

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Amanda Grassmann da Silveira

**EXTRATOS NATURAIS COMO ALTERNATIVA PARA A
PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS**

Santa Maria, RS

2019

Amanda Grassmann da Silveira

**EXTRATOS NATURAIS COMO ALTERNATIVA PARA A PRESERVAÇÃO DE
MADEIRAS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutora em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Dr. Elio José Santini

Santa Maria, RS

2019

Silveira, Amanda Grassmann da
Extratos naturais como alternativa para a preservação
de madeiras / Amanda Grassmann da Silveira.- 2019.
96 p.; 30 cm

Orientador: Elio José Santini
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2019

1. Tratamento preservativo 2. Sustentabilidade 3.
Qualidade da madeira I. Santini, Elio José II. Título.

Amanda Grassmann da Silveira

EXTRATOS NATURAIS COMO ALTERNATIVA PARA A PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia de Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Doutora em Engenharia Florestal**.

20 de fevereiro de 2019:



Elio José Santini, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Edy Eime Pereira Baraúna, Dr (UFMG)



Luciano Denardi, Dr. (UFSM)



Silvana Rosso, Dra. (UNIPAMPA)



Talita Baldin, Dra. (UFMG)

Santa Maria, RS

2019

RESUMO

EXTRATOS NATURAIS COMO ALTERNATIVA PARA A PRESERVAÇÃO DE MADEIRAS

AUTORA: Amanda Grassmann da Silveira

ORIENTADOR: Elio José Santini

Entre os agentes decompositores, os organismos xilófagos são os maiores responsáveis por grandes prejuízos na produção de madeira. O uso de produtos químicos, por tempo prolongado, tem como implicação o surgimento de linhagens mais resistentes e a toxidez ao ambiente. Devido a isto, esforços têm sido direcionados na busca de compostos naturais originários do metabolismo secundário de plantas, que possam atuar como agentes preservantes da madeira. Deste modo, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar o desempenho dos extratos naturais tanino e neem, assim como verificar o potencial dos mesmos como alternativa para a preservação de madeiras. O trabalho está baseado nas seguintes etapas: análise da toxidez dos extratos por meio de avaliações fungitóxicas e verificação da atividade anti-térmitas; exposição de amostras tratadas em autoclave ao ensaio de apodrecimento acelerado e preferência alimentar por térmitas; utilização de ensaios de campo de apodrecimento para avaliação da eficiência de métodos caseiros e convencional na impregnação dos extratos. Após a exposição, todas as amostras de madeira tiveram seu desempenho avaliado pela determinação das suas propriedades biológicas, físicas, químicas e mecânicas, utilizando como parâmetro de comparação com duas testemunhas, positiva = tratada com a mistura CCB e negativa = resistência natural. Os resultados encontrados indicam que ambos os extratos apresentaram toxidez aos principais organismos xilófagos. Porém, na avaliação da madeira tratada e exposta, a emulsão Neem apresentou variação nos resultados, sendo por vezes ineficiente no tratamento ou apresentando efeito negativo nas amostras. Por outro lado, o tanino apresentou potencial na maioria das avaliações, indicando a possibilidade do uso do extrato na preservação de madeiras.

Palavras-chave: tratamento preservativo, sustentabilidade, qualidade da madeira.

ABSTRACT

NATURAL EXTRACTS AS AN ALTERNATIVE FOR THE PRESERVATION OF WOOD

AUTHOR: AMANDA GRASSMANN DA SILVEIRA

ADVISOR: ELIO JOSÉ SANTINI

Among the decomposing agents, the xylophagous organisms are the main ones responsible for great damages in the production of wood. The use of chemical products, for an extended time, has the implication of the emergence of more resistant lineages and the toxicity to the environment. Due to this, efforts have been directed in the search for natural compounds originating from the secondary metabolism of plants, that can act as preservatives agents of the wood. Thus, the objective of the present research was to evaluate the performance of natural extracts as an alternative for the preservation of wood. The work is based on the following steps: analysis of the toxicity of the extracts by means of fungitoxic evaluations and verification of the anti-termite activity; exposure of autoclaved samples to accelerated rotting and termite feeding preference; use of rotting field tests to evaluate the efficiency of conventional and homemade methods in the impregnation of the extracts. After exposure, all wood samples were evaluated for their biological, physical, chemical and mechanical properties, using as a parameter of comparison with two controls, positive = treated with CCB and negative = natural resistance. The results indicate that both extracts presented toxicity to the main xylophagous organisms. However, in the evaluation of the treated and exposed wood, the Neem emulsion presented variation in the results, being sometimes inefficient in the treatment or presenting negative effect in the samples. On the other hand, the tannin presented potential in most evaluations, indicating the possibility of the use of the extract in the preservation of wood.

Keywords: preservative treatment, sustainability, wood quality.

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO I – APRESENTAÇÃO	10
1.1 INTRODUÇÃO.....	10
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	11
1.3 HIPÓTESE.....	11
1.4 OBJETIVOS	11
1.4.1 Objetivos gerais	11
1.4.2 Objetivos específicos.....	12
1.5 JUSTIFICATIVAS	12
1.5.1 Ambiental	13
1.5.2 Social.....	13
1.5.3 Econômica	14
1.6 MÉTODO DA PESQUISA	14
1.7 ESTRUTURA DA TESE.....	15
2. CAPÍTULO II – REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 MADEIRA.....	17
2.2 ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO	18
2.3 UTILIZAÇÃO	18
2.4 DURABILIDADE NATURAL.....	19
2.5 DECOMPOSIÇÃO.....	20
2.6 ORGANISMOS DECOMPOSITORES	21
2.6.1 Fungos.....	21
2.6.2 Insetos	22
2.7 PRESERVAÇÃO.....	23
2.8 PRODUTOS INDUSTRIAIS	24
2.8.1 Produtos alternativos	26
2.8.1.1 Extrato tânico.....	26
2.8.1.2 Neem.....	27
2.9 REFERÊNCIAS.....	28
3. CAPÍTULO III – TOXIDEZ DE EXTRATOS NATURAIS AOS PRINCIPAIS ORGANISMOS XILÓFAGOS	32
3.1 INTRODUÇÃO.....	32

3.2	METODOLOGIA.....	34
3.2.1	Condução do ensaio em meio de cultura	35
3.2.2	Atividade anti-térmitas	36
3.2.3	Análise estatística.....	37
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
3.4	CONCLUSÕES	43
3.5	REFERÊNCIAS.....	43
4.	CAPÍTULO IV – ANÁLISE EM LABORATÓRIO DO DESEMPENHO PRESERVANTE DE EXTRATOS NATURAIS EM MADEIRAS DE RÁPIDO CRESCIMENTO.....	46
4.1	INTRODUÇÃO.....	46
4.2	METODOLOGIA.....	48
4.2.1	Perda de massa por fungos	49
4.2.2	Molhabilidade	49
4.2.3	Dureza.....	49
4.2.4	Microscopia eletrônica de varredura.....	50
4.2.5	Análise Termogravimétrica - TGA	50
4.2.6	Análise das alterações dos padrões químicos	50
4.2.7	Desgaste por cupins	51
4.2.8	Análise estatística.....	51
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4.3.1	Desgaste por fungos	52
4.3.1.1	<i>Perda de Massa.....</i>	52
4.3.1.2	<i>Molhabilidade.....</i>	54
4.3.1.3	<i>Dureza.....</i>	55
4.3.1.4	<i>Microscopia eletrônica de varredura.....</i>	58
4.3.1.5	<i>Análise Termogravimétrica - TGA.....</i>	61
4.3.1.6	<i>FTIR.....</i>	63
4.3.2	Desgaste por térmitas	66
4.3.2.1	<i>Perda de massa.....</i>	66
4.3.2.2	<i>Desgaste visual.....</i>	67
4.4	CONCLUSÕES	69
4.5	REFERÊNCIAS.....	69

5. CAPÍTULO V – ANÁLISE À CAMPO DO DESEMPENHO PRESERVANTE DE EXTRATOS NATURAIS EM MADEIRAS DE RÁPIDO CRESCIMENTO	73
5.1 INTRODUÇÃO.....	73
5.2 METODOLOGIA.....	75
5.2.1 Perda de massa	76
5.2.2 Inspeção visual	77
5.2.3 Dureza de Janka	77
5.2.4 Flexão estática e dinâmica	77
5.2.5 Solubilidade.....	78
5.2.6 Molhabilidade	79
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
5.3.1 Perda de massa	79
5.3.2 Desgaste visual	81
5.3.3 Dureza de Janka	84
5.3.4 Flexão estática	86
5.3.5 Flexão dinâmica	88
5.3.6 Solubilidade.....	90
5.3.7 Molhabilidade	92
5.4 CONCLUSÕES	94
5.5 REFERÊNCIAS.....	95

1. CAPÍTULO I – APRESENTAÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

As restrições impostas pela legislação em relação ao uso da madeira de espécies naturalmente resistentes à deterioração biológica, conhecidas como nobres, tornam escassos a disponibilidade de madeira de qualidade superiores. Situação que justifica a utilização de outras menos duráveis, principalmente as de rápido crescimento provenientes de reflorestamentos, como algumas espécies dos gêneros *Eucalyptus*, *Pinus* e *Acacia*.

O uso de espécies madeireiras suscetíveis ao ataque de agentes biológicos implica na impregnação de produtos preservantes no material, sendo que a ação destes agentes sobre a madeira ainda representa um prejuízo considerável para o setor madeireiro. Isso ocorre devido ao emprego de produtos ineficazes ou pela falta de orientação técnica na escolha de um produto adequado para a finalidade desejada, bem como pela forma adotada para a sua aplicação.

Infelizmente, a formulação da maior parte dos produtos mais difundidos no mercado é alterada apenas no sentido de reduzir os custos de manipulação para uma mesma eficiência do produto sem que se tente, simultaneamente, diminuir os danos ao ambiente e à saúde humana. Desta forma, a limitação estabelecida para o uso e comercialização de vários princípios ativos de preservantes reconhecidos como eficazes impõe, para as indústrias, a necessidade de substituição dos mesmos. Apesar disso, um bom número dos ingredientes encontrados como alternativos são menos eficientes quando levado em conta sua toxicidade aos organismos xilófagos e a dificuldade de fixação na madeira.

O principal problema encontrado na utilização de produtos alternativos, elaborados para dar proteção à madeira, é normalmente a falta de conhecimento sobre o seu desempenho. Por isso é necessário um estudo amplo, além de testes dentro de padrões científicos aceitáveis para este propósito. Cabe lembrar que a validade dos resultados obtidos é limitada, e essa limitação está ligada principalmente à situação geográfica em que o estudo é realizado, incluindo as variações climáticas, sítio, ocorrência de agentes xilófagos específicos na área de teste, dentre outros fatores de importância que afetam a vida útil do material tratado em uso.

Dentro do exposto, é possível perceber que a área de preservação de madeiras enfrenta o importante desafio no desenvolvimento de novos produtos, sabendo que do ponto de vista prático é importante considerar que os benefícios pretendidos vão além da proteção dada à

madeira como também a viabilidade econômica e a nocividade ao homem seja minimizada ou eliminada.

No tratamento moderno da madeira procura-se sustentabilidade, isto é, desenvolvimento equilibrado, e este implica, entre outros aspectos, em uso de recursos renováveis, recursos de baixo impacto ambiental e materiais de baixo consumo energético na sua elaboração.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Como preparar e aplicar extratos naturais na preservação da madeira e qual a qualidade e desempenho esperado destes extratos frente à agentes decompositores?

1.3 HIPÓTESE

O poder toxicológico de compostos químicos das plantas é uma das questões científicas que precisam ser esclarecidas, considerando o uso de sua bioatividade em detrimento dos tratamentos clássicos. Sendo assim, este trabalho adota a hipótese de que o comportamento destes metabólitos secundários de vegetais como preservantes naturais da madeira apresentem resultados satisfatórios ao comparar com preservativos industriais, de modo que tornem-se uma alternativa aos tratamentos convencionais de madeira, beneficiando à saúde dos operadores, usuários e ao meio ambiente.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivos gerais

Verificar o desempenho de extratos naturais como alternativas para a preservação de madeiras

1.4.2 Objetivos específicos

Avaliar a toxidez do extrato tânico e da emulsão de neem aos principais organismos decompositores da madeira.

Quantificar a perda de massa em ensaio acelerado com fungos representantes de podridão branca e parda; e por meio do ensaio de preferência alimentar determinar o prejuízo causado por cupins subterrâneos;

Verificar, por meio de campos de apodrecimento, a simulação real de uso das madeiras de ambiente externo, avaliando a eficiência dos produtos naturais frente ao intemperismo e organismos presentes nos locais.

Realizar, por meio de metodologias não-destrutivas, o monitoramento das alterações nas propriedades (químicas e físicas) da madeira tratada com extratos, comparando-as com a testemunha inferior (sem tratamento) e superior (CCB);

Verificar por meio de metodologia destrutiva a influência dos tratamentos nas propriedades mecânicas do material.

1.5 JUSTIFICATIVAS

Um importante conceito da sustentabilidade é a necessidade de suprir as necessidades atuais dos seres humanos sem comprometer as gerações futuras. Desta maneira, profissionais de diversas áreas do conhecimento buscam soluções para reduzir os impactos de diversos produtos químicos no meio ambiente. Neste sentido, a presente pesquisa tem o intuito de colaborar com a comprovação da viabilidade do uso de alternativas naturais no tratamento de madeiras, sob justificativas ambiental, social e econômica.

1.5.1 Ambiental

Existem diversos produtos desenvolvidos com o propósito de preservar a madeira. Porém, apesar de eficientes, muitos já foram retirados do mercado pelos malefícios que podem causar no ambiente. Atualmente no Brasil os produtos mais comuns no tratamento de madeiras são: CCA (arseniato de cobre cromatado) e o CCB (borato de cobre cromatado). Da mesma forma, eles vem sofrendo restrições de agências governamentais por serem considerados potenciais poluidores ao ambiente. O problema deve ser encarado com seriedade, pois o cromo, cobre e arsênio são metais pesados e tóxicos. A justificativa da discussão está na possível dispersão do arsênio para o ambiente pela madeira (lixiviação), antes que o mesmo se fixe na madeira, pela inevitável emissão durante o manuseio do produto, e, mais recentemente, pela disposição dos resíduos.

Algumas pesquisas já descrevem os resíduos de madeira tratada como perigosos (classe I), segundo critérios da ABNT NBR 10004, resultados que indicam que esse tipo de produto não pode ser descartado em qualquer lugar ou forma, com riscos de causar graves impactos ambientais.

1.5.2 Social

A associação de óxidos é uma excelente alternativa para aumentar a durabilidade da madeira, existindo inúmeros registros comprovando a eficiência dos mesmos. Entretanto, no que diz respeito à saúde pública, seu uso é polêmico devido ao alto índice de toxicidade apresentada.

Entre os problemas estão o contato dos operadores com as substâncias tóxicas, principalmente quando se trata de tratamentos caseiros, que podem ser desenvolvidos nas propriedades dos produtores. Outra questão que merece atenção está relacionada com o consumidor final, onde a utilização de determinados produtos restringe a utilização da madeira para elementos estruturais, postes e moirões, evitando qualquer uso que permita o contato direto com pessoas (uso em decks) e com alimentos.

Mesmo que os problemas citados sejam solucionados e as indústrias de tratamento garantam a fixação dos preservantes, evitando a contaminação do ambiente, ainda existe o desafio da disposição final dos resíduos gerados após a vida útil da estrutura de madeira. A reutilização dos resíduos como fonte de energia, na produção de composto para uso agrícola,

como mistura para a obtenção de outros produtos ou ainda, ser enviado para um aterro sanitário sem necessitar de maiores cuidados, só é possível com a remoção dos produtos da madeira, um processo que ainda está sendo pesquisado e que pode ser oneroso.

1.5.3 Econômica

A Associação Brasileira de Preservadores de Madeira (ABPM) estimula a utilização da madeira de reflorestamento, que é um recurso natural renovável de ciclo curto, sempre disponível, de baixo custo e tecnologicamente adequada para as mais diversas finalidades, como postes, dormentes, moirões e peças para construção. A utilização de madeiras nativas é também recomendada, por ser permitido o aproveitamento do alburno das toras, contudo, desde que colhidas em áreas de projetos de manejo sustentado.

