2013.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. **Relatório IBÁ 2016**. Brasília: Disponível em: <http://iba.org/images/shared/iba_2016.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2016.

IBACH, R. E. Biological properties. In: ROWELL, R.M. (Org.). **Wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC Press, 2005, p. 107-127.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL-INCAPER. (Boletim técnico trimestral). Disponível em: <<http://biblioteca.incaper.es.gov.br/busca?b=pc&busca=boletim%20climatol%C3%B3gico>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS WOOD – IAWA COMMITTEE. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v.10, n.3, p.219-332, 1989.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS/DIVISÃO DE MADEIRAS (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. (Publicação IPT, 1157).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS/DIVISÃO DE MADEIRAS (IPT/DIMAD D-5). **Ensaio acelerado de laboratório para a determinação da eficiência de preservativos contra fungos de podridão-mole**. São Paulo: IPT/DIMAD, 1980. 2p. (Publicação IPT, 1157).

ISLAM, M. N. et al. Impregnation of preservative and fire retardants into Japanese cedar lumber by passive impregnation. **BioResources**, v.8, n.1, p.395-404, 2013.

JEON, W.; LEE, S. H. Effects of tunnel structures of two termite species on territorial competition and territory size. **Journal of Asia Pacific Entomology**, v.17, n.3, p.199-205, 2014.

JÓIA, H. A. et al. Avaliação por métodos não destrutivos do diâmetro de cerne à altura do peito em eucalipto e em choupo. **Cerne**, v.12, n.4, p.309-313, 2006.

KIRKER, G. T.; BISHELL, A. B.; LEBOW, P. K. Laboratory evaluations of durability of southern pine pressure treated with extractives from durable wood species. **Journal of Economic Entomology**, v.109, n.1, p. 259-266, 2016.

KLAASSEN, R. K. W. M. Speed of bacterial decay in waterlogged wood in soil and open water. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.86, p.129-135, 2014.

KLITZKE, R. J. et al. Caracterização dos lenhos de cerne, alburno e transição de jatobá (*Hymenaea* sp.) visando ao agrupamento para fins de secagem convencional. **Scientia Forestalis**, v.36, n.80, p.279-284, 2008.

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira**. 4. ed. Curitiba: UFPR, 2013. 85p (Manual Didático).

KOCH, G.; SCHMITT, U. Topochemical and electron microscopic analyses on the lignification of individual cell wall layers during wood formation and secondary changes. In: FROMM, J. (Ed.). **Cellular aspects of wood formation**. Berlin: Springer-Verlag, 2013, p. 41-70.

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

KRETSCHMANN, D. E. Mechanical properties of wood. In: **Wood handbook: wood as an engineering material**. 100 ed. Madison: USDA/FS/FPL, 2010, p.100-145 (General Technical Report FPL-GTR- 190).

LEBOW, S. T. Wood preservation. In: **Wood handbook: wood as an engineering material**. 100 ed. Madison: USDA/FS/FPL, 2010, p.312-327 (General Technical Report FPL-GTR- 190).

LEPAGE, E. S. Preservativos e sistemas preservativos. In: LEPAGE, E. S. (Coord.) **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 1986, v.1. p.41-330.

LI, Q.; LIN, J. G.; LIU, J. Decay resistance of wood treated with extracts of *Cinnamomum camphora* xylem. **BioResources**, v.8, n.3, p.4208-4217, 2013.

LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Variation in wood density and mechanical properties in *Eucalyptus* clones. In: THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS. 2000, Launceston. **Proceedings...** Launceston: IUFRO, 2000, p.282-291.

LIMA, S.R. et al. Estudo dos constituintes macromoleculares, extrativos voláteis e compostos fenólicos da madeira de candeia-*Moquinia polymorpha* (Less.) DC. **Ciência Florestal**, v.17, n.2, p.145-155, 2007.

LITTLE, N. S.; SCHULTZ, T. P.; NICHOLAS, D. D. Termite-resistant heartwood. Effect of antioxidants on termite feeding deterrence and mortality. **Holzforschung**, v.64, p.395-398, 2010.

LOPES, C. S. D. et al. Estudo da massa específica básica e da variação dimensional da madeira de três espécies de eucalipto para a indústria moveleira. **Ciência Florestal**, v.21, n.2, p.315-322, 2011.

LU, J. et al. Stilbene impregnation retards brown-rot decay of scots pine sapwood. **Holzforschung**, v.70, n.3, p.261-266, 2016.