A madeira tratada é um produto sustentável à medida que diminui o consumo de madeira nativa, substituindo suas várias formas de utilização e da própria madeira reflorestada, pois aumenta sua qualidade e durabilidade. Ao mesmo tempo, ela contribui para a geração de emprego, tanto nos reflorestamentos como no processo de tratamento, além de contribuir para o aumento do mercado consumidor já que seu custo benefício é maior.

A demanda por biocidas cresce gradualmente, considerando que as regiões mais desenvolvidas do mundo estão sendo regidas por legislações cada vez mais exigentes com relação aos produtos sintéticos, restringindo ou proibindo o uso daqueles tradicionalmente utilizados. Apesar da eficiência comprovada de algumas alternativas ambientalmente corretas para o tratamento da madeira, as informações sobre sua viabilidade econômica ainda são difíceis de serem encontradas, ou ainda nem começaram a ser avaliadas. Mas já existem relatos indicando que a utilização de produtos naturais tende a reduzir o custo do tratamento da madeira. Além disso, produtos menos tóxicos significam menos gastos com saúde e meio ambiente.

1.6 MÉTODO DA PESQUISA

O presente trabalho aborda o tema dos extratos naturais como alternativa para o tratamento de madeira. A princípio, em uma etapa exploratória, por meio de dados coletados de livros, periódicos, artigos e sites conceituados na área florestal, foi formada uma base de

informações que visam contribuir para os objetivos da presente pesquisa, auxiliando no enriquecimento de ideias, metodologias e expectativas de resultados. Posteriormente, foram formuladas concentrações dos extratos para a montagem dos testes de toxidez à fungos e térmitas. Com os resultados da primeira etapa, foi realizada a formulação das concentrações mais adequadas para aplicar nas amostras de madeira que foram submetidas ao ensaio de apodrecimento acelerado, este que indicou a capacidade dos preservantes naturais protegerem a madeira em ambiente controlado, ou seja, onde era fornecido aos organismos as condições ideais de desenvolvimento. Em seguida, a continuidade da pesquisa passou a ser em ambiente externo, com amostras tratadas em autoclave e em tratamentos caseiros. Foram montados campos de apodrecimento com exposição aos agentes decompositores físicos combinados com agentes biológicos, que trouxe respostas de fixação dos produtos naturais na madeira comparados ao produto natural. Os parâmetros avaliados ao longo do trabalho foram: crescimento micelial, atividade anti-térmitas, inspeção visual, perda de massa, análise dos principais constituintes químicos, observação microscópica, decomposição térmica, molhabilidade, flexão estática e dinâmica, dureza e solubilidade. Os tratamentos nas madeiras sempre foram comparados com uma testemunha inferior (sem tratamento, durabilidade natural da madeira) e testemunha superior (tratada com a mistura CCB, preservante industrial; ou amostras sem exposição a agentes decompositores).

1.7 ESTRUTURA DA TESE

O capítulo I corresponde à introdução do trabalho, os objetivos, hipótese, justificativa da pesquisa e o método da pesquisa, explicando-o de forma detalhada, bem como as ferramentas que serão utilizadas para a elaboração e desenvolvimento do estudo.

O capítulo II apresenta a fundamentação teórica que serviu de embasamento para a pesquisa.

O capítulo III apresenta, em formato de artigo, a primeira etapa da pesquisa, indicando a toxidez dos produtos naturais aos principais organismos deterioradores da madeira.

O capítulo IV apresenta, em formato de artigo, a análise em laboratório dos tratamentos naturais em madeiras de rápido crescimento. Os testes consistiram no ensaio de apodrecimento acelerado com fungos e ensaio de preferência alimentar com térmitas. O objetivo de ambos foi avaliar a eficiência do tratamento de pequenas amostras em ambiente controlado, com condições ideais para desenvolvimento de xilófagos.

O capítulo V apresenta em formato de artigo os resultados referentes a avaliação em campo de apodrecimento de madeiras tratadas por diferentes métodos, sendo o objetivo determinar a resistência das madeiras expostas a um ambiente real de uso, considerando as intempéries e os diversos organismos presentes na área de estudo.

2 CAPÍTULO II – REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MADEIRA

Desde as primeiras civilizações a madeira é utilizada para diversos fins, por ser um material versátil e de fácil obtenção, tornou-se indispensável para a evolução industrial, militar e tecnológica (PAULA et al., 2016). Os autores destacam o seu papel em diversos setores econômicos, tais como movelaria, energia, construção civil, produção de celulose entre outros

Por ser um dos materiais naturais mais abundantes e versáteis, produzido por muitas espécies botânicas, a madeira está disponível em várias cores e padrões, apresenta boa resistência em relação ao seu peso, é isolante ao calor e eletricidade, tem propriedades acústicas desejáveis, além de apresentar boa trabalhabilidade (ZENIT, 2011). Apesar do avanço tecnológico e da concorrência a partir de metais, plásticos, cimento e outros materiais, mantém-se na indústria em seus empregos tradicionais e sua funcionalidade está em expansão por meio de novas utilizações (TSOUMIS, 2016). O mesmo autor destaca que além da utilização da madeira sólida, a mesma é fonte de matéria-prima para painéis, papel e celulose, e muitos produtos químicos e ainda é um combustível importante em muitas partes do mundo

As propriedades da madeira variam de acordo com a espécie, e escolher sua destinação depende intimamente de caracterizar corretamente a madeira, o que permitirá melhor aproveitamento do material por conhecer as limitações e potenciais do mesmo (PAULA et al., 2016). Para tanto, é importante realizar uma descrição da madeira com ênfase nas informações de cunho físico, mecânico e organoléptico, ao qual devem predizer a melhor utilização deste material, se na forma de madeira serrada, laminada, para movelaria ou uso externo (MORESCHI, 2012).

A indústria madeireira utiliza principalmente espécies do gênero *Eucalyptus* e *Pinus* para o cultivo em florestas plantadas e certificadas, essa escolha se deve ao rápido crescimento, facilidade de manejo e grande retorno comercial (DELUCIS et al., 2016). Atualmente estas espécies ocupam a maioria dos investimentos no plantio de florestas renováveis, embora existam pesquisas no Brasil para que espécies nativas ocupem este lugar e permitam melhor adequação com o meio ambiente (BRITO et al., 2008).

2.2 ESTRUTURA E COMPOSIÇÃO

Assim como a maioria dos materiais naturais, a anatomia da madeira é complexa, pois se trata de um material poroso, fibroso e anisotrópico, de acordo com essas características as espécies madeireiras estão divididas em duas grandes classes: coníferas e folhosas, que são, na verdade, classificadas por características botânicas e anatômicas e não em relação à própria madeira, coníferas (ou gimnospermas) incluem os pinus, cedros entre outras; folhosas (ou angiospermas) incluem espécies como os carvalhos, eucaliptos entre outras (CLEMONS, 2010).

A organização celular das coníferas é simples e cerca de 90% do volume é composto elemento estrutural da árvore, traqueóides, além disso, elas têm a função de conduzir a seiva por tensão superficial e capilaridade através dos canais formados pelas cadeias das células (PFEIL, 2011). As folhosas, por sua vez, são estruturalmente mais complexas e apresentam grande diversidade de padrões de organização celular, formadas basicamente por três tipos de células: vasos, fibras e raios, desempenhando as funções de condução, sustentação e armazenamento, respectivamente. (CARVALHO, 2009)

As árvores desenvolvem tecidos lenhosos distintos ao longo do seu crescimento, conforme descrito por Palermo et al. (2013). Segundo os autores, o lenho juvenil é formado pelo xilema produzido nos primeiros anos de desenvolvimento até determinada idade cambial, posteriormente a espécie passa a formar o lenho adulto com propriedades físicas, mecânicas, químicas e anatômicas diferentes do primeiro.

O xilema é um tecido vegetal de suporte mecânico e o principal mecanismo para o transporte de água e nutrientes (TURNER et al., 2007). As paredes celulares secundárias do xilema são compostas principalmente de celulose, hemiceluloses e lignina. A celulose forma uma rede de fibras portadoras revestidas de hemiceluloses e incorporados em lignina, proporcionando resistência e rigidez (semelhante às hastes de aço e concreto reforçado) (SOMERVILLE et al., 2010).

2.3 UTILIZAÇÃO

A madeira sempre contribuiu para o desenvolvimento da humanidade e é uma parte integral da sociedade moderna, no futuro, o seu papel só tem a crescer à medida da sua

importância como uma matéria-prima de diversos materiais, fundamental para combustíveis de base biológica, produtos químicos e energia (PU et al., 2011).

É um material de grande importância econômica, encontrado em todo o mundo e é um recurso-renovável, ao contrário de materiais como carvão, minérios e petróleo, que são gradualmente esgotados (TSOUMIS, 2016). O autor ainda destaca que por meio de sua colheita em florestas, seu transporte, sua transformação em oficinas e indústrias, seu comércio e uso, a madeira proporciona empregos e apoia o desenvolvimento econômico e, em alguns países, subsistência básica

Produtos de madeira são considerados melhores opções por terem impactos ambientais mais baixos quando comparados aos produtos funcionalmente equivalentes, como combustíveis fósseis ou recursos minerais (SATHRE e O'CONNOR, 2010). O setor brasileiro de florestas é caracterizado por uma grande diversidade de produtos, formando uma cadeia produtiva e compreendendo um conjunto de atividades que incluem desde a produção até a transformação da madeira em produtos finais (ABRAF, 2013).

A madeira tratada vem ganhando cada vez mais mercado nestes últimos anos, realidade que ocorre em diversas regiões, as principais usinas de preservação de madeira estão distribuídas predominantemente nas Regiões Sudeste e Sul, onde se concentram as maiores áreas reflorestadas do país. Em 2012, estima-se que a produção de madeira tratada alcançou 1,6 milhão de m³, o aumento da procura por esse produto se deve ao maior esclarecimento dos compradores em relação à qualidade do produto e suas diversas aplicabilidades, além da qualidade, a madeira tratada é uma substituta das madeiras nativas, colaborando assim com a preservação das florestas nativas (ABRAF, 2013).

2.4 DURABILIDADE NATURAL

A resistência à deterioração ou madeira naturalmente durável são conceitos que pode apresentar diferentes significados, no sentido científico este é expresso em padrões normatizados, sendo a durabilidade da madeira em relação a decomposição fúngica é calculada com base em metodologias, onde amostras são colocadas em situações reais de uso e acompanhado o processo de decomposição (LARSEN e MARSTEIN, 2000). O autor descreve a classificação da norma EN 350-2 Europeia, onde a durabilidade natural da madeira para fungos decompositores da madeira, caracterizada em um sistema de cinco classes baseadas na vida útil do material: variando de material muito durável (classe 1), com mais de

25 anos; material ‘não duradouro’ (classe 5), menos de 5 anos; apresentando entre elas as classes intermediárias (2-4), onde o tempo de serviço varia de 5 a 15 anos.

A American Society for Testing and Materials (ASTM) apresenta 4 classes de resistência, baseadas na perda de massa de amostras de madeira, o material é considerado muito resistente quando a perda de massa variar entre 0 a 10%, resistente quando é de 11 a 24%, resistência moderada quando os valores estiverem no intervalo de 25 a 44%, perda de massa acima de 45% classifica a madeira como não resistente.

Essa propriedade da madeira pode ser considerada uma das mais importantes a considerar quando se compra objetivando empregar o material para fim estrutural (CLAUSEN, 2010). Segundo o mesmo autor, cerne da madeira de espécies nativas tem variável grau de resistência natural, determinada pela presença de extratos, dos organismos que atacam e das condições de exposição, normalmente o alburno, independente de espécie, apresenta baixa resistência à deterioração e devido a isso possui vida de serviço curta sob condições que favorecem a decomposição. No entanto, cabe salientar que a durabilidade de qualquer madeira diminui à medida que a chuva, radiação ou outras intempéries agem, por estas razões, a utilização de madeira tratada a medida mais segura para evitar custos extras (KNAEBE, 2013).

Todos os tipos de compostos ou metabólitos secundários da madeira são chamados de extratos, sendo que o nome refere-se a capacidade dos mesmos serem extraídos por dissolução, apesar de não apresentarem funções estruturais, os extratos tem importante relação com o desenvolvimento da planta no meio, essas substâncias podem ser tóxicas para as células do parênquima e provocar a morte das células durante a formação do cerne (TAYLOR et al., 2002). Durante o processo de formação do cerne, os metabólitos se acumulam nos tecidos e asseguram a durabilidade natural da madeira. O papel principal dessas substâncias tóxicas é a defesa do cerne contra os agentes biológicos, deterioradores da madeira, sendo esses mecanismos já evidenciados (CARNEIRO et al., 2009).

2.5 DECOMPOSIÇÃO

Uma limitação que pode comprometer a vida útil de uma estrutura de madeira é a vulnerabilidade à umidade e deterioração, pois a madeira é um material biológico que tende a cumprir o último ciclo de qualquer organismo vivo, a decomposição (CLAUSEN e GLASS, 2012). Contudo o autor ressalta que materiais de madeira podem durar por muitas décadas

quando empregado corretamente, mas, quando utilizado indevidamente são atacados principalmente por fungos e cupins.

2.6 ORGANISMOS DECOMPOSITORES

2.6.1 Fungos

Os fungos apodrecedores são organismos destrutivos para as estruturas de madeira em qualquer local quando as condições de desenvolvimento são ideais, sendo que temperatura, umidade e oxigênio são os fatores críticos para crescimento fúngico (CLAUSEN, 2010). O autor chama a atenção para três grandes grupos de fungos decompositores: podridão-parda, podridão-branca e podridão-mole. Os dois primeiros são os mais destrutivos para as estruturas de madeira acima do solo

A autora acrescenta que os organismos atacam a madeira sob a forma de longas células microscópicas, filiformes, conhecidas por hifas. Estes permeiam a madeira e utilizam seus principais constituintes como alimento, onde alguns fungos apenas atacam a celulose, enquanto outros menos seletivos também se alimentam da lignina (ROSS, 2010). De acordo com o autor estes organismos podem ser identificados pela presença de fragmentos em forma de leque, vertentes ou estruturas semelhantes a raízes com coloração branca ou marrom. Às vezes, os seus corpos frutíferos possuem a forma de cogumelos, colchetes ou crostas.

O fungo apodrecedor *Trametes versicolor* pode ser encontrado facilmente nas madeiras em decomposição ao redor do mundo devido a sua ampla distribuição geográfica. O nome “versicolor” está relacionado com as diferentes colorações que este organismo pode apresentar durante a fase de frutificação, dependendo da sua genética e do ambiente. Este fungo tende a atacar madeiras duras, deteriorando a celulose, hemiceluloses e a lignina (PALA, 2007). O autor também salienta a sua capacidade para remover os polímeros estruturais é muito variável, sendo que algumas espécies removem preferencialmente a lignina, outras removem simultaneamente a lignina e a celulose, desta forma material deteriorado adquire uma textura fibrosa devido à remoção da lignina, não apresentando fendas e nem contração.

Gloeophyllum trabeum é um tipo bem comum de fungo de podridão parda que pode ser encontrado em praticamente qualquer lugar, porém é em florestas de coníferas onde ele prevalece. Devido a sua alta agressividade na degradação de madeiras, ele vem sendo

utilizado com muita frequência em testes de durabilidade natural (PALA, 2007). De acordo com o mesmo, o fungo ataca a madeira por mecanismo não enzimático, responsável pela erosão da microestrutura da madeira e conseqüente aumento da porosidade, permitindo a penetração das enzimas que promovem a deterioração. Como resultado da despolimerização e da remoção da celulose, a madeira tende a contrair, formando fendas nas direções longitudinal e perpendicular à grã, originando o padrão cúbico característico da podridão parda.

2.6.2 Insetos

A madeira está sujeita a danos por insetos desde a árvore viva até sua utilização, e as principais ordens encontradas são Isoptera, Coleoptera e, com menor importância, Hymenoptera (EATON e HALE, 1993). Os cupins são considerados severos agentes destruidores por isso estão entre os principais biodeterioradores da madeira, porém, também são organismos importantes para a manutenção da dinâmica dos processos de decomposição e para os fluxos de carbono e nutrientes nas florestas tropicais (BANDEIRA e VASCONCELLOS, 2002).

São insetos polívoros, com preferência alimentar em materiais celulósicos, a deterioração da madeira por cupins é um problema crônico em muitas regiões tropicais, resultando em prejuízos financeiros com grande alcance impacto sobre a crescente demanda por madeira (OBI et al., 2008).