LUKMANDARU, G.; TAKAHASHI, K. Radial distribution of quinones in plantation teak (*Tectona grandis* L.f.). **Annals of Forest Science**, v.66, n.6, p.605-613, 2009.

MANSOUR, M. M. A.; SALEM, M. Z. M. Evaluation of wood treated with some natural extracts and Paraloid B-72 against the fungus *Trichoderma harzianum*: wood elemental composition, in-vitro and application evidence. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.100, p.62-69, 2015.

MANTANIS, G. et al. Evaluation of mold, decay and termite resistance of pine wood treated with zinc-and copper-based nanocompounds. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.90, p.140-144, 2014.

MARQUES, S. S. et al. Estudo comparativo da massa específica aparente e retratibilidade da madeira de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.) nativa e de reflorestamento. **Revista Árvore**, v.36, n.2, p.373-380, 2012.

MARTINS, M. F. et al. Colorimetria como ferramenta de agrupamento de madeira de clones de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.35, n.84, p.443-449, 2015.

MATTOS, B. D. et al. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, n.1, p. 121-126, 2011.

MELO, R. R. et al. Durabilidade natural da madeira de três espécies florestais em ensaios de campo. **Ciência Florestal**, v.20, n.2, p.357-365, 2010.

MELO, R. R. et al. Variação radial e longitudinal da densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. com diferentes idades. **Ciência da Madeira**, v.4, n.1, p.83-92, 2013.

MENESES, V. A. et al. Efeito da idade e do sítio na densidade básica e produção de massa seca de madeira em um clone do *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, v.43, n.105, p.101-116, 2015.

MESQUITA, J. B.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F. Micobiota associada à madeira serrada de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden durante a secagem ao ar livre. **Ciência Florestal**, v.16, n.1, p.45-50, 2006.

MEYER, L. et al. Durability of english oak (*Quercus robur* L.) e comparison of decay progress and resistance under various laboratory and field conditions. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.86, p.79-85, 2014.

MEYER, L.; BRISCHKE, C. Fungal decay at different moisture levels of selected European-grown wood species. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 103, n.4, p.23-29, 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIR- MMA/SFB. **Florestas do Brasil em resumo - 2013**: dados de 2007-2012. Brasília: MMA, 2013,188 p.

MODES, K. S. et al. Resistência natural das madeiras de sete espécies florestais ao fungo *Pycnoporus sanguineus* causador da podridão-branca. **Cerne**, v.18, n.3, p.407-411, 2012.

MOYA, R.; BOND, B.; QUESADA, H. A review of heartwood properties of *Tectona grandis* trees from fast-growth plantations. **Wood Science and Technology**, v.48, n.2, p.411-433, 2014.

MONTES, C. S. et al. Variation in wood color among natural populations of five tree and shrub species in the Sahelian and Sudanian ecozones of Mali. **Canadian Journal of Forest Research**, v.43, n.6, p.552-562, 2013.

MOORE, R. K. et al. The effect of polarity of extractives on the durability of wood. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD, FIBER, AND PULPING. 18, 2015, Vienna, **Proceedings...** Vienna: ISWFPC, 2015, 4p.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. F.; MELO, D. C. Análise da madeira do *Pinus oocarpa* parte II: caracterização estrutural da lignina da madeira moída. **Revista Árvore**, v.29, p.471-478, 2005.

MORAIS, F. M.; COSTA, A. F. Alteração da cor aparente de madeiras submetidas ao ataque de fungos apodrecedores. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, n.1, p.44-50, 2007.

MORRELL, J. J. Protection of wood and based materials. In: KUTZ, M. (Org.). **Environmental degradation of materials**. New York: Elsevier, 2012, p. 407-438.

MORI, C. L. S. O. et al. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, v.11, n.2, p.137-146, 2005.

MOTTA, J. P. et al. Resistência natural da madeira de *Tectona grandis* em ensaio de laboratório. **Ciência Rural**, v.43, n.8, p.1393-1398, 2013.

NICHOLAS, D. D.; CRAWFORD, D. Concepts in the development of new accelerated test methods for wood decay. In: GOODELL, B.; NICHOLAS, D. D.; SCHULTZ, T. P. (Eds.). **Wood deterioration and preservation**: advances in our changing world. Washington: American Chemical Society, p. 288-312, 2003.

OKINO, E. Y. A. et al. Accelerated laboratory test of three Amazonian wood species called tauari, exposed to white- and brown-rot fungi and color. **Ciência Florestal**, v.25, n.3, p.581-593, 2015.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semiárido nordestino**. 2003. 122f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

OLIVEIRA, J. T. S. et al. Caracterização da madeira de sete espécies de eucaliptos para a construção civil: 1- avaliações dendrométricas das árvores. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 113-124, 1999.

OLIVEIRA, J. T. S. et al. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.819-826, 2005.

OLIVEIRA, E. et al. Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.311-318, 2006.

OLIVEIRA, L. S. et al. Natural resistance of five woods to *Phanerochaete chrysosporium* degradation. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 64, n.8, p.711-715, 2010.

PÁDUA, F. A. **Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. 2009. 99f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2009.

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.1-6, 2000.

PAES, J. B. Resistência natural da madeira de *Corymbia maculata* (Hook.) K.D.Hill & L. A. S. Johnson a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. **Revista Árvore**, v.26, n.6, p.761-767, 2002.

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

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

PAES, J. B. et al. Resistência natural de sete madeiras ao cupim subterrâneo (*Nasutitermes corniger* Motsch.) em ensaio de preferência alimentar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, n.1, p.57-62, 2007.

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

PAES, J. B. et al. Eficiência do óleo de candeia na melhoria da resistência da madeira de sumaúma a cupins. **Cerne**, Lavras, v.16, n.2, p.217-225, 2010.

PAES, J. B. et al. Eficiência dos óleos de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) e mamona (*Ricinus communis* L.) na resistência da madeira de sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaerth.) a fungos xilófagos em simuladores de campo. **Ciência Florestal**, v.22, n.3, p.617-624, 2012.

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

PAES, J. B. et al. Efeitos dos extrativos e da densidade na resistência natural de madeiras ao térmita *Nasutitermes corniger*. **Cerne**, v.21, n.4, p.569-578, 2015.

PAIVA, H. N. et al. **Cultivo de eucalipto**: implantação e manejo. Viçosa: Aprenda fácil, 2011. p. 9 - 27.

PALA, H. Constituição e mecanismos de degradação biológica de um material orgânico: a madeira. **Construção Magazine**, n.20, p.54-62, 2007.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4. ed. New York: McGraw-Will, 1980, 722p.

PEREIRA, B. L. C. et al. Correlações entre a relação cerne/alburno da madeira de eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. **Scientia Forestalis**, v.41, n.98, p.217-225, 2013.

PINCELLI A. L. P. S. M.; MOURA L. F, BRITO J.O. Effect of thermal rectification on colors of *Eucalyptus Saligna* and *Pinus Caribaea* woods. **Maderas Ciencia y Tecnologia**, v.14, n.2, p.239-248, 2012.

PLASCHKIES, K. et al. Investigations on natural durability of important European wood species against wood decay fungi. Part 1: Laboratory tests. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.90, p.52-56, 2014.

POMETTI, C. L. et al. Durability of five native Argentine wood species of the genera *Prosopis* and *Acacia* decayed by rot fungi and its relationship with extractive content. **Biodegradation**, v.21, n.5, p.753-760, 2010.

RÅBERG, U. et al. Testing and evaluation of natural durability of wood in above ground conditions in Europe-an overview. **Journal Wood Science**, v.51, n.5, p.429-440, 2005.

RÄBERG, U.; TERZIEV, N.; GEOFFREY, D. Degradation of scots pine and beech wood exposed in four test fields used for testing of wood preservatives. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.79, p.20-27, 2013.

RAGON, K. W.; NICHOLAS, D. D., SCHULTZ, T. P. Termite-resistant heartwood: the effect of the non-biocidel antioxidant properties of the extractives (Isoptera: Rhinotermitidae), **Sociobiology**, v.52, n.1, p.47-54, 2008.

RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa: UFV, 1987, 4p.

READING, N. S.; WELCH, K. D.; AUST, S. D. Microview of wood under degradation by bacteria and fungi. In: GOODELL, B.; NICHOLAS, D. D.; SCHULTZ, P. (Org.). **Wood deterioration and preservation**. Washington: American Chemical Society, 2003, p.17-31.

REINPRECHT, L. **Wood deterioration, protection and maintenance**. United Kingdom: Wiley Blackwell, 2016, 366p.

REIS, A. P. et al. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v.32, n.71, p.277-290, 2012.

RICHARDSON, B. A. **Wood preservation**. 2. ed. New York: E & FN Spon, 1993, p.23-32.