Os cupins subterrâneos, responsáveis por grandes danos em todo o mundo, constroem seus túneis através da terra e em torno de obstruções para chegar à madeira que precisam como alimento. Os operários membros da colônia, são os maiores responsáveis pela destruição do material madeireiro, pois além de alimento, constroem galerias ao longo da madeira, comprometendo a estrutura do material (CLAUSEN, 2010). Para o autor, certas estações do ano, geralmente a primavera, os insetos alados voam um curto período de tempo, perdem suas asas e iniciam novas colônias, tornando estas asas como sinal de alerta aos moradores locais.

O desenvolvimento de um controle específico de térmitas, que aproveite a sua biologia e acomode as preocupações em questões do uso de produtos químicos no ambiente natural é cada vez mais necessário, o caminho pode estar na implantação de produtos repulsivos, com base em feromônios ou extratos de plantas (ROULAND-LEFÈVRE, 2010).

2.7 PRESERVAÇÃO

Madeiras com baixa durabilidade natural para uso exterior tornam-se facilmente sujeitas à deterioração por várias causas, por isso, para aumentar o seu tempo de serviço, o método mais comum para proteger a madeira é preservação química (LIIBERT et al., 2011). A madeira tratada é o produto resultante da preservação da madeira por meio da impregnação de substâncias com o intuito de controlar agentes biológicos, físicos e químicos, tais como chuva, sol e parasitas, que podem afetar a durabilidade da madeira (ABRAF, 2013).

Os principais produtos gerados a partir de madeira tratada são postes, cruzetas, dormentes, cercas e estruturas para a construção civil, entre outros. A atividade é regulamentada por legislações específicas e orientada por normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABRAF, 2013). A associação ainda informa que as principais usinas de preservação de madeira estão distribuídas predominantemente nas Regiões Sudeste e Sul, onde se concentram as maiores áreas reflorestadas do país, sendo que o aumento da procura por madeiras tratadas se deve ao maior esclarecimento dos compradores em relação à qualidade do produto e suas diversas aplicabilidades, além da qualidade, tornando matéria prima substituta das madeiras nativas, colaborando assim com a conservação ambiental.

O tratamento da madeira com produtos químicos para prevenir o apodrecimento, tem sido o esteio da indústria madeireira desde 1830, durante esse tempo vários produtos químicos tóxicos de largo espectro têm sido usados para prevenir a deterioração da madeira e estes têm sido muito bem-sucedidos na sua aplicação, entre à maioria dos conservantes amplamente utilizados dentro do século passado tem sido creosoto e sistemas de cobre cromado, incluindo cobre, cromo e arsênio em soluções (ORMONDROYD et al., 2015).

Apesar da eficácia dos conservantes químicos contra o ataque de microorganismos, a elevada toxidez destes produtos torna seu uso futuro questionável, por estas razões, conservantes baseados em biocidas orgânicos e polímeros naturais são considerados como uma boa alternativa, podendo servir como substitutos para as misturas químicas comercializadas na preservação (LIIBERT et al., 2011).

Os tratamentos em madeira são aplicados de acordo com o uso final do material, no caso de caixilhos de janela e faixas, o tratamento de pressão não é necessário, apesar do tratamento de superfície não penetrar profundamente na madeira, o mesmo evita a decomposição de fungos e reduz a absorção de água (CLAUSEN e GLASS, 2012). Mas os autores advertem que para aplicações em exteriores, tais como madeira compensada de classe marítima (OSB) podem ser tratados com produtos químicos de conservação e com cera

adicionada ao adesivo, que fornece proteção adicional contra a água, e complementam que para uso acima do solo ou em contato com o solo os tratamentos com pressão são mais usuais com utilização de produtos químicos.

2.8 PRODUTOS INDUSTRIAIS

A impregnação de produtos preservantes na madeira se dá a utilização um solvente, este que serve de “veículo” para o produto, e também classifica os biocidas ou preservantes em hidrossolúveis, oleosos e oleossolúveis, porém, as duas últimas classes são comumente encontradas na literatura como sendo uma só (CALIL JÚNIOR, 2002).

O alcatrão é relatado como o preservante químico sintético mais antigo, subproduto obtido por meio da carbonização da madeira, turfa, lignito, xisto betuminoso e hulha, porém apresentava limitações em ambientes externos, pela facilidade de lixiviação (STUMPP et al., 2006). Como alternativa, os autores citam o destilado do alcatrão, extraído do carvão de pedra a altas temperaturas foi patenteado pelo inglês John Bethell, o creosoto, indicado para o tratamento de postes e dormentes.

O pentaclorofenol foi patenteado em 1929 na Inglaterra, esse composto é obtido na cloração direta, por catalização do cloreto de alumínio ($AlCl_3$), o pentaclorofenato de sódio é o sal correspondente ao pentaclorofenol, até os anos 1990 foi o preservante mais usado no tratamento de madeiras recém-serradas, atualmente, ambos têm seu uso proibido no Brasil (BOSSARDI, 2014).

O arseniato de cobre cromatado (CCA) é o sal hidrossolúvel mais eficiente e mais usado desde 1930, normalmente aplicado em autoclave sob pressão de até 14 atmosfera. Ultimamente tem sofrido sérias restrições e está sendo proibido em diversos países, como Alemanha, França, Inglaterra e Estados Unidos (STUMPP et al., 2006). Os autores explicam que o CCB é uma mistura de sulfato de cobre, ácido bórico e bicromato de potássio, parecido ao CCA, no entanto, com impacto ambiental e risco aos operadores mais baixo. As aplicações do produto são idênticas ao CCA, com a diferença de que é viável a realização do tratamento em tanques abertos.

De acordo com Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA (2012), os ingredientes ativos mais importantes registrados no órgão, para produção em nível industrial são: Arseniato de Cobre Cromatado tipo C (CCA-C); Borato de Cobre Cromatado (CCB), base óxido e salino; Cobre Azol tipo B (CA-B). Devido a

atividade de preservação de madeiras, envolver a utilização de produtos químicos, na sua grande maioria tóxicos e que se não utilizados corretamente podem causar danos à saúde dos trabalhadores e ao meio ambiente. Para que os benefícios dos preservativos de madeira superem os seus riscos, a fiscalização ocorre de forma intensa.

Desde o início da década de 90, a busca por alternativas viáveis na área de preservação da madeira se intensificou em todo o mundo, historicamente, esta área utilizou três grandes sistemas de conservação para o tratamento industrial de madeiras: pentaclorofenol, creosoto e arsênicos a base água (BARNES, 2008). O autor cita que os principais fatores que impulsionaram as mudanças na tecnologia de tratamento e sistemas de conservação em todo o mundo foram as preocupações ambientais, o efeito da madeira tratada em seres humanos e outros organismos, e a crise energética, especialmente no que tange os sistemas conservantes baseados em petróleo. Destas, as preocupações ambientais são predominantes. De acordo com Moreschi (2012) para um produto ser classificado como um bom preservante, são desejáveis as seguintes características:

Resistência à lixiviação e à volatilidade: o produto deve ter uma ação duradoura na madeira, deve ser quimicamente estável e resistir aos riscos de uso que são a lixiviação (chuva, água de condensação e água do solo) e evaporação (ação do calor), além de não se decompor e nem se alterar quando em contato com os constituintes do lenho.

Não alterar as propriedades da madeira: a versatilidade do emprego da madeira é resultante de suas características físicas, químicas, mecânicas, organolépticas e decorativas, logo a madeira tratada não deve ter a sua superfície alterada.

Não ser corrosivo: Um produto corrosivo pode causar danos estéticos e comprometer as uniões (cintas, pregos, parafusos, etc.).

Não aumentar a inflamabilidade da madeira: uma das propriedades indesejáveis da madeira é a sua capacidade de queimar. Os produtos preservativos não devem torná-la mais inflamável ainda.

Ser acessível nos custos e disponível no mercado: a madeira preservada deve apresentar competitividade com outros materiais. Não basta que o produto seja eficiente, mas que o seu uso seja viável, sem comprometer o custo final.

Seguro em relação ao homem e ao meio ambiente: a toxidez do preservativo deve ser restrita aos organismos xilófagos, evitando-se a intoxicação de homens e animais, bem como alterações no equilíbrio ecológico. Também não deve apresentar odores, quando em contato com homens e animais.

2.8.1 Produtos alternativos

Para Bernardes e Ferreira (2010) os movimentos ecológicos contribuíram com uma nova visão das relações da sociedade com a natureza, visto que o estilo de vida da classe média ocidental vem sendo transformado, o consumo de mercadorias ecológicas assim como a economia doméstica de recursos energéticos e a implantação de reservas naturais vem aumentando, o tamanho das famílias diminuindo, há um aumento no rigor das leis ambientais e agências governamentais ligadas ao meio ambiente.

O processo de proteger a madeira da decomposição física e biológica tornou-se mais abrangente, ou seja, o produto conservante tem que ir além do propósito de preservar a madeira, mas também solucionar questões ambientais e sociais que envolvem a toxicidade de conservantes químicos convencionais, constituídos de metais (BRAND et al., 2006). É necessário desenvolver tecnologias/metodologias capazes de avaliar desempenhos à campo de produtos naturais alternativos, estabelecer padrões de qualidade destes produtos definidos como extratos vegetais, que podem ser emergentes como soluções parciais para controlar a deterioração de organismos xilófagos (LAREDO et al., 2015).

Segundo Asamoah et al. (2011) e Syofuna et al. (2012), a utilização de extratos botânicos objetivando elevar a durabilidade de madeiras propensas ao apodrecimento é vista como uma alternativa e deve ser fonte de futuras pesquisas, a fim de promover a utilização de produtos ecológicos na indústria de tratamento de madeira.

2.8.1.1 Extrato tânico

Obtidos de diversas espécies florestais, porém pouco conhecidos na maioria delas por causa da sua composição variável, os taninos vegetais têm uma série de aplicações. O termo tanino foi inicialmente usado para descrever os químicos de tecidos vegetais responsáveis pela transformação da pele fresca de animais em couro (CANNAS, 2011). O autor caracteriza os taninos como compostos oligoméricos, formados por estruturas múltiplas com grupos fenólicos livres, solúveis em água e com a propriedade de se ligar a proteínas formando outros complexos.

Os taninos também são empregados pela indústria cosmética, farmacêutica, de perfuração de poços, produção de azulejos, tratamento de água e esgoto e para a fabricação de tintas e adesivos (SEN et al., 2009), além disso os autores consideram que o mesmo possui

propriedades de repelência a organismos xilófagos, podendo ser responsável pela durabilidade natural da madeira de algumas espécies florestais, o que indica o seu potencial para ser utilizado como preservativo natural .

Entre as várias alternativas existentes para o tratamento preventivo do mofo, já está disponível no mercado um antimoho natural a base de tanino recomendado para tratamento de madeiras verdes recém-serradas. É uma boa solução em relação aos preservativos sintéticos, pois possui baixo odor, é biodegradável, tem fácil manuseio, não gera vapores tóxicos, não é inflamável, é totalmente hidrossolúvel e natural, não contendo compostos tóxicos como fenóis clorados ou bromados, entre outros. Testes realizados pela empresa que produz o antimoho natural comprovaram sua eficácia já que 95% das tábuas analisadas tiveram índice de 0% de formação de mofo em condições altamente favoráveis (REMADE, 2006).

Alguns autores afirmam que os taninos possuem baixa toxicidade como preservativos, mas que podem fixar biocidas pelas suas excelentes propriedades quelantes, o que significa que possuem habilidade em formar complexos com metais, dificultando sua posterior lixiviação (BRAND et al., 2006). Outros estudos justificam a alta durabilidade natural de algumas madeiras por causa de taninos presentes nas mesmas, apresentando este como uma alternativa em potencial (MELO et al., 2010),

2.8.1.2 *Neem*

Azadirachta indica por muitos séculos era popularmente conhecida como farmácia de aldeias indígenas, pois todas as partes desta planta podem ser utilizadas para vários tipos de doenças, pois o extrato de folhas e sementes apresentam propriedades antibacteriana, antifúngica, antiviral (TEWARI, 1992).

O óleo é composto basicamente de triglicerídeos de oleico, esteárico, linoleico e palmítico, sendo empregado principalmente em lamparinas, sabões e outros produtos não comestíveis (PLANETANATURAL, 2006). Alguns dos principais componentes biologicamente ativos do Neem são azadiractina, meliantriol, limoneno, odoratone e outros triterpenóides, dentre os mais de 100 compostos já isolados (SIDDIQUI et al., 2003).

Além do efeito conhecido dos produtos a base de Neem no controle de insetos, vale também salientar a influência que o produto tem sobre outros organismos, como os nematóides, caramujos, crustáceos e fungos. O produto é de baixa toxicidade ao homem,

rápida degradação no solo e nas plantas, e possui certa seletividade para inimigos naturais (SCHMUTTERER, 1995).

Todos os produtos à base de Neem (*Azadirachta indica*) são completamente naturais, sendo atóxicos para os seres humanos, os animais domésticos e o meio ambiente. Frutos, sementes, óleo, folhas, cascas e raízes do Neem possuem os mais variados usos antissépticos e antimicrobianos. Pesquisas mostram que o óleo de Neem é eficaz contra fungos, parasitas, insetos, algumas bactérias e vírus (PAES et al., 2010).

2.9 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM standards**. v. 04.10 Wood. D-143-55. July, 1994.

ASAMOAHA, A.; FRIMPONG-MENSAH, K.; ANTWI-BOASIAKO, C. Efficacy of *Tectona grandis* (Teak) and *Distemonanthus benthamianus* (Bonsamdua) water extractives on the durability of five selected ghanaiian less used timber species. **Pakistan Journal of Chemistry, Carachi**, v. 1, n. 1, p. 28-31, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico a ABRAF: ano base 2012**. Brasília, 2013.

BANDEIRA, A.G.; VASCONCELLOS, A. A quantitative survey of termites in a gradient of disturbed highland forest in Northeastern Brazil (Isoptera). **Sociobiology**, v. 39, p. 429-439, 2002.

BARNES, H.M. Wood: preservative treated. In: BUSCHOW, K. H. J.; CAHN, R. W.; FLEMINGS, M. C.; ILSCHNER, B.; KRAMER, E. J.; MAHAJAN, S. (eds.). **Encyclopedia of Materials: Science and Technology**. Oxford: Elsevier Science, v.10, p. 9683-9688, 2008.

BERNARDES, J; FERREIRA, F. **Sociedade e natureza**. In: CUNHA, S; GUERRA, A (Orgs.). A questão ambiental: diferentes abordagens. 6ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

BOSSARDI, K. **Tall oil e seus subprodutos: alternativas como preservantes para madeira**. 2014. 74 p. Tese (Doutorado Engenharia Mecânica) -Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, SP, 2014.

BRAND, M. A., ANZALDO, J., MORESCHI, J. C. Novos produtos para o tratamento preservante da madeira. Perspectivas da pesquisa e utilização. **Floresta**, v.36, n.1, p. 129-138, 2006.

BRITO, J.O. et al. Chemical composition changes in eucalyptus and pinus woods submitted to heat treatment. **Bioresource Technology** v.99, pag. 8545-8548, 2008.

CALIL JÚNIOR, C. O potencial do uso de madeira de Pinus na construção civil. **Revista de Tecnologia da Construção**, v.10, n.60, p.44-48, 2002.

CANNAS, A. **Tannins: Fascinating but Sometimes Dangerous Molecules**. Cornell University – Department of Animal Science. 2011. Disponível em < <http://www.ansci.cornell.edu/plants/toxicagents/tannin.html>>. Acesso em 25/10/2015.

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

CARVALHO, W. Uma visão sobre a estrutura e a composição da madeira. **Janus**, v. 6, n. 9, pag. 246-247, 2009.

CLAUSEN, C. A. Biodeterioration of Wood. In: **Wood Handbook-Wood as an Engineering Material**. General Technical Report FPL–GTR–190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010. 508 p.

CLAUSEN, C. A.; GLASS, S. V. **Build green: wood can last for centuries**. US Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2012.

CLEMONS, C. M. Wood flour. In: **Functional Fillers for Plastics**. Second Edition. p. 269-290, 2010.

DELUCIS, R. A.; CADEMARTORI, P. H.G; MISSIO, A. L.; ALBERTO GATTO, D.A. Decay resistance of four fast-growing Eucalypts wood exposed to three types of fields. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 18, n. 1, p. 33-42, 2016.

EATON, R. A.; HALE, M. D. C. **Wood: decay, pests and protection**. London: Chapman & Hall, 1993. 546p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. 2012. **Banco de dados produtos preservativos de madeiras**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/areas-tematicas-qa/produtos-preservativos-de-madeiras>>. Acesso em: 18 fev. 2016.

KNAEBE, M. **Effects of Acid Deposition on Wood**. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, FinishLine, 2013; 1 p.

LARSEN, K. E.; MARSTEIN, N. **Conservation of historic timber structures: An ecological approach**. London: Butterworth, 2000.

LAREDO, R. F. G.; CASTRO, M. R.; GUZMÁN, N. E. R.; INFANTE, J. A. G.; MORENO-JIMÉNEZ, M. R.; KARCHESY, J. J. Wood preservation using natural products. **Madera y bosques**, v. 21, p. 63-76, 2015.

LIIBERT, L.; TREU, A.; MEIER, P. The Fixation of new alternative wood protection systems by means of oil treatment. **Materials Science**, v. 17, n. 4, p. 402-406, 2011.

MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GARLET, A.; BENIGNO PAES, J.; &

STANGERLIN, D. M. Resistência de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz a fungos e cupins xilófagos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 501 - 511, 2010.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. (Material Didático). 4. ed. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2012.

OBI, J.C.; OGUNKUNLE, A.O.; MELUDU, N.T. Effect of termite infestation on the farming system characteristics of an endemic area in the guinea savanna region of Nigeria. **Am-Euras. Journal of Scientific Research.**, v.3, p. 1-6, 2008.

ORMONDROYD, G.; SPEAR, M.; CURLING, S. Modified wood: review of efficacy and service life testing. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials**, v. 168, n.4, p. 187-203, 2015.

PAES, J. B.; SOUZA, A. D. D.; LIMA, C. R. D.; MEDEIROS NETO, P. N. D. Eficiência dos óleos de nim e mamona contra cupins xilófagos em ensaio de alimentação forçada. **Cerne**, v. 16, n. 1, p. 105-113, 2010.

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

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. D. F.; SEVERO, E. T. D.; NASCIMENTO, A. M.; REZENDE, M. A. Delimitação entre os lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 191-200, 2013.

PAULA, M. H.; MESQUITA, R. R. S.; GONÇALEZ, J. C.; RIBEIRO, E. S.; SOUZA, R. S. Utilização de métodos não destrutivos para caracterização simplificada da madeira de cumaru (*Dipteryx odorata* Willd). **Biodiversidade**, v. 15, n. 2, p. 136-149, 2016.

PFEIL, W. **Estruturas de madeira: dimensionamento segundo a NBR 7190/97 e critérios das normas americanas NDS e europeia EUROCODE 5**. 5.ed Martins Fontes: LTC, 2011. 221 p.

PLANETANATURAL. Disponível em: <http://www.planetanatural.com/detalhe.asp?cod_secao=14&idnot=438 - 35k>. Acesso em: 29 jun. 2016.

PU, Y. KOSA, M., KALLURI, U. C., TUSKAN, G. A., RAGAUSKAS, A. J. Challenges of the utilization of wood polymers: how can they be overcome? **Applied microbiology and biotechnology**, v. 91, n. 6, p. 1525-1536, 2011.

REVISTA DA MADEIRA. **Madeira preservada – os impactos ambientais**. São Paulo: n. 16, ano 100, nov. 2006.

ROSS, R. J. 2010. Wood handbook : **wood as an engineering material**. Centennial ed. General technical report FPL ; GTR-190. Madison, WI : U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010: 1 v.

ROULAND-LEFÈVRE, C. Termites as pests of agriculture. In: **Biology of termites: a modern Synthesis**. Springer Netherlands, 2010. p. 499-517.

SATHRE, R.; O'CONNOR, J. Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. **Environmental science & policy**, v. 13, n. 2, p. 104-114, 2010.

SCHMUTTERER, H. **The neem tree *Azadirachta indica* A. Juss. and other meliaceous plants**. Weinheim: VCH, 1995. 696 p.

SEN, S.; TASCIOGLU, C.; TIRAK, K. Fixation, leachability, and decay resistance of wood treated with some commercial extracts and wood preservative salts. **International Biodeterioration & Biodegradation**, London, v. 63, n. 2, p. 135 - 141, 2009.

SIDDIQUI B. S.; AFSHAN, F.; GULZAR, T.; SULTANA, R.; NAQVI, S. N. H.; TARIQ, R. M. Tetracyclic triterpenoids from the leaves of *Azadirachta indica* and their insecticidal activities. **Chemical and Pharmaceutical Bulletin**, Tokyo, v. 51, n.4, p. 415-417, 2003.

SOMERVILLE, C. YOUNGS, H.; TAYLOR, C.; DAVIS, S. C.; LONG, S. P. Feedstocks for lignocellulosic biofuels. **Science**, v. 329, n. 5993, p. 790-792, 2010.

STUMPP, E.; RECH, V.; SATTLER, M. A.; BARROS, N. M. D.; ABITANTE, A. L. R. Avaliação de sustentabilidade e eficácia de tratamentos preservantes naturais de madeiras de florestas plantadas no RS para o controle do cupim. **Ambiente Construído**, v. 6, n. 2, p. 21-31, abr. /jun. 2006.

SYOFUNA, A.; BANANA, A.Y.; NAKABONGE, G. Efficiency of natural wood extractives as wood preservatives against termite attack. **Maderas: Ciencia y Tecnología, Concepcion**, v. 14, n. 2, p. 155-163, 2012.

TAYLOR, A.M.; GARTNER, B.L.; MORREL, J.J. Heartwood formation and natural durability- A review. **Wood and Fiber Science**, v.34, p. 587-611, 2002.

TEWARI, D.N. **Monograph on Neem**. International book distributor, Dehradun, 1992.

TSOUMIS, G. T. **Wood**. Encyclopædia Britannica, Inc., 1 Jun. 2016. Disponível em: <<http://academic-eb-britannica.ez47.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/110435>> Acesso em: 18 agosto de 2016.

TURNER, S.; GALLOIS, P.; BROWN, D. Tracheary element differentiation. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, p. 407-433, 2007.

ZENID, J. G. **Madeira na construção civil**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2011.

3. CAPÍTULO III – TOXIDEZ DE EXTRATOS NATURAIS AOS PRINCIPAIS ORGANISMOS XILÓFAGOS

Resumo

O estudo do poder toxicológico de compostos químicos das plantas visa garantir a sustentabilidade do meio ambiente e a saúde humana, considerando o uso de sua bioatividade em detrimento dos tratamentos clássicos. O objetivo desta pesquisa foi analisar a toxidez de extratos naturais aos principais organismos xilófagos, por meio de análises fungitóxicas e avaliação da atividade anti-térmitas. Para isso, foram testadas quatro concentrações de extrato tânico: 25, 50, 75, 100 g.L⁻¹ (2,5, 5,0, 7,5, 10,0%,) e três de emulsão Neem: 10, 20, 30 g.L⁻¹ (1,0, 2,0, 3,0%). Os índices médios de crescimento micelial dos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* decresceram com a adição dos extratos naturais ao meio de cultura, indicando toxidez dos mesmos aos fungos. A atividade anti-térmitas foi comprovada com o monitoramento da mortalidade de térmitas de acordo com as diferentes concentrações de extratos e intervalos de tempo. A dose foi diretamente proporcional a porcentagem de insetos mortos, visto que para maiores taxas de mortalidade (LD₉₀ e LD₉₅), serão necessárias doses maiores do que as testadas neste experimento. Os dois extratos se mostraram tóxicos frente aos principais organismos xilófagos, sendo indicado estudos complementares para o ajuste das concentrações, surgindo desta forma um potencial preservante alternativo para o tratamento de madeiras.

Palavras chave: biopreservantes, fungos decompositores, cupins.

3.1 INTRODUÇÃO

O emprego de produtos químicos no controle de pragas agrícolas e florestais apresenta demanda cada vez maior, sendo que a concentração destas substâncias em alimentos e no ambiente como um todo causa efeitos negativos no desenvolvimento saudável dos organismos vivos (ANDERSSON et al., 2014). Apesar de ser um material durável, a madeira encontra na natureza alguns organismos que se alimentam dos seus principais constituintes, comprometendo desta maneira a qualidade de seus produtos, dentre os principais organismos decompositores estão os fungos e insetos, por serem mais comuns e causarem mais prejuízos.

Na tentativa de minimizar a utilização de produtos tóxicos, de modo que não comprometa a indústria madeireira, pesquisas tem se direcionado ao estudo de metabólitos secundários de plantas para o tratamento de madeiras, estes que podem resultar na descoberta de novos compostos eficazes (HUSSAIN et al., 2011).

Os extratos de plantas podem ser explorados para desenvolver novos conservantes, objetivando proteger estruturas de madeira, culturas agrícolas, plantas ornamentais e espécies arbóreas (ELANGO et al., 2012). Os autores apresentam como vantagem principal a menor toxicidade ao meio ambiente e aos seres humanos, porém, para a viabilização do emprego dos mesmos, são necessários estudos de campo de curto e longo prazo.

Atualmente já são comercializados alguns extratos de plantas, principalmente na área agrícola. No controle de pragas é muito comum a utilização extrato de neem, bem como o tanino vegetal é largamente empregado no curtimento do couro. Na área florestal, precisamente na área de preservação de madeiras, já existem relatos referentes a tais produtos. Destes se destacam pelo seu potencial os extratos de neem e do tanino (CHENG et al., 2007; SILVEIRA et al., 2017; HASSAN et al., 2017), surgindo a necessidade de testá-los com maior amplitude, pois são produtos de baixo impacto ambiental que já possuem viabilidade de produção.

O Neem (*Azadirachta indica*) é uma árvore que produz uma grande quantidade de compostos bioativos, estes indicados para variados usos antissépticos e antimicrobianos, e o óleo de Neem, por exemplo, é descrito como um produto eficaz na inibição de fungos e insetos (PAES et al., 2010). Em alguns produtos comercializados, a descrição produto destaca dois grupos de moléculas: os triterpenos e os limonóides, e atribuem a azadirachtina, meliantriol, salanina e a nimbina (nimbidina) o poder inibitório, sendo a primeira o principal princípio ativo.

Taninos são compostos fenólicos poliméricos do metabolismo secundário de plantas - projetado pela natureza para a defesa contra os microorganismos - e são subdivididos em taninos hidrolisáveis e taninos condensados. O uso tradicional de taninos é na conversão de peles de animais em couro, e devido sua capacidade de interagir e precipitar proteínas, isolam as fibras naturais contra fungos e bactérias que são as principais responsáveis pela deterioração da pele "in natura". (HAGERMAN, 2011).

Os fungos de podridão branca e parda atacam a madeira de formas diferentes, resultando em alterações distintas na parede celular De acordo com Floudas e Binder (2012), os fungos de podridão parda degradam principalmente os polissacarídeos de madeira, enquanto que os da podridão branca degradam todos os componentes da madeira a taxas

semelhantes. Já os cupins são vistos, dentre os insetos, como uma das pragas de maior importância econômica no que se refere à produtos de madeira. Apesar de existirem produtos eficazes no combate dos mesmos, os efeitos desses produtos são alarmantes em função da toxicidade (VERMA et al., 2009). Baseado na hipótese da eficácia dos produtos descritos no combate aos organismos xilófagos, o que tornaria os mesmos promissores no combate de organismos que desafiam a indústria madeireira, o objetivo deste capítulo é verificar a toxicidade do extrato tânico e da emulsão neem aos principais organismos xilófagos da madeira.

3.2 METODOLOGIA

O extrato natural de *Acacia mearnsii* foi fornecido pela a empresa SETA, situada no município de Estância Velha/RS. O tanino apresenta valor mínimo de tanantes de 73% e umidade máxima de 7%. A emulsão neem foi cedida pela Cooperativa Amigos do Nim (Figura 1).

Figura 1 - Extrato natural de Acácia Negra, comercializado em pó e transformado em solução (A). Emulsão Neem (B).



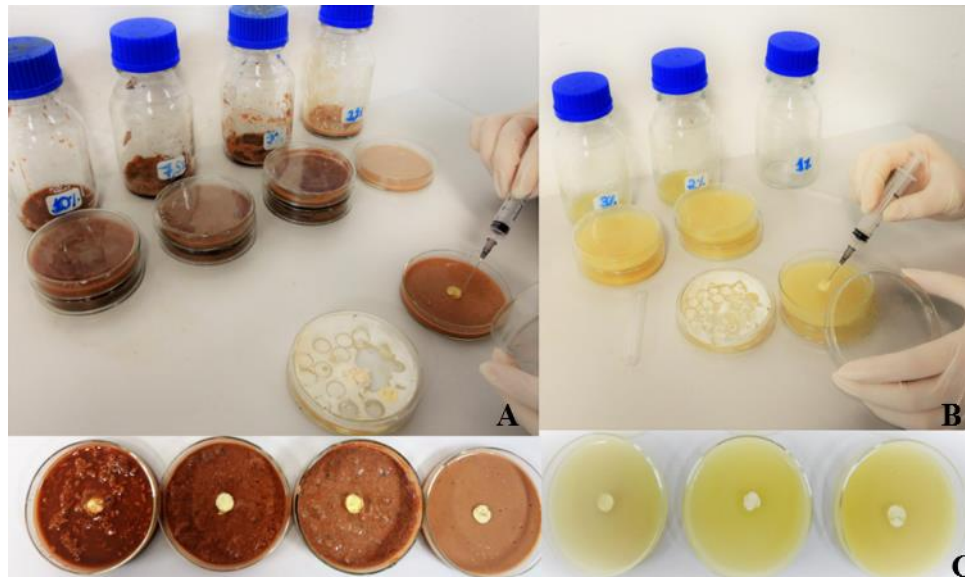
As colônias com fragmentos dos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* foram cedidas pelo Setor de Biodegradação e Preservação da Madeira - LPF/ IBAMA. O

meio de cultura utilizado foi batata-dextrose-ágar (BDA), por ser considerado universalmente indicado para o crescimento da maioria dos fungos (ALFENAS e MAFIA, 2007).

3.2.1 Condução do ensaio em meio de cultura

O experimento foi composto pelo tratamento testemunha, que serviu como referência, e por quatro concentrações de tanino: 25, 50, 75, 100 g.L⁻¹ (2,5, 5,0, 7,5, 10,0%) e três de Neem: 10, 20, 30 g.L⁻¹ (1,0, 2,0, 3,0%) que foram individualmente incorporadas ao meio de cultura, após sendo vertidos em placas de Petri. Prepararam-se oito placas por tratamento, sendo a inoculação realizada com auxílio de tubos de ensaio de 8 mm de diâmetro (confeção de discos da colônia) e agulha, esta que auxiliou na transferência do disco para o centro de cada placa, sendo realizada a vedação das placas evitando contaminação (Figura 2).

Figura 2 - Processo de repicagem e transferências dos discos da colônia (A e B). No detalhe, placas antes do crescimento do micelial (C).



Posteriormente, as placas foram mantidas em ambiente com temperatura e fotoperíodo controlado até que o tratamento 0% (testemunha) preenchesse a primeira placa. O ambiente mantinha-se climatizado a 25°C, 75±5% de UR e fotofase de 12 horas (VITTI, 1999).

As avaliações do experimento foram iniciadas 24 horas após a inoculação, por meio de medições diárias do crescimento micelial, sendo que cada medição correspondeu à média de duas medidas diametralmente opostas da colônia fúngica, mediante o uso de paquímetro. O índice de crescimento micelial (ICM) e a porcentagem de inibição foram calculados, respectivamente, pelas fórmulas apresentadas nas Equações 1 e 2.

$$ICM = C1/N1 + C2/N2 + C3/N3 + Cn/Nn \quad (1)$$

Onde:

C1, C2, Cn = crescimento micelial das colônias na primeira, segunda e última avaliação.

N1, N2, Nn = número de dias.

$$\%inibição = 100 - \left(\frac{TRATAMENTO (MM)}{CONTROLE (MM)} \right) * 100 \quad (2)$$

De acordo a Mori et al. (1995), a atividade antifúngica é classificada da seguinte maneira: própria atividade antifúngica, altamente tóxico é de 75-100%; própria atividade antifúngica, tóxico é de 50-75%; própria atividade antifúngica, moderadamente tóxico é de 25-50%; não tóxico em si atividade antifúngica é inferior a 25%; não tóxico se sua atividade é zero; promotor de crescimento, se o resultado for negativo.