RODRIGUES, A. M. S. **Análise e valorização bioinspirada dos metabólitos secundários responsáveis pela durabilidade natural de madeiras exploradas na Guiana Francesa**. 2010. 266f. Tese (Doutorado em Ciências Médicas) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

RODRIGUES, R. B.; BRITO, E. O. Resistência natural de *Eucalyptus urophylla* e *Corymbia citriodora* à *Coptotermes gestroi* (Isoptera; Rhinotermitidae) em laboratório. **Floresta e Ambiente**, v.18, n.1, p.9-15, 2011.

ROMANINI, A. et al. Durabilidade natural da madeira de quatro espécies amazônicas em ensaios de deterioração de campo. **Nativa**, v.2, n.1, p.13-17, 2014.

ROWELL, R. M. et al. Cell wall chemistry. In: ROWELL, R. M. (Org.). **Wood chemistry and wood composites**. Florida: CRC Press: 2005, p. 43 - 83.

SANQUETTA, C. R. et al. Variação axial da massa específica básica de *Acacia mearnsii* em diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul. **Revista Biociências**, v.19, n.2, p.43-52, 2013.

SANTOS, P. E. T.; LAVORANTI, O. J. SALANTE, L. Amostragem de toras de árvores de *Eucalyptus grandis* selecionadas para finalidades de serraria e energia. **Revista Pesquisa Florestal Brasileira**, n.54, p.53-61, 2007.

SANTOS, P. E. T.; GARCIA, J. N.; GERALDI, I. O. Posição da tora na árvore e sua relação com a qualidade da madeira serrada de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n.66, p.142-151, 2004.

SCHEFFER, T. C. Microbiological deterioration and its causal organisms. In: NICHOLAS, D. D. (Ed.). **Wood deterioration and its prevention treatments: degradation and protection of wood**. Syracuse: Syracuse University, 1973, v.2, p.31-106.

SCHIMLECK, L. R. et al. Characterization of the wood quality of Pernambuco (*Caesalpinia echinata* Lam) by measurements of density, extractives content, microfibril angle, stiffness, color, and NIR spectroscopy. **Holzforschung**, v.63, n.4, p.457-463, 2009.

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

SEHLSTEDT-PERSSON, M.; KARLSSON, O. Natural durability and phenolic content in dried scots pine heartwood. **BioResources**, v.5, n.2, p.1126-1142, 2010.

SETTE JUNIOR, R. et al. Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.36, n.6, p.1183-1190, 2012.

SHANBHAG, R. R.; SUNDARARAJ, R. Imported wood decomposition by termites in different agro-eco zones of India. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.85, p.16-22, 2013.

SHMULSKY, R.; P. JONES, P. D. **Forest products and wood science: an introduction**. 6th ed. Iowa: Wiley-Blackwell, 2011, p. 229 - 252.

SILVA, J. C.; CASTRO, V. R.; EVANGELISTA, W. V. Influência da idade na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, visando uso na indústria moveleira. **Scientia Forestalis**, v.43, n.105, p.117-125, 2015.

SILVA, J. C.; CASTRO, V. R. Propriedades e usos da madeira de eucalipto. Viçosa: Arbotec, 2014, 68p.

SILVA, L. F. et al. Deterioração da madeira de *Eucalyptus* spp. por fungos xilófagos. **Cerne**, v.20, n.3, p.393-400, 2014.

SILVA, J. C. **Eucalipto**: manual prático do fazendeiro florestal produzindo madeira com qualidade. 3. ed. Viçosa: UFV, 2011, p. 9-27.

SILVA, J. C. et al. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v.31, n.6, p.1081-1090, 2007b.

SILVA, C. A. et al. Biodeterioration of Brazil wood *Caesalpinia echinata* Lam. (Leguminosae - Caesalpinioideae) by rot fungi and térmites. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 60, n.4, p. 285-292, 2007a.

SILVA, J. C.; CABALLEIRA LOPEZ, A. G.; OLIVEIRA, J. T. S. 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.583-587, 2004.

SJÖSTROM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. New York: Academic Press, 1981, 231p.

SOUZA, F. et al. Resistência natural e alteração da cor da madeira de *Machaerium scleroxylon* Tul. submetida ao ataque de fungos apodrecedores. **Scientia Forestalis**, v.38, n.87, p.449-457, 2010.

TORRES, P. M. A. et al. Caracterização físico-mecânica da madeira jovem de *Eucalyptus camaldulensis* para aplicação na arquitetura rural. **Floresta e Ambiente**, v.23, n.1, p.109-117, 2016.

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.

STANGERLIN, D. M. et al. Monitoramento da biodeterioração da madeira de três espécies amazônicas pela técnica da colorimetria. **Acta Amazônia**, v.43, n.4, p.429 - 438, 2013.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistic: **a biometrical approach**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1980, 633p.