3.2.2 Atividade anti-térmitas

Para o ensaio laboratorial com térmitas, foram preparadas as mesmas concentrações que foram avaliadas na atividade fungitóxica. Logo papéis filtro foram submersos nas soluções contendo as diferentes doses dos extratos e em água, esta última para o tratamento controle, e em seguida colocados em placas de petri juntamente com 25 térmitas ativas (22 operários e 3 soldados). As placas permaneceram em incubadora a 28 ± 2 ° C, 75 ± 5 . Foram quatro repetições por tratamento, e para cada placa foi calculada porcentagem de mortalidade dos cupins por 24 h e 48 h e calculada a dose letal para cada extrato.

3.2.3 Análise estatística

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), composto por 5 tratamentos (para o tanino) e 4 tratamentos (para o neem), ambos com 8 repetições. Posteriormente as médias dos tratamentos de cada produto foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, utilizando o software estatístico Genes. Os dados de mortalidade foram submetidos à análise probit implementada na linguagem de programação R (R CORE TEAM, 2018) para o cálculo de DL₅₀ (dose letal 50%), DL₉₀ (dose letal 90%) e DL₉₅ (dose letal 95%).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices médios de crescimento micelial dos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum* (Tabela 1) decresceram com a adição dos extratos naturais ao meio de cultura, indicando toxidez dos mesmos aos fungos. As análises revelaram as concentrações 7,5% para o extrato tânico e 3,0% para o Neem como mais promissoras. Os extratos também apresentaram diferentes porcentagens de inibição, sendo estas significativas (Figura 3).

Tabela 1 - Índice de crescimento micelial dos fungos TV (*Trametes versicolor*) e GT (*Gloeophyllum trabeum*).

Produto	Concentração (%)	ICM	
		T. versicolor	G. trabeum
Tanino	0	57,94 c	52,98 c
	2,5	43,60 bc	13,44 b
	5	30,40 b	3,39 a
	7,5	9,46 a	0 a
	10	12,97 a	0 a
Neem	0	57,94 d	52,98 d
	1	36,01 c	34,74 c
	2	26,53 b	16,33 b
	3	8,95 a	0 a

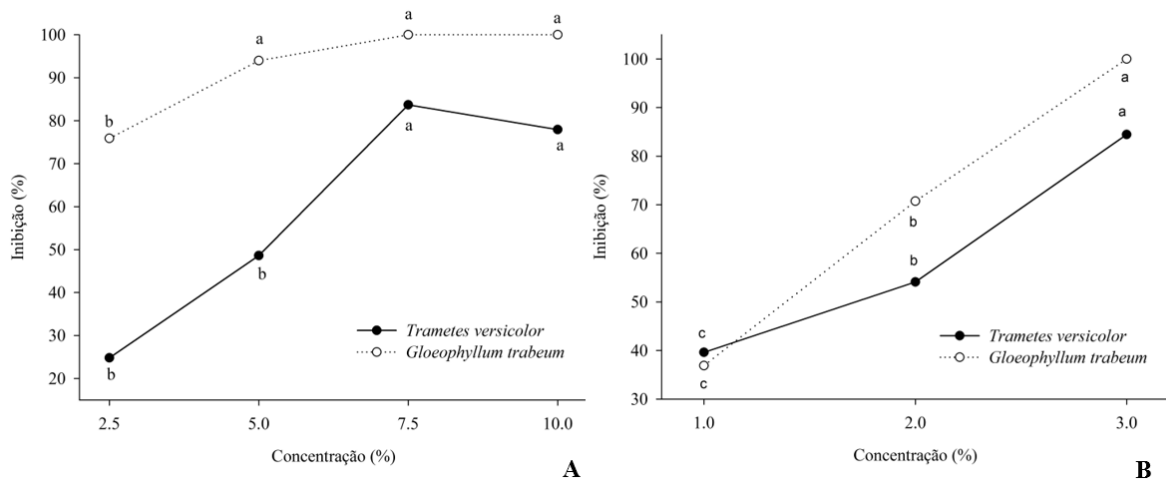
Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

A atividade antifúngica do tanino sobre o *T. versicolor*, adicionando: 25 g.L⁻¹= 24,8%, 50 g.L⁻¹= 48,6%; 75 g.L⁻¹= 83,7% e 100 g.L⁻¹= 77,93%. O *G. trabeum* apresentou menor

resistência a substância, apresentando completa inibição nas duas últimas doses e inibições de 75,89 e 93,98% para as duas primeiras, respectivamente.

A porcentagem de inibição da emulsão Neem foi de 39,63% (com adição de 10 g.L⁻¹), 54,11% (com adição de 20 g.L⁻¹) e 84,46% (com adição de 30 g.L⁻¹), valores referentes ao fungo *T. versicolor*, este que demonstrou maior resistência à substância. Em relação ao *G. trabeum*, utilizando as mesmas concentrações, o poder inibitório foi de 36,89 e 70,74%, respectivamente para as duas primeiras doses, sendo que na última a inibição foi total, de 100%.

Figura 3 - Atividade antifúngica Tanino (A) e Neem (B).



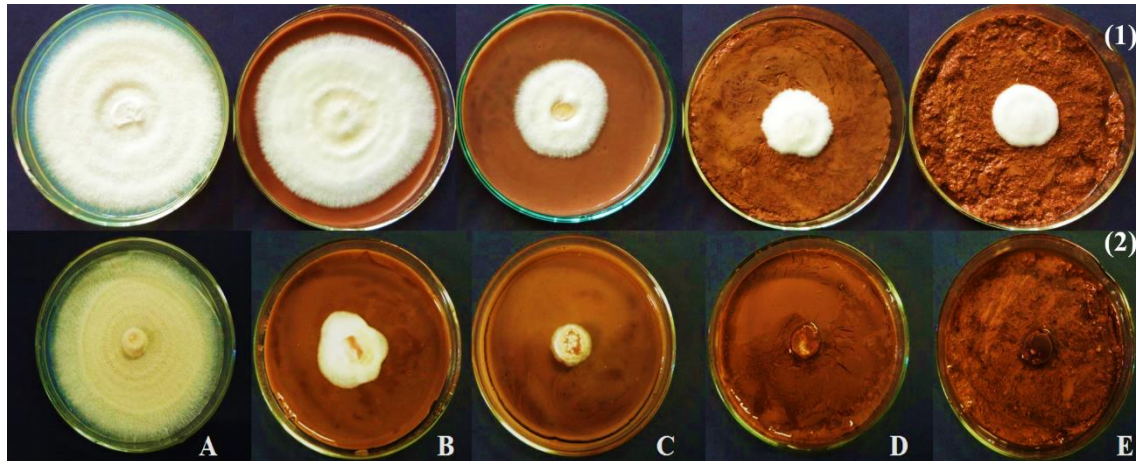
*Médias seguidas pela mesma letra em cada linha do eixo x não diferem entre si pelo teste Tukey à 5% de probabilidade.

De acordo com classificação Mori et al. (1995), a concentração 1% de Neem foi classificada como moderadamente tóxica, a 2% como tóxica e a 3% como altamente tóxica para os dois fungos avaliados. O tanino na dose 2,5% não apresentou própria atividade antifúngica, a 5,0% foi considerada moderada e as 7,5 e 10% como altamente tóxicas para *T. versicolor*, enquanto que para *G. trabeum* todas as doses classificaram-se como altamente tóxicas.

No comparativo visual das placas contendo tanino, a toxidez da substância pode ser claramente observada (Figura 4). Desde as concentrações mais baixas, o poder inibitório do produto já pode ser constatado. Isso pode ser explicado devido a presença de grupos hidrofílicos nos compostos fenólicos podem formar ligações de hidrogênio com enzimas do

metabolismo microbiano, desativando-as e inibindo a multiplicação da biomassa fúngica (JUGLAL et al., 2002).

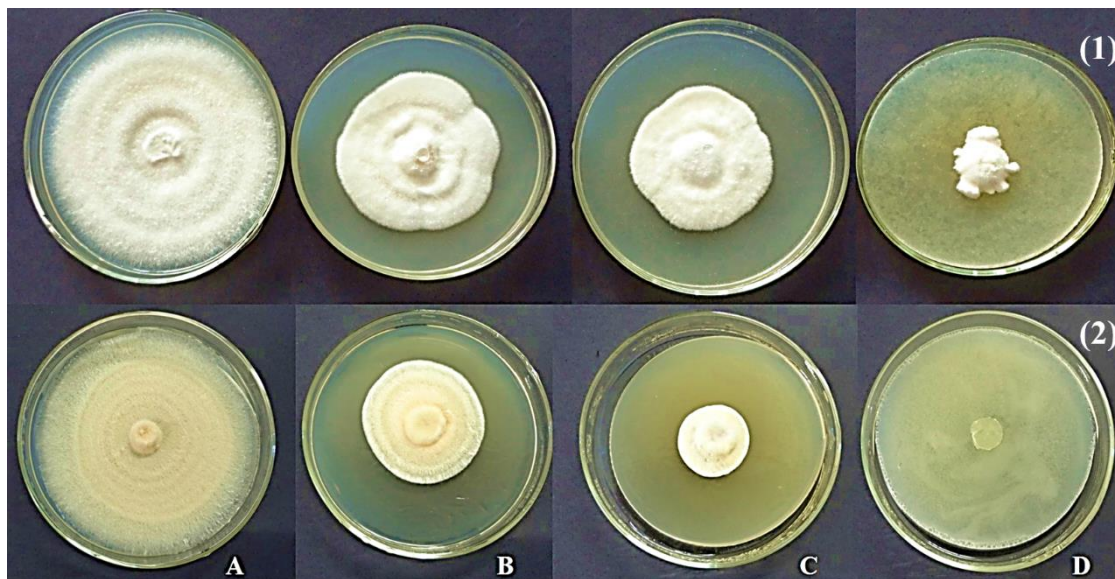
Figura 4 - Aspecto visual das placas contendo tanino nas concentrações: testemunha, 0% (A), 2,5% (B), 5,0% (C), 7,5% (D), 10% (E) com os fungos (1) *Trametes versicolor* e (2) *Gloeophyllum trabeum*.



O tanino está entre os principais extratos de madeira que conferem resistência natural aos agentes de biodeterioração. Nascimento et al. (2013) ressaltam que taninos condensados, extraídos dos materiais da casca com a água quente como solvente, além de apresentarem bons resultados como conservantes por longo período de tempo, apresentam baixo custo de produção. Os extratos de *Acacia mollissima*, *Schinopsis lorentzii* e *Pinus brutia* são descritos como fungicidas contra fungos apodrecedores da madeira. Entre os principais componentes destes extratos está o tanino, produto conhecido comercialmente, especialmente na indústria do couro, podendo ser obtido facilmente em grandes quantidades (TASCIOGLU et al., 2013).

Nas placas com adição de Neem (Figura 5), observou-se a mesma tendência daquelas com tanino, onde, havendo o aumento da dosagem, maior era o efeito inibitório. Visualmente, mesmo as concentrações de Neem sendo menores com relação às concentrações de tanino, esse extrato demonstrou maior toxidez.

Figura 5 - Aspecto visual das placas contendo emulsão Neem nas concentrações: testemunha, 0% (A), 1% (B), 2% (C) e 3% (D) com os fungos (1) *Trametes versicolor* e (2) *Gloeophyllum trabeum*.



Mengal et al. (2015), avaliando extratos naturais no controle do fungo *Fusarium* spp., concluiu que o Neem foi o mais eficaz na redução do crescimento micelial, utilizando as mesmas concentrações do presente trabalho. Bhutta et al. (2001) avaliaram o efeito do Neem no controle de fungos em sementes de girassol. Os autores verificaram que uma solução a 1% obtida a partir de sementes de Neem reduziu em quase 100% a porcentagem de incidência de *A. alternata* nas duas cultivares estudadas, além de controlar outros fungos como *Fusarium* spp.

Em um experimento, comparando a utilização de produtos alternativos e fungicidas no controle do míldio da videira, o Neem apresentou desempenho semelhante aos outros produtos tradicionais (ROSA et al., 2008). No controle de fungos nas sementes de Angico, também revelou bons resultados, principalmente no controle do *Penicillium* sp, utilizando 50% do extrato (SILVA et al., 2011). Apesar da maioria dos trabalhos avaliando o efeito fungitóxico do Neem serem na área agrícola, são importantes por demonstrarem o potencial da substância, corroborando com os resultados encontrados na presente pesquisa.

A atividade anti-térmitas foi comprovada com o monitoramento da mortalidade de térmitas de acordo com as diferentes concentrações de extratos e intervalos de tempo (Tabela 2), tais variáveis apresentaram-se diretamente proporcionais a porcentagem de insetos mortos. De maneira geral, os melhores resultados foram encontrados para as concentrações 10%

tanino, mesmo não diferindo estatisticamente em ambos os períodos da concentração de 7,5%. De forma semelhante, a maior mortalidade utilizando o extrato de neem foi a concentração de 3% neem, mesmo que não diferindo estatisticamente da concentração 2% em todos os períodos.

Tabela 2 - Mortalidade de térmitas.

	Concentração (%)	Mortalidade (%)		
		24 horas	48 horas	72 horas
Tanino	0	6 c	14 d	16 c
	2,5	22 bc	38 c	52 b
	5	42 ab	50 cb	68 ab
	7,5	48 a	62 ab	78 a
	10	62 a	74 a	84 a
Neem	0	6 c	14 c	16 b
	1	50 b	58 b	68 a
	2	56 ab	68 ab	76 a
	3	68 a	74 a	84 a

Tascioglu et al. (2012) verificaram as propriedades termicidas de alguns extratos das espécies *Schinopsis lorentzii* (quebracho) e *Acacia molissima* (mimosa), ambas reconhecidas pela extração de taninos. Neste estudo, ao verificar a mortalidade de cupins expostos a amostras tratadas com extratos das espécies em concentração de 12%, o percentual de indivíduos mortos foi superior a 90%, sendo os extratos indicados pelos autores como conservantes naturais para a madeira. Corroborando, Melo et al. (2010) associa a utilização do adesivo tanino-formaldeído a maior resistência de painéis aglomerados ao ataque de cupins subterrâneos.

Avaliando o potencial biopesticida de extratos de bolos de sementes de *Azadirachta indica* contra cupins, com concentrações de 10% em extrato aquoso, Sharma et al. (2013) apresentaram o porcentual de mortalidade de quase 60% em 24 h, e nas 48 horas o valor passou a ser de 83%, resultados semelhantes com o presente trabalho, porém utilizando a concentração de 3%. Os autores concluíram que os componentes ativos presentes em sementes poderiam ser mais purificados e caracterizados para desenvolver formulações mais eficientes no controle de cupins.

Tahiri et al. (2011) estudou o efeito pesticida do extrato de *Azadirachta indica* em cupins *Macrotermes bellicosus*, onde a mortalidade total dos insetos foi obtida entre 48 e 96

horas após o tratamento com diferentes extratos de folhas e sementes, utilizando baixas concentrações.

A determinação da dose letal (LD₅₀, LD₉₀ e LD₉₅), apresentada na Tabela 3, indica a concentração de extrato estimada para matar determinada porcentagem da população. Tanto o extrato tânico quanto a emulsão Neem apresentaram no tempo de 72 horas as menores concentrações necessárias para a maior mortalidade, indicando que quanto maior o tempo de exposição dos insetos ao extrato, menor será a dose necessária para mortalidade dos mesmos. Visando maiores taxas de mortalidade (LD₉₀ e LD₉₅), percebe-se que são necessárias doses maiores do que as testadas neste experimento. Na LD₉₀ de ambos os produtos percebe-se que no período de 72 horas as doses estimadas foram próximas das doses máximas testadas.

Tabela 3 - Dose letal (LD) estimada para extrato tânico e emulsão Neem.

Extrato	Período	LD ₅₀ (%)	LD ₉₀ (%)	LD ₉₅ (%)
Tanino	24 horas	7,08	44,45	83,03
	48 horas	4,35	34,94	70,96
	72 horas	2,39	17,14	33,50
Neem	24 horas	1,08	33,55	107,71
	48 horas	0,61	17,81	55,96
	72 horas	0,39	6,72	17,65

*Doses letais calculadas com um intervalo de confiança de 95%.

Chama atenção o fato da LD₉₅ para o período de 24h do Neem estimar uma dose de 107,7%, indicando a necessidade de refino do produto para atingir a mortalidade desejada nesse período, visto que uma LD₉₅ indicaria o uso do produto puro sem qualquer diluição. Essa grande dose estimada pode indicar a resistência de alguns indivíduos ao produto.