STIENEN, T.; SCHMIDT, O.; HUCKFELDT, T. Wood decay by indoor basidiomycetes at different moisture and temperature. **Holzforschung**, v.14, n.1, p.9-15, 2014.

SUNDARARAJ, R. et al. Natural durability of timbers under Indian environmental conditions-an overview. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.103, p.196-214, 2015.

TASCIOGLU, C. et al. Termiticidal properties of some wood and bark extracts used as wood preservatives. **BioResources**, v.7, n.3, p.2960-2969, 2012.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI test methods T 264 om-88**: preparation of wood for chemical analysis. Atlanta: Tappi Technology Park, 1996b. v.1.

TOMAZELI, A. J. et al. Durabilidade natural de quatro espécies florestais em campo de apodrecimento. **Tecnológica**, v.20, n.1, p.20-25, 2016.

TREVISAN, H.; MARQUES, F. M. T.; CARVALHO, A. G. Degradação natural de toras de cinco espécies florestais em dois ambientes. **Floresta**, v.38, n.1, p.33-41, 2008.

UNGER, A.; SCHNIEWIND, A. P.; UNGER, W. **Conservation of wood artifacts**. Berlin: Springer-Verlag, 2001. 585 p.

VALÉRIO, A. F. et al. Determinação da densidade básica da madeira de peroba (*Aspidosperma polineuron* Muell. Arg.) ao longo do fuste. **Revista Caatinga**, v.21, n.3, p 54-58, 2008.

VINDEN, P. et al. **Soil-bed studies**. Stockholm: The International Research Group on Wood Preservation, 1982, 15p. (Doc. IRG/WP/2181).

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1984. 21 p. (Boletim Técnico, 1).

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.

WILCKEN, C. F.; LIMA, A. C. V.; DIAS, T. K. R. **Guia prático de manejo de plantações de eucalipto**. Botucatu: FEPAF, 2008, 19p.

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

ZANUNCIO, A. J. V.; FARIAS, E. S.; SILVEIRA, T. A. Termorretificação e colorimetria da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, v.21, n.1, p.85-90, 2014.

APÊNDICES

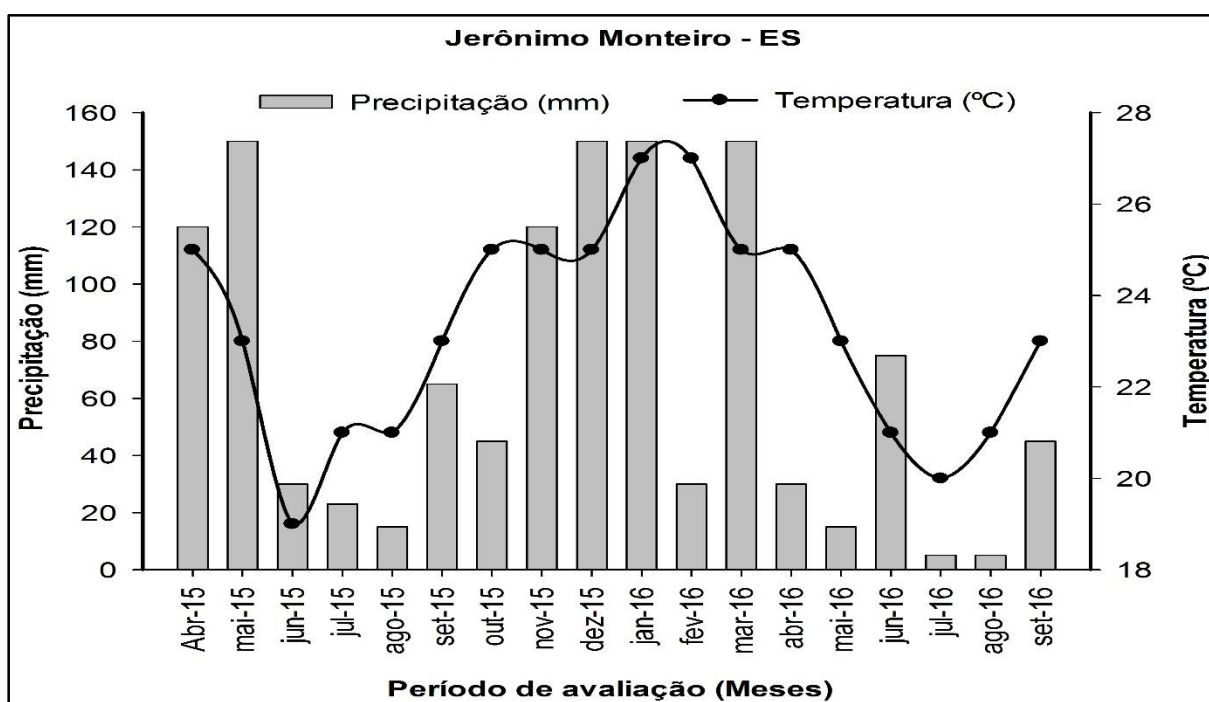
Apêndice A - Análise química e física do solo utilizado no ensaio com fungo de podridão mole.

pH	K ⁺	P ⁺	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺ +Al ⁺³	CTC	C	M.O	V
(H ₂ O)	mg dm ⁻³			cmol dm ⁻³				g kg ⁻¹		%
5,1	149,0	23,0	8,0	2,80	1,6	6,5	5,02	12,7	18,6	42,6

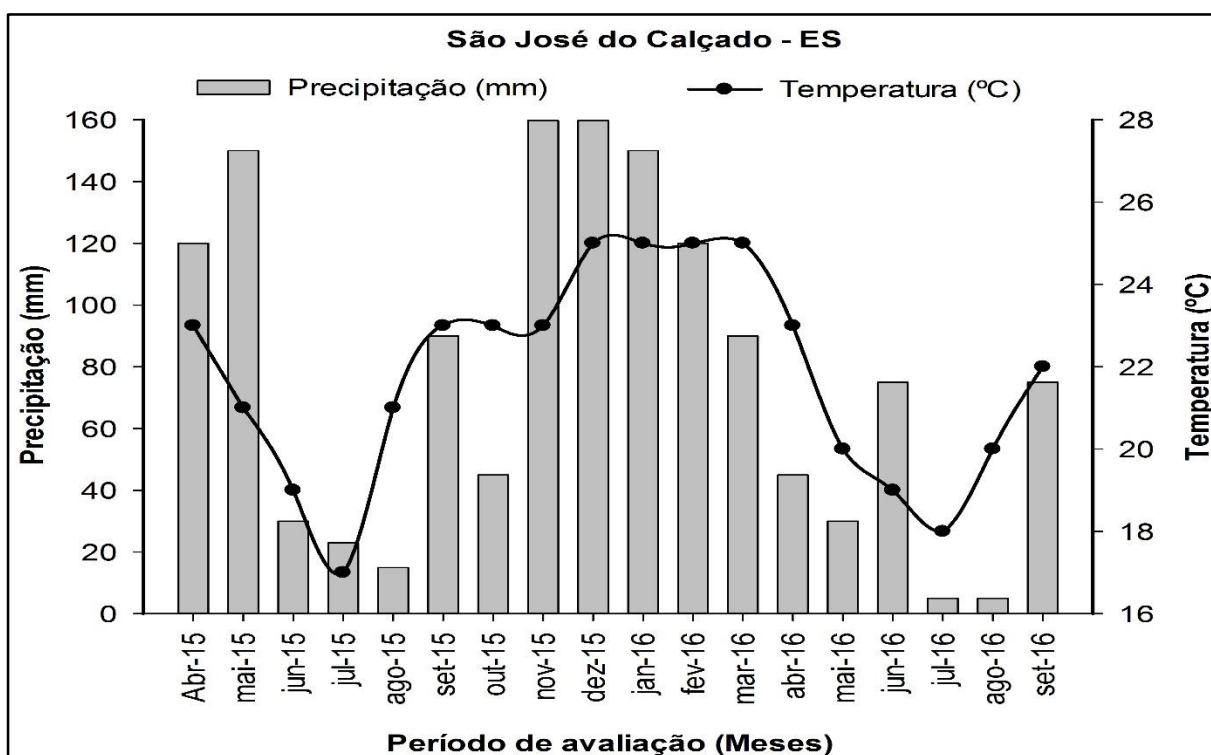
em que: pH: potencial hidrogeniônico; K: potássio; P: fosforo; Ca: cálcio; Mg: magnésio; C: carbono; H: hidrogênio; Al: alumínio; MO: matéria orgânica; CTC: Capacidade de troca catiônica efetiva; V: Índice de saturação de bases.

Fonte: o autor.