A dose letal 50 % do extrato aquoso de sementes de Neem, conforme Tahiri et al. (2011), foi de 0,42 mg/L, valor abaixo dos encontrados neste estudo, onde a menor concentração testada foi de 0,39 g/L. Segundo afirmação dos autores, os constituintes do Neem ajudam a explicar a potencial ação inseticida do extrato aquoso de sementes de neem, que contém compostos fenólicos e saponinas. Devido o fato do produto avaliado ser comercializado em forma de emulsão pode justificar a menor toxicidade do mesmo em

relação aos números encontrados por Tahiri et al. (2011). Sendo que dentro dos compostos fenólicos citados anteriormente está o tanino, este que é considerado um agente de controle de cupins por Yamaguchi et al. (2002).

3.4 CONCLUSÕES

O extrato tânico e a emulsão Neem apresentam toxidez aos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*, assim como aos térmitas, indicando potencial na preservação de madeiras.

As concentrações 10% tanino e 3% Neem foram as que causaram a maior porcentagem de mortalidade de térmitas.

Para a mortalidade de 90 e 95% de térmitas seria necessária a formulação de doses maiores que as testadas neste estudo.

3.5 REFERÊNCIAS

- ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. **Métodos em fitopatologia**. Ed. UFV - Viçosa. 382 p. 2007.
- ANDERSSON, H.; TAGO, D.; TREICH, N. Pesticides and health: A review of evidence on health effects, valuation of risks, and benefit-cost analysis. **Preference Measurement in Health**, p. 1-61, 2014.
- BHUTTA, A.R.; BHATTI, M.H.R.; IFTIKHAR, A. Effect of seed diffusates on fungal population and germination of sunflower seeds. **Hélia**, Novi Sad, v. 24 n. 34, p. 77-81, 2001.
- CHENG, S. S.; CHANG, H. T.; WU, C. L.; CHANG, S. T. Anti-termitic activities of essential oils from coniferous trees against *Coptotermes formosanus*. **Bioresource technology**, v. 98, n. 2, p. 456-459, 2007.
- ELANGO, G. et al. Efficacy of medicinal plant extracts against Formosan subterranean termite, *Coptotermes formosanus*. **Industrial Crops and Products**, v. 36, v.1, p. 524-530, 2012.
- FLOUDAS, D.; BINDER M. The paleozoic origin of enzymatic lignin decomposition reconstructed from 31 fungal genomes. **Science**, v. 336, p. 1715-1719, 2012.
- HAGERMAN, A.E. **The Tannin Handbook**. Miami University, Oxford, OH, 2011. Disponível em: <<http://chemistry.muohio.edu/hagerman>> Acesso em: 10 janeiro de 2017.

HASSAN, B.; MANKOWSKI, M. E.; KIRKER, G.; AHMED, S. Effects of heartwood extractives on symbiotic protozoan communities and mortality in two termite species. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 123, p. 27-36, 2017.

HUSSAIN, A. I.; ANWAR, F.; NIGAM, P. S.; SARKER, S. D.; MOORE, J. E.; RAO, J. R.; MAZUMDAR, A. Antibacterial activity of some Lamiaceae essential oils using resazurin as an indicator of cell growth. **LWT-Food Science and Technology**, v. 44, n. 4, p. 1199-1206, 2011.

JUGLAL, S.; GOVINDEN, R.; ODHAV, B. Spice oils for the control of co-occurring mycotoxin-producing fungi. **Journal of Food Protection**, v. 65, n. 4, p. 683-687, 2002.

MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GARLET, A.; BENIGNO PAES, J.; & STANGERLIN, D. M. Resistência de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz a fungos e cupins xilófagos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 501 - 511, 2010.

MENGAL, A.S. et al. Evaluation of different botanical extracts on the linear colony growth of the fungus *Fussarium* wilt of mango nursery and its in-vitro control. **Evaluation**, v. 3, n.11, p. 7-14, 2015.

MORI, M.; AOYAMA, M.; DOI, S.; KANETOSHI, A.; HAYASHI, T. Antifungal activity of bark extracts of conifers. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 53, n. 2, p. 81-82, 1995.

NASCIMENTO, M. S.; SANTANA, A. L. B. D.; MARANHÃO, C.A.; OLIVEIRA, L.S; BIEBER, L. 2013. **Phenolic extractives and natural resistance of wood**. In: R. Chamy and F. Rosenkranz, eds. Disponível em: <<http://www.intechopen.com/books/biodegradation-life-of-science>>. Acesso em:29 janeiro 2018.

PAES, J. B.; SOUZA, A. D. D.; LIMA, C. R. D.; NETO, P. N. D. M. Eficiência dos óleos de nim e mamona contra cupins xilófagos em ensaio de alimentação forçada. **Cerne**, v. 16, n. 1, p. 105-113, 2010.

ROSA, R. C. T.; CAVALCANTI, V. A. L. B.; COELHO, R. S. B.; PAIVA, J. D. E. Efeito de produtos alternativos e de fungicidas no controle do míldio da videira. **Summa phytopatológica**, v. 34, n. 3, p. 256-258, 2008.

SHARMA, S.; VERMA, M.; SHARMA, A. Utilization of non edible oil seed cakes as substrate for growth of *Paecilomyces lilacinus* and as biopesticide against termites. **Waste and Biomass Valorization**, v. 4, n. 2, p. 325-330, 2013.

SILVA, G. H.; HENRIQUES, Í.; SOUZA, P.; CAMPELO, G. Influência do extrato de nim em fungos incidentes sobre sementes de angico no município de Patos, Paraíba. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 8, n. 3, 2011.

SILVEIRA, A. G., SANTINI, E. J., KULCZYNSKI, S. M., TREVISAN, R., WASTOWSKI, A. D., GATTO, D. A. Tannic extract potential as natural wood preservative of *Acacia mearnsii*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 4, p. 3031-3038, 2017.

TAHIRI, A.; ADIMA, A. A.; ADJE, A. F.; AMUSANT, N. Effet pesticide et screening des extraits de *Azadirachta indica* (A.) Juss. sur le termite *Macrotermes bellicosus* Rambur. **Bois & Forets des Tropiques**, v. 310, n. 4, p. 79-88, 2011.

TASCIOGLU, C.; YALCIN, M.; SEN, S.; AKCAY, C. Antifungal properties of some plant extracts used as wood preservatives. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 23-28, 2013.

TASCIOGLU, C.; YALCIN, M.; TROYA, T.; SIVRIKAYA, H. Termiticidal properties of some wood and bark extracts used as wood preservatives. **BioResources**, v. 7, n. 3, p. 2960-2969, 2012.

VERMA, M.; SHARMA, S.; PRASAD, R. Biological alternatives for termite control: a review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 63, n. 8, p. 959-972, 2009.

VITTI, A. M. S. **Avaliação do crescimento e do rendimento e qualidade do óleo essencial de procedências de *Eucalyptus citriodora***. 1999. 83p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Piracicaba, SP.

YAMAGUCHI, H.; YOSHINO, K.; KIDO, A. Termite resistance and wood-penetrability of chemically modified tannin and tannin-copper complexes as wood preservatives. **Journal of wood science**, v. 48, n. 4, p. 331-337, 2002.

4. CAPÍTULO IV – ANÁLISE EM LABORATÓRIO DO DESEMPENHO PRESERVANTE DE EXTRATOS NATURAIS EM MADEIRAS DE RÁPIDO CRESCIMENTO

Resumo

A utilização de produtos químicos com o intuito de aumentar a vida útil da madeira pode representar danos ao ambiente e os demais organismos presentes nele. O estudo de extratos naturais na preservação de madeiras se mostra uma alternativa sustentável para o setor. O capítulo apresenta como principal objetivo realizar uma análise em laboratório do desempenho preservante de extratos naturais em madeiras de rápido crescimento. As espécies *Eucalyptus grandis* e *Pinus taeda* foram transformadas em amostras e tratadas de acordo com a seguinte disposição: T1 (Emulsão Neem 3%), T2 (tanino em concentração de 10%) e T3 (mistura CCB a 2,5%), o método empregado foi o com pressão em autoclave. Posteriormente os experimentos foram montados seguindo as normas ASTM D-2017 (apodrecimento acelerado) e ASTM D-3345 (ensaio de preferência alimentar), sendo o primeiro para avaliação da resistência a fungos apodrecedores e o segundo de térmitas. Após o período de exposição as amostras, foram avaliadas de acordo com a perda de massa, molhabilidade, dureza, microscopia, degradação térmica, alterações nos padrões químicos e desgaste por cupins. Os resultados apontaram o tanino como um preservante promissor e a emulsão neem, mesmo apresentando alguns resultados positivos, na maioria das análises não apresentou eficiência ou ocasionou efeito negativo nas amostras tratadas.

4.1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material amplamente empregado nos mais variados segmentos, produzido de forma natural, renovável e possui propriedades únicas que facilitam a sua utilização em diversos ambientes (LAREDO et al., 2015). Entretanto, a crescente demanda dessa matéria-prima resultou na utilização, cada vez mais frequente, de espécies de rápido crescimento que, quando expostas a ambientes que favoreçam o desenvolvimento e o ataque de organismos xilófagos, podem apresentar vida útil limitada (ASHADUZZAMAN et al., 2011; GERENGI et al., 2014).

A utilização da madeira em ambientes externos como arquitetura rural, carpintarias navais, estruturas, decks e móveis de jardim, torna a resistência como uma das características mais importantes do material. Ao mesmo tempo, o emprego de produtos químicos para aumentar a vida útil da madeira pode representar danos ao ambiente e os demais organismos presentes nele.

Como já observado, existem algumas alternativas sustentáveis sendo avaliadas, entre elas, a extrato tânico e a emulsão Neem, focos do presente estudo. Nos capítulos anteriores já foram apresentadas várias vantagens na utilização de extrativos da madeira como preservativos naturais. Estes produtos são mais seguros quando comparados aos conservantes sintéticos devido à redução dos riscos no manuseio por operadores envolvidos no processo de tratamento madeireiro e eliminação de resíduos tóxicos, diminuindo o impacto ambiental (TASCIOGLU et al., 2013).

A eficiência de produtos conservantes pode ser determinada em ensaios de apodrecimento acelerado, realizados em laboratório (SILVEIRA et al., 2017). Esses testes são indicados devido à grande variação no clima entre os países, ou em países tropicais, onde as condições particulares de intempéries acabam exercendo forte influência nos resultados da durabilidade. Sendo assim, as técnicas laboratoriais para realização de testes como este seguem normas que impedem tamanhas variações, gerando dados e informações tecnológicas possíveis de serem comparadas em qualquer lugar do mundo.

Frequentemente, a resistência da madeira à organismos é caracterizada apenas pela perda de massa, sendo que em determinadas situações somente esse parâmetro não abrange as alterações em outras propriedades da madeira, tornando a avaliação de forma isolada pouco útil. Neste sentido, entende-se a necessidade de um estudo mais completo no que se refere as propriedades químicas, físicas e mecânicas da madeira, propiciando uma melhor caracterização do material e uma resposta mais fidedigna do produto testado (STANGERLIN et al., 2013).

O presente capítulo busca respostas quanto ao efeito preservativo dos extratos quando impregnados na madeira e submetidos à exposição aos principais organismos decompositores, em um ambiente controlado, ideal para o desenvolvimento dos mesmos. Desta forma, o principal objetivo deste estudo é realizar uma análise em laboratório do desempenho preservante de extratos naturais em madeiras de rápido crescimento.

4.2 METODOLOGIA

As madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Pinus taeda* L. foram obtidas de plantios pertencentes ao Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária - DDPA (extinta Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – FEPAGRO FLORESTAS), localizada em Boca do Monte, Santa Maria – RS, e a seleção das árvores baseou-se na norma Americana de Testes e Materiais - D5536-94 (2010).

O extrato natural de *Acacia mearnsii* foi fornecido pela a empresa SETA e a emulsão Neem foi cedida pela Cooperativa Amigos do Nim. As colônias com fragmentos dos fungos *Trametes versicolor* (podridão branca) e *Gloeophyllum trabeum* (podridão parda) foram enviadas pelo Setor de Biodegradação e Preservação da Madeira - LPF/ IBAMA.

Foram confeccionados 120 corpos de prova de cada espécie com dimensões de 2,5 x 2,5 x 0,9 cm (ensaio de apodrecimento acelerado) e de 2,0 x 0,7 x 10,1 cm (ensaio de preferência alimentar). Do total citado, foram separadas 70 amostras (por espécie) para cada ensaio, sendo 20 para os tratamentos naturais (10 tratados com a emulsão Neem e 10 com Tanino), 10 para o tratamento com a mistura Borato de Cobre Cromatado (CCB), 10 para a posterior avaliação da resistência natural da madeira (sem nenhum tratamento) e 30 selecionadas como controle, amostras não expostas ao fungo (testemunha superior). O restante foi acondicionado para eventual necessidade de reposição.

Assim, após serem lixados, selecionados e climatizados, os corpos de prova de cada espécie foram destinados aos tratamentos: T1 (Emulsão Neem 3%), T2 (tanino em concentração de 10%) e T3 (mistura CCB a 2,5%). Para a impregnação dos preservativos utilizou-se o método de pressão de célula cheia em autoclave, efetuando-se o vácuo inicial de 15 minutos e, posteriormente, um período de pressão com o tratamento durante 60 minutos. No T0 (Testemunha inferior) e nas amostras controle não houve a realização de tratamento preservativo, uma vez que a resistência natural da madeira e as propriedades do material não exposto ao apodrecimento, respectivamente, foram avaliados.

Após o tratamento, as amostras foram secas e, parte submetidas ao ensaio de apodrecimento acelerado (ASTM D-2017) para avaliação da resistência dos tratamentos aos fungos apodrecedores, outra parte destinada a montagem do ensaio de preferência alimentar (ASTM D-3345) para avaliar o ataque de cupins subterrâneos. Terminado o período de exposição, as amostras foram encaminhadas para as seguintes avaliações.

4.2.1 Perda de massa por fungos

Para avaliação da resistência (natural e tratada) das espécies ao ataque dos fungos, foi comparada a perda de massa sofrida pela madeira com os valores apresentados pela ASTM D-2017 (1994), conforme apresentado na Tabela 1. A perda de massa das amostras foi determinada pela diferença entre a massa seca inicial e a final (Equação 1).

$$PM = \frac{M_{si} - M_{sf}}{M_{si}} \times 100 \quad (1)$$

Em que: PM = perda de massa (%), MSi = massa seca inicial (g), MSf = massa seca final (g).

Tabela 1 - Classificação da perda de massa conforme a ASTM D-2017 (1994).

Classes de resistência	Perda de massa (%)	Massa residual (%)
Muito Resistente	0 – 10	90 – 100
Resistente	11 – 24	76 – 89
Resistência Moderada	25 – 44	56 – 75
Não-Resistente	≥ 45	≤ 55

4.2.2 Molhabilidade

A caracterização da molhabilidade foi realizada por meio da técnica gota séssil ao empregar o goniômetro. A medição do ângulo de contato foi realizada pelo método estático, onde uma gota de água desionizada, com volume de aproximadamente 10 µL, foi depositada na superfície da madeira, sendo posteriormente tomada a média do ângulo de contato (Θ).

4.2.3 Dureza

No ensaio de dureza Rockwell, o penetrador esférico de 1/4 de polegada, emprega a carga em duas etapas distintas: na primeira uma pré-carga de 10 kgf e na segunda aplica-se a carga final de teste de 60 kgf. Foram realizados, em pontos distintos na seção transversal, três leituras da dureza Rockwell para cada corpo de prova. O resultado da resistência oferecida pelo corpo de prova à penetração da esfera foi obtido diretamente no mostrador analógico do

durômetro.

4.2.4 Microscopia eletrônica de varredura

As amostras de madeira de cada tratamento foram submetidas à análise pela microscopia eletrônica de varredura (MEV). O princípio de funcionamento desse equipamento se dá por meio do bombardeamento da amostra com feixe de elétrons que fará uma varredura na superfície do mesmo, causando emissão de radiação pela amostra. Essa radiação será captada pelo computador que irá traduzir e apresentar a imagem na tela do monitor, que poderá ser salva e posteriormente analisada. A técnica possui capacidade de ampliar uma amostra até 20.000 vezes o seu tamanho original e, por isso, é utilizada em investigações nas quais seria difícil obter boas imagens com o microscópio convencional.