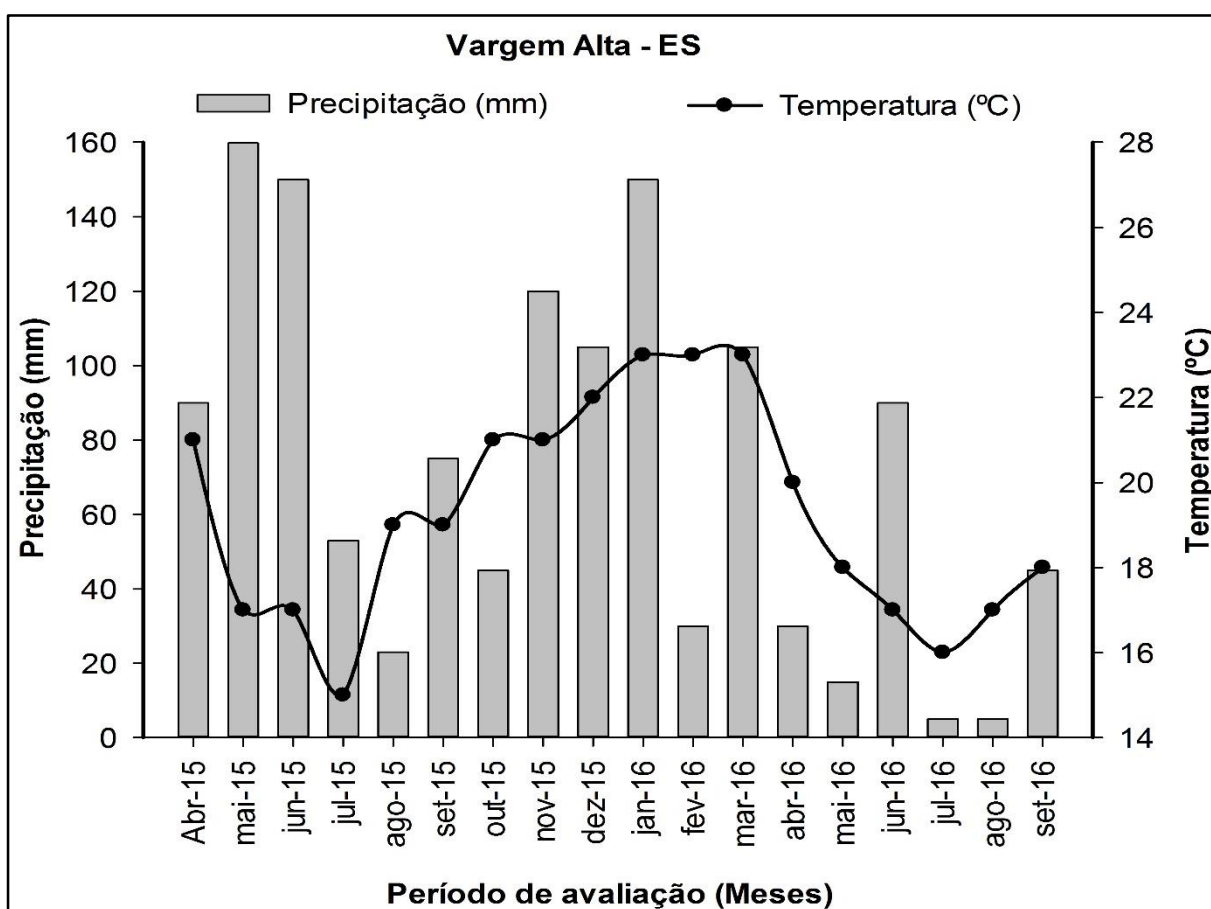
Apêndice B - Dados de precipitação pluviométrica e temperatura nos municípios de Jerônimo Monteiro, São José do Calçado e Vargem Alta.



Fonte: Adaptado do INCAPER (2017).



Fonte: Adaptado do INCAPER (2017).



Fonte: Adaptado do INCAPER (2017).

Apêndice C - Características químicas e físicas dos solos dos Municípios de Jerônimo Monteiro, São José do Calçado e Vargem Alta.