4.2.5 Análise Termogravimétrica - TGA

Os ensaios de perda de massa em função da degradação térmica dos polímeros foram realizados por meio de análise termogravimétrica, utilizando o equipamento TGA-50, Shimadzu. Amostra contendo 10 ± 1 mg foi inserida em um cadinho de platina e degradada em atmosfera inerte de nitrogênio a uma vazão de 100 mL/min. O aquecimento se deu a partir da temperatura ambiente até ser atingida a temperatura de 500 °C, a uma taxa de aquecimento de 10 °C/min. A perda de massa percentual foi plotada em função da temperatura. Os resultados foram registrados no software TA-60WS Collection Monitor (Shimadzu), analisados no software TA60 (Shimadzu) e graficamente representados pelo software Sigma Plot 12.5.

4.2.6 Análise das alterações dos padrões químicos

A determinação das alterações químicas das amostras foi realizada por meio de ensaios de espectroscopia na região do infravermelho (FTIR). Os espectros de absorção no infravermelho foram obtidos mediante utilização do espectrofotômetro IR Prestige 21, Shimadzu. De cada amostra, foram realizadas 45 varreduras, com resolução de 4 cm^{-1} e faixa de leitura entre 400 e 4500 cm^{-1} , onde a média dessas varreduras correspondeu a um espectro.

Para a interpretação dos mesmos utilizou-se como referência os picos característicos da madeira descritos na literatura.

4.2.7 Desgaste por cupins

A resistência à cupins foi avaliada em função da perda de massa e do desgaste provocado pelos cupins aos corpos-de-prova (Tabela 2). A perda de massa foi corrigida por meio de amostras submetidas às mesmas condições de ensaio, porém sem a presença de cupins.

Tabela 2 - Avaliação do desgaste da madeira (ASTM D – 3345, 1994).

Desgaste	Notas
Sadio, escarificações superficiais	10
Ataque superficial	9
Ataque moderado, havendo penetrações	7
Ataque intensivo	4
Falha, havendo ruptura dos corpos-de-prova	0

4.2.8 Análise estatística

Após o levantamento de todos os dados, os tratamentos foram comparados por contrastes ortogonais por meio do *software* estatístico Genes e tiveram determinada a eficiência dos extratos no tratamento de madeiras em ambiente controlado.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Desgaste por fungos

4.3.1.1 Perda de Massa

A análise da variância e a posterior utilização de contrastes ortogonais evidenciaram que existem diferenças na perda de massa da madeira das testemunhas inferior (resistência natural) e superior (tratamento com mistura CCB), quando comparadas com os tratamentos utilizando os extratos naturais, como apresentado pelas Tabelas 3 e 4. O *Eucalyptus grandis* apresentou resistência aos fungos avaliados. Quando as amostras foram tratadas a perda de massa diminuiu e praticamente todos os tratamentos permaneceram na mesma classe de resistência, com exceção da Testemunha Superior, exposta ao *Trametes versicolor*, que perdeu menos de 10% de massa, sendo classificada como muito resistente.

Tabela 3 - Contrastes das médias da perda de massa para espécie *Eucalyptus grandis*.

Contrastes	Média x Média	Incremento
<i>Gloeophyllum trabeum</i>		
Testemunha Inferior x T1*	17.25 x 12.78	4,47
Testemunha Inferior x T2*	17.25 x 10.71	6,54
T. Inferior x T. Superior*	17.25 x 12.55	4,7
Testemunha Superior x T1	12.55 x 12.78	-0,23
Testemunha Superior x T2	12.55 x 10.71	1,84
<i>Trametes versicolor</i>		
Testemunha Inferior x T1*	20.38 x 12.72	7,66
Testemunha Inferior x T2*	20.38 x 10.98	9,4
T. Inferior x T. Superior*	20.38 x 9.33	11,05
Testemunha Superior x T1	9.33 x 12.72	-3,39
Testemunha Superior x T2	9.33 x 10.98	-1,65

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- tanino; Testemunha superior- CCB.

Os contrastes evidenciaram que em ambos os fungos a testemunha inferior diferiu dos tratamentos com Neem e tanino, enquanto que quando os tratamentos foram contrastados com a Testemunha Superior, não houve diferença. Observando os incrementos é possível notar que os tratamentos naturais se aproximaram mais da Testemunha Superior do que da Testemunha Inferior, indicando similaridade da perda de massa dos resultados dos produtos naturais com o produto químico comercial.

O *Pinus taeda* demonstrou menor resistência aos fungos deterioradores testados, sendo a Testemunha inferior classificado como moderadamente resistente (Tabela 4), apresentando uma perda de massa para o fungo *Trametes versicolor* superior ao *Gloeophyllum trabeum*. Os tratamentos testados alteraram a classificação da resistência da madeira, sendo que os produtos naturais a tornaram resistente e o produto químico tornou muito resistente aos fungos deterioradores.

Tabela 4 - Contrastes das médias da perda de massa para espécie *Pinus taeda*.

Contrastes	Média x Média	Incremento
<i>Gloeophyllum trabeum</i>		
Testemunha Inferior x T1*	25.90 x 12.60	13,3
Testemunha Inferior x T2*	25.90 x 10.50	15,4
T. Inferior x T. Superior*	25.90 x 9.79	16,11
Testemunha Superior x T1	9.79 x 12.60	-2,81
Testemunha Superior x T2	9.79 x 10.50	-0,71
<i>Trametes versicolor</i>		
Testemunha Inferior x T1*	35.98 x 12.90	23,08
Testemunha Inferior x T2*	35.98 x 13.06	22,92
T. Inferior x T. Superior*	35.98 x 12.57	23,41
Testemunha Superior x T1	12.57 x 12.90	-0,33
Testemunha Superior x T2	12.57 x 13.06	-0,49

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- tanino; Testemunha superior- CCB.

A análise estatística do *Pinus*, assim como para espécie *Eucalipto*, demonstrou superioridade dos tratamentos naturais quando comparados a Testemunha Inferior e similaridade com a mistura química comercial (Testemunha Superior).

O extrato tânico já foi descrito por Silveira et al (2017) como um potencial preservante natural para madeira. No estudo, a espécie *Acacia mearnsii* foi exposta ao fungo *Pycnoporus sanguineus*, e apresentou moderada resistência ao mesmo. Após impregnar as amostras com o tanino, a perda de massa diminuiu significativamente, sendo as amostras classificadas como muito resistentes ao fungo xilófago.

Ao avaliar a eficiência do óleo Neem no tratamento de amostras de *Pinus caribaea*, Teixeira et al. (2015) também verificaram a eficiência do mesmo na proteção da madeira à ação de fungos xilófagos de podridão branca e parda em condições de laboratório. Os autores avaliaram concentrações de 5 e 50% de óleo Neem, enquanto a madeira sem tratamento

apresentou perda de massa em torno de 40%, e após o tratamento natural a perda de massa ficou em torno de 15% para ambas as concentrações.

4.3.1.2 Molhabilidade

Os resultados referentes a molhabilidade (Tabela 5) indicam diminuição do ângulo de contato após a exposição aos fungos. O tratamento que demonstrou maior eficiência para preservar a característica natural da madeira para ambas as espécies foi a mistura química CCB (T3), que não apresentou diferença estatística com a Testemunha Superior. Para a espécie *Eucalyptus grandis* os tratamentos apresentaram comportamentos semelhantes nos dois fungos deterioradores.

Tabela 5 - Contrastes das médias do ângulo de contato para espécie *Eucalyptus grandis*.

Contrastes	Média x Média	Incremento
<i>Gloeophyllum trabeum</i>		
Testemunha Inferior x T1 *	77.17 x 55.40	21.77
Testemunha Inferior x T2	77.17 x 86.53	-9.36
Testemunha Inferior x T3 *	77.17 x 108.52	-31.35
T. Inferior x T. Superior *	77.17 x 112.86	-35.69
Testemunha Superior x T1 *	112.86 x 55.40	57.46
Testemunha Superior x T2 *	112.86 x 86.53	26.33
Testemunha Superior x T3	112.86 x 108.52	4.34
<i>Trametes versicolor</i>		
Testemunha Inferior x T1 *	76.74 x 49.00	27.74
Testemunha Inferior x T2	76.74 x 88.58	-11.84
Testemunha Inferior x T3 *	76.74 x 110.01	-33.27
T. Inferior x T. Superior *	76.74 x 112.86	-36.12
Testemunha Superior x T1 *	112.86 x 49.00	63.86
Testemunha Superior x T2 *	112.86 x 88.58	24.28
Testemunha Superior x T3	112.86 x 110.01	2.85

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; Testemunha superior- amostras não deterioradas.

O tratamento T1 apresentou ângulo menor que a Testemunha Inferior, indicando influência do extrato Neem na molhabilidade da espécie *Eucalyptus*. Já o tratamento T2 apresentou ângulo de contato maior que a Testemunha Inferior, embora não havendo diferença estatística.

Na espécie *Pinus* atacada pelo fungo *Gloeophyllum trabeum* (Tabela 6), a emulsão Neem apresentou ângulo de contato médio maior que a Testemunha Inferior, além de não diferir da Testemunha Superior. Já para o fungo *Trametes versicolor* os produtos naturais não diferiram da Testemunha Inferior.

Tabela 6 - Contrastes das médias do ângulo de contato para a espécie *Pinus taeda*.

Contrastes	Média x média	Incremento
<i>Gloeophyllum trabeum</i>		
Testemunha Inferior x T1 *	71.87 x 99.93	-28.06
Testemunha Inferior x T2	71.87 x 72.52	-0.65
Testemunha Inferior x T3 *	71.87 x 108.36	-36.49
T. Inferior x T. Superior *	71.87 x 109.63	-37.76
Testemunha Superior x T1	109.63 x 99.93	9.7
Testemunha Superior x T2 *	109.63 x 72.52	37.11
Testemunha Superior x T3	109.63 x 108.36	1.27
<i>Trametes versicolor</i>		
Testemunha Inferior x T1	57.34 x 71.42	-14.08
Testemunha Inferior x T2	57.34 x 80.29	-22.95
Testemunha Inferior x T3 *	57.34 x 100.54	-43.2
T. Inferior x T. Superior *	57.34 x 109.63	-52.29
Testemunha Superior x T1 *	109.63 x 71.42	38.21
Testemunha Superior x T2 *	109.63 x 80.29	29.34
Testemunha Superior x T3	109.63 x 100.54	9.09

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; Testemunha superior- amostras não deterioradas.

De forma semelhante a espécie fúngica anteriormente apresentada, o tratamento que demonstrou maior eficiência em preservar a característica natural da madeira foi a mistura química CCB (T3), mostrando-se semelhante a Testemunha Superior. Maiores valores de ângulos de contato indicam superfícies mais hidrofóbicas, e de acordo com Soares et al. (2011), a perda de massa gera grande alteração na molhabilidade da madeira, onde os fungos xilófagos se alimentam dos principais constituintes da madeira, explicado desta forma o decréscimo nos valores dos ângulos após a exposição.

4.3.1.3 Dureza

Na espécie *Eucalyptus grandis* a dureza diminui com a exposição aos organismos deterioradores, onde os tratamentos preservativos geraram resultados diferentes nos valores de dureza (Tabela 7). Para o fungo de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*), o Tanino (T2) não só preservou a propriedade como também apresentou valor maior que a Testemunha

Superior, mesmo não diferindo significativamente. A mistura CCB (T3) não apresentou diferença significativa de ambas as Testemunhas. Já o Neem (T1) não preservou a dureza natural, não apresentando diferença significativa da Testemunha Inferior e mostrando-se o tratamento menos preservante da dureza.

Tabela 7 - Contrastes das médias de dureza para espécie *Eucalyptus grandis*.

<i>Contrastes</i>	<i>Média x Média</i>	<i>Incremento</i>
<i>Gloeophyllum trabeum</i>		
Testemunha Inferior x T1	37.80 x 40.20	-2.4
Testemunha Inferior x T2 *	37.80 x 58.00	-20.2
Testemunha Inferior x T3	37.80 x 47.90	-10.1
T. Inferior x T. Superior *	37.80 x 55.40	-17.6
Testemunha Superior x T1 *	55.40 x 40.20	15.2
Testemunha Superior x T2	55.40 x 58.00	-2.6
Testemunha Superior x T3	55.40 x 47.90	7.5
<i>Trametes versicolor</i>		
Testemunha Inferior x T1 *	45.54 x 35.96	9.58
Testemunha Inferior x T2 *	45.54 x 61.10	-15.56
Testemunha Inferior x T3	45.54 x 48.10	-2.56
T. Inferior x T. Superior *	45.54 x 55.40	-9.86
Testemunha Superior x T1 *	55.40 x 35.96	19.44
Testemunha Superior x T2	55.40 x 61.10	-5.7
Testemunha Superior x T3 *	55.40 x 48.10	7.3

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; Testemunha superior- amostras não deterioradas.

Avaliando o fungo da podridão branca (*Trametes versicolor*), novamente o tanino apresentou valor de dureza maior que a Testemunha Superior, embora sendo estatisticamente iguais. O T3 não apresentou diferença significativa de ambas as Testemunhas, enquanto o T1, além de apresentar valor significativamente menor que a Testemunha superior, obteve valor de dureza menor que a Testemunha Inferior, mostrando interferência negativa do extrato na propriedade natural da madeira de *Eucalyptus grandis*.

Na espécie *Pinus taeda* (Tabela 8) os dados também demonstram a redução da dureza quando exposta ao fungo. Avaliando o fungo da podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*), novamente a madeira tratada com Tanino (T2) apresentou semelhança com os valores obtidos pela Testemunha Superior. Contudo, o tratamento CCB (T3) foi quem além de preservar a característica natural da dureza, tornou os valores da mesma maiores que da Testemunha Superior.

Tabela 8 - Contrastes das médias de dureza para a espécie *Pinus taeda*.

Contrastes	Média x Média	Incremento
<i>Gloeophyllum trabeum</i>		
Testemunha Inferior x T1	28.90 x 24.10	4.8
Testemunha Inferior x T2*	28.90 x 39.30	-10.4
Testemunha Inferior x T3 *	28.90 x 48.80	-19.9
T. Inferior x T. Superior *	28.90 x 41.30	-12.4
Testemunha Superior x T1 *	41.30 x 24.10	17.2
Testemunha Superior x T2	41.30 x 39.30	2.0
Testemunha Superior x T3	41.30 x 48.80	-7.5
<i>Trametes versicolor</i>		
Testemunha Inferior x T1	18.60 x 16.70	1.9
Testemunha Inferior x T2 *	18.60 x 35.80	-17.2
Testemunha Inferior x T3 *	18.60 x 38.50	-19.9
T. Inferior x T. Superior *	18.60 x 41.30	-22.7
Testemunha Superior x T1 *	41.30 x 16.70	24.6
Testemunha Superior x T2	41.30 x 35.80	5.5
Testemunha Superior x T3	41.30 x 38.50	2.8

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; Testemunha superior- amostras não deterioradas.

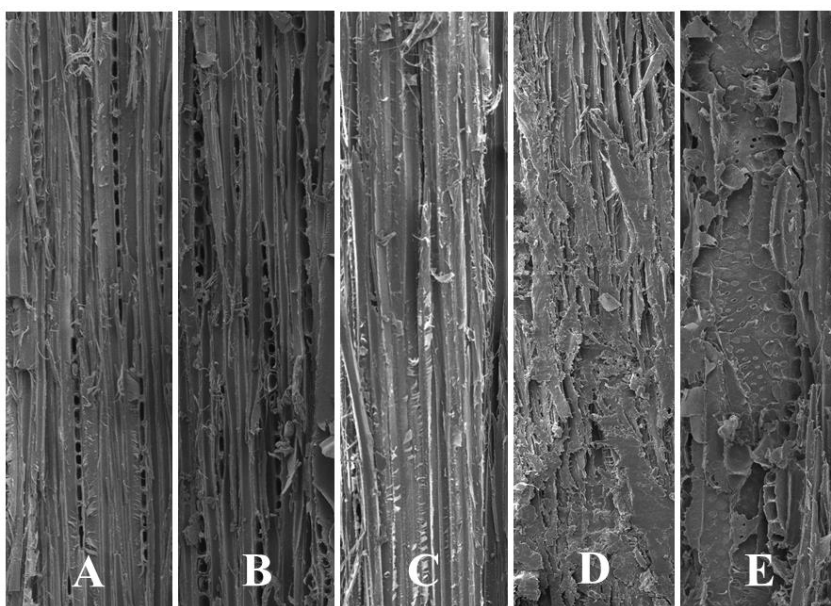
A exposição ao fungo de podridão branca (*Trametes versicolor*) ocasionou reduções acentuadas na propriedade mecânica avaliada. O tratamento utilizando a emulsão Neem foi o que apresentou os menores valores para dureza, novamente com valor menor que a testemunha inferior, tornando-o não indicado para preservação desta propriedade. As amostras tratadas com tanino diferiram da Testemunha Inferior e não apresentaram diferença significativa da Testemunha Superior.