Local	Perfil do solo	pH (H ₂ O)	K ⁺	P ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺ +Al ⁺³	CTC	C	M.O	V
			mg dm ⁻³			cmol dm ⁻³					
Jerônimo Monteiro	A	7,8	82,0	14,0	4,20	0,9	0,3	5,61	10,8	18,6	94,7
	B	6,2	32,0	2,0	1,40	0,5	1,7	1,98	2,1	3,60	53,8
São José do Calçado	A	5,7	142,0	5,0	1,90	0,9	4,5	3,26	10,2	17,6	41,3
	B	4,9	60,0	1,0	0,90	0,4	5,3	1,75	5,1	8,8	21,5
Vargem Alta	A	5,7	88,0	1,0	0,70	0,4	3,0	1,33	5,0	8,6	30,7
	B	5,4	43,0	1,0	0,60	0,2	4,0	1,41	2,3	4,0	18,5

em que: A: 0 - 10 cm de profundidade; B: 10 - 20 cm de profundidade; pH: potencial hidrogeniônico; K: potássio; P: fósforo; Ca: cálcio; Mg: magnésio; C: carbono; H: hidrogênio; Al: alumínio; M.O.: matéria orgânica; CTC: Capacidade de troca catiônica efetiva; V: Índice de saturação de bases.

Fonte: o autor

APÊNDICE D - Resumo das análises de variância para a resistência natural a térmitas xilófagos.

Tabela 1D - Resumos das análises de variância para perda de massa as térmitas subterrâneas em ensaio de preferência alimentar e alimentação forçada.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrados Médios	
		Preferência	Alimentação
		Alimentar	Forçada
Espécie (E)	7	1,87505**	0,07320**
Posição (P)	1	0,43512**	0,01739**
E x P	7	0,34783**	0,05622**
Resíduo	60	0,02788	0,00097
Total	79		

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

Tabela 2D - Resumo das análises de variância para perda de massa, desgaste e mortalidade a térmitas de madeira seca.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrados Médios		
		Perda de Massa	Desgaste	Mortalidade
Espécie (E)	7	1,27471**	2,32498**	1383,57**
Posição (P)	1	0,19891**	0,00012*	180,00 ^{ns}
E x P	7	0,26303**	0,53955**	76,07 ^{ns}
Resíduo	64	0,07094	0,17200	87,81
Total	79			

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

APÊNDICE E - Resumo das análises de variância para os ensaios de apodrecimento acelerado com fungos.

Tabela 1E - Resumo da análise de variância para resistência aos fungos de podridão mole.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrados Médios
Espécie (E)	7	0,13273**
Posição (P)	1	0,07462**
E x P	7	0,01693 ^{ns}
Resíduo	80	0,00983
Total	95	

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

Tabela 2E. Resumo das análises de variância para resistência natural aos fungos *Trametes versicolor*, *Postia placenta* e *Gloeophyllum trabeum*.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrados Médios		
		<i>Trametes versicolor</i>	<i>Postia placenta</i>	<i>Gloeophyllum trabeum</i>
Espécie (E)	7	0,08370**	0,45376**	0,41887**
Posição (P)	1	1,05784**	0,01303**	0,35562**
E x P	7	0,03442**	0,07194**	0,07599**
Resíduo	80	0,01164	0,00605	0,01886**
Total	95			

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

APÊNDICE F - Resumo das análises de variância para ensaios em simulador acelerado de campo e em campo de apodrecimento.

Tabela 1F - Resumo das análises de variância para perda de massa em simulador acelerado de campo.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrados Médios - Perda de Massa		
		Jerônimo Monteiro	São José do Calçado	Vargem Alta
Espécie (E)	6	20,15279 ^{ns}	0,02313**	11,51926 ^{ns}
Resíduo-a	12	5,22831	0,00142	3,21160
Posição (P)	1	168,69006**	0,01510**	25,43846**
E x P	6	1,91175 ^{ns}	0,00168 ^{ns}	1,74988
Resíduo-b	14	4,82338	0,00120	1,19051
Total	41			

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

Tabela 2F - Resumo das análises de variância para desgaste em campo de apodrecimento.

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Quadrados Médios - Desgaste (18 Meses)		
		Jerônimo Monteiro	São José do Calçado	Vargem Alta
Espécie (E)	6	0,05139 ^{ns}	0,20294 ^{ns}	0,06685 ^{ns}
Resíduo-a	12	0,04970	0,06050	0,10278
Posição (P)	1	0,02393 ^{ns}	0,25628 ^{**}	0,22837 ^{**}
E x P	6	0,01951 ^{ns}	0,00902 ^{ns}	0,00497 ^{ns}
Resíduo-b	14	0,01107	0,02498	0,02352
Total	41			

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

Apêndice G - Visualização do desgaste ocasionado por agentes xilófagos no ensaio de apodrecimento de campo nos municípios de Jerônimo Monteiro, São José do Calçado e Vargem Alta.



Fonte: O autor. Seta: ataque de fungos.



Fonte: O autor. Seta: presença de térmitas.



Fonte: o autor. Seta: corpo de frutificação de fungos.