A redução da dureza do material após a exposição fúngica está associada às variações na composição química das madeiras sofridas durante o processo de degradação (MALAKANI et al., 2014). Possivelmente, devido as enzimas liberadas pelos fungos para a conversão dos polissacarídeos da parede celular em monossacarídeos, a penetração das hifas nas paredes e lúmens celulares acabam enfraquecendo as mesmas, causando assim um decréscimo nos parâmetros relacionados a resistência mecânica (GALLIO et al., 2017). Desta forma percebe-se que os tratamentos com Tanino e CCB tornaram a propriedade mais resistente ao ataque dos fungos avaliados, enquanto a emulsão Neem não apresentou efeito protetivo na mesma.

4.3.1.4 Microscopia eletrônica de varredura

As fotomicrografias ilustram o ataque dos fungos apodrecedores na madeira de *Eucalyptus grandis* (Figuras 1 e 2). Na imagem A, da madeira sadia, é possível observar claramente os elementos anatômicos da espécie sem deterioração. Nas ilustrações seguintes verifica-se as amostras expostas ao fungo *Gloeophyllum trabeum*, sendo perceptível a variação do dano conforme os tratamentos. Nas amostras tratadas com CCB (B) os elementos anatômicos são visíveis e a ação do fungo pouco perceptível. Nas amostras tratadas com tanino (C) já não é possível distinguir a estrutura da madeira e os danos são evidentes na estrutura, enquanto nas tratadas com Neem (D) e nas amostras sem nenhum tratamento (E) é verificada uma completa alteração da estrutura inicial da madeira.

Figura 1 - Micrografia da madeira *Eucalyptus grandis* exposta ao fungo *Gloeophyllum trabeum*. Sendo: A - Testemunha Superior; B – Mistura CCB; C – Tanino; D – Neem; E – Testemunha Inferior.

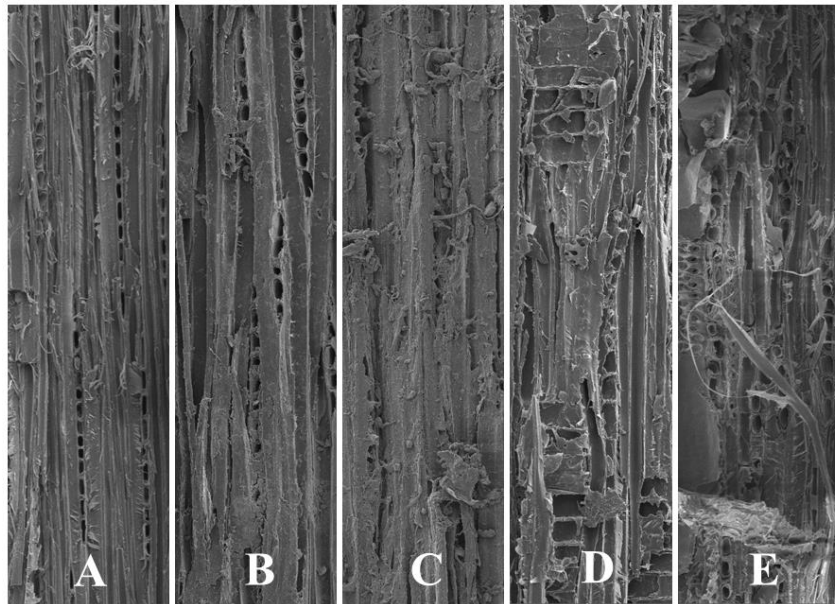


Quando observada a ilustração do ataque do fungo *Trametes versicolor* é verificada a mesma situação já descrita anteriormente, onde o tratamento com a mistura CCB (B) apresenta uma imagem semelhante a da madeira não atacada (A), e nas amostras tratadas com o tanino (C) as alterações causadas pelo fungo já são facilmente observadas. Nas imagens

representando o tratamento Neem (D) e resistência natural (E) verifica-se o ataque severo do fungo, desconfigurando as características anatômicas da espécie.

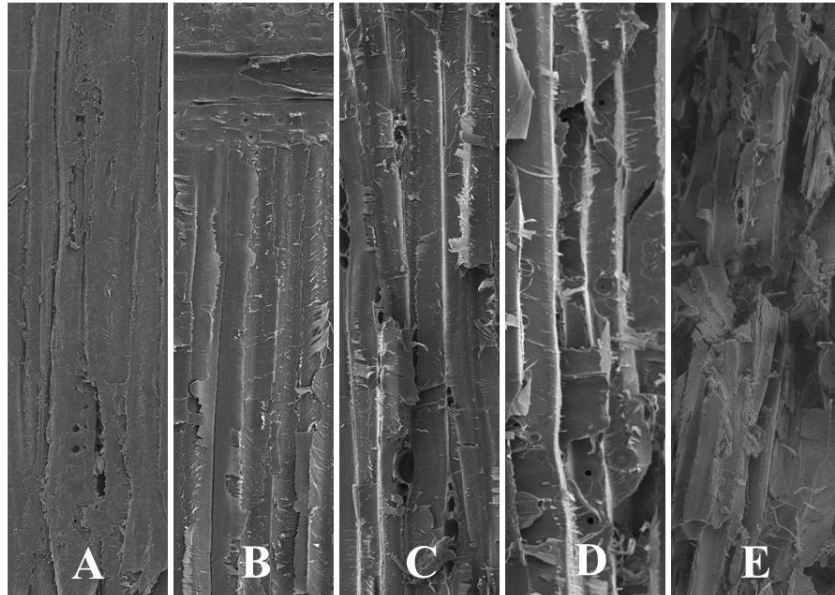
Figura 2 - Micrografia da madeira *Eucalyptus grandis* exposta ao fungo *Trametes versicolor*.

Sendo: A - Testemunha Superior; B - Mistura CCB; C - Tanino; D - Neem; E - Testemunha Inferior



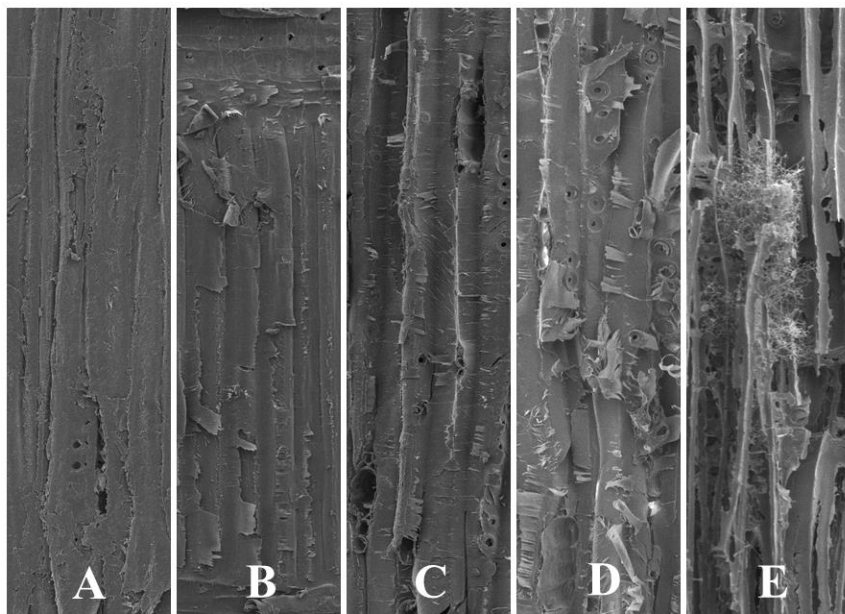
Nas amostras de Pinus, embora com uma estrutura naturalmente mais simples, a Figura 3 mostra o efeito do ataque ao fungo *Gloeophyllum trabeum*. Nas amostras da madeira sem exposição do fungo (A) tem-se uma estrutura sem qualquer ataque, enquanto nas amostras expostas ao fungo sem tratamento (E) a estrutura foi completamente alterada, demonstrando os efeitos do ataque fúngico. Nas amostras tratadas com CCB (B), embora em menor grau, verifica-se a alteração na estrutura ocasionada pela exposição ao fungo, enquanto nas amostras tratadas com produtos naturais tem-se grande alteração das características estruturais das amostras, sendo em maior grau naquelas tratadas com Neem (D) do que nas com Tanino (C).

Figura 3 - Micrografia da madeira *Pinus taeda* exposta ao fungo *Gloeophyllum trabeum*. Sendo: A - Testemunha Superior; B - Mistura CCB; C - Tanino; D - Neem; E - Testemunha Inferior.



As microfotografias das amostras de *Pinus taeda* expostas ao fungo *Trametes versicolor* são apresentadas na Figura 4. Nela tem-se uma maior diferença entre as amostras da Testemunha Superior (A) e Testemunha Inferior (E), onde as amostras expostas ao fungo sem qualquer tratamento protetivo mostram-se totalmente deterioradas, apresentando inclusive a colônia de fungos no lugar do que antes era estrutura da madeira.

Figura 4 - Micrografia da madeira *Pinus taeda* exposta ao fungo *Trametes versicolor*. Sendo: A - Testemunha Superior; B - Mistura CCB; C - Tanino; D - Neem; E - Testemunha Inferior.



Nas amostras tratadas com CCB (B) e com os produtos naturais Tanino (C) e Neem (D) percebe-se um dano visualmente menos severo do que nas amostras expostas ao fungo *Gloeophyllum trabeum* sem qualquer tratamento. Embora tenha se mostrado menos deteriorante às amostras tratadas, o fungo *Trametes versicolor* também se mostrou mais severo no ataque às amostras sem qualquer tipo de tratamento.

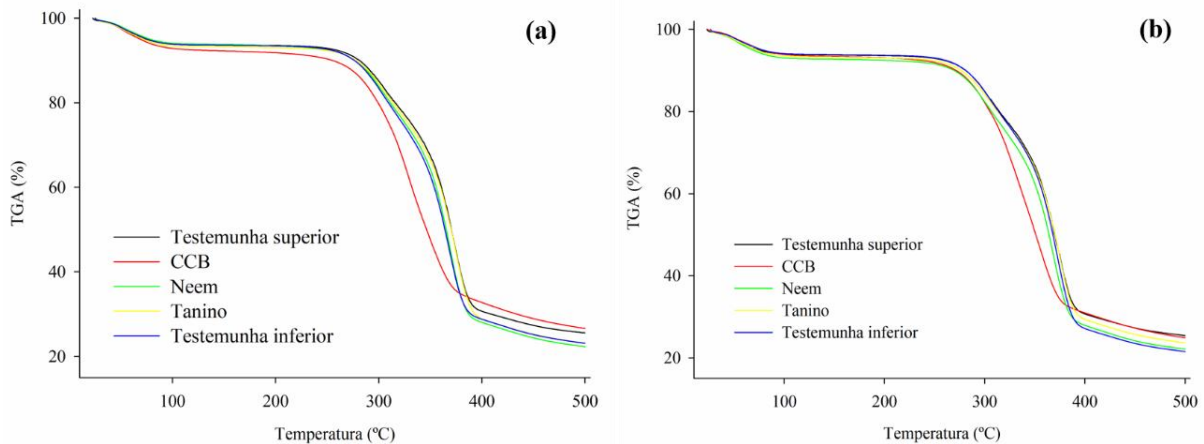
Conforme Martinez et al. (2005), os basidiomicetos, tanto os causadores da podridão parda quanto os da podridão branca, são os principais deterioradores da madeira por sua grande capacidade de modificar a lignina. Os basidiomicetos da podridão-branca, que são os mais frequentes em decomposição da madeira, são caracterizados pela sua capacidade de degradar a lignina, hemiceluloses e celulose.

4.3.1.5 Análise Termogravimétrica – TGA

A análise termogravimétrica das amostras de *Eucalyptus grandis* expostas aos fungos *Gloeophyllum trabeum* (Figura 5a) e *Trametes versicolor* (Figura 5b) corrobora com os resultados apresentados anteriormente. De modo geral, embora as amostras tratadas com CCB

necessitaram temperaturas menores para iniciar a deterioração até 375 °C, estas, juntamente com a Testemunha Superior, foram as que se mostraram menos deterioradas a 500 °C.

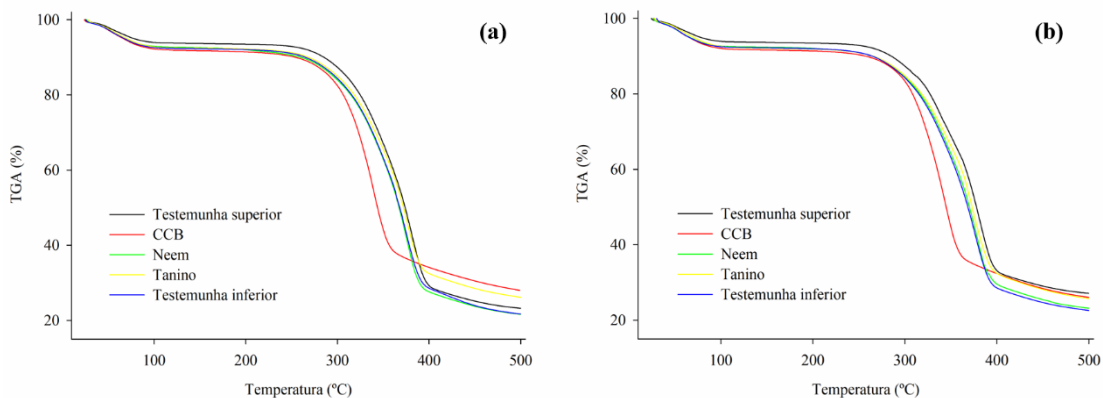
Figura 5 - Termogramas obtidos por TGA para a madeira da espécie *Eucalyptus grandis* exposta aos fungos *Gloeophyllum trabeum* (a) e *Trametes versicolor* (b).



Embora demonstrem comportamento similar, as amostras da Testemunha Inferior e as tratadas com Neem foram as que apresentaram a maior deterioração na temperatura final. Pode-se observar também o comportamento positivo das amostras tratadas com Tanino expostas ao fungo *Trametes versicolor*, apresentando deterioração semelhante às amostras da Testemunha Superior e às tratadas com CCB.

Na análise termogravimétrica das amostras de *Pinus taeda* expostas aos fungos *Gloeophyllum trabeum* (Figura 6a) e *Trametes versicolor* (Figura 6b) destaca-se a eficiência do Tanino como tratamento protetivo da madeira em relação ao tratamento com a emulsão Neem, conferindo proteção expressiva a madeira exposta a ambos os fungos e obtendo valores próximos das amostras tratadas com CCB.

Figura 6 - Termogramas obtidos por TGA para a madeira da espécie *Pinus taeda* exposta aos fungos *Gloeophyllum trabeum* (a) e *Trametes versicolor* (b).

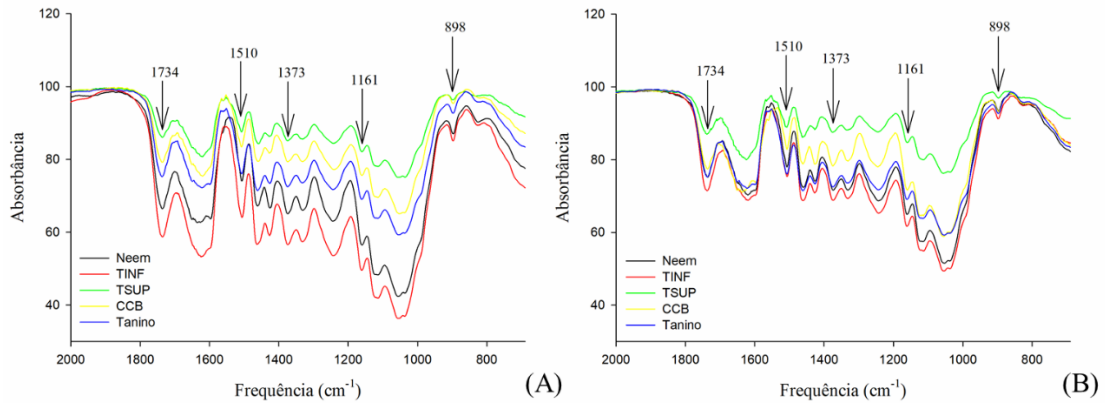


Nas amostras expostas ao *Gloeophyllum trabeum*, inclusive, as amostras tratadas com Tanino obtiveram deterioração menor do que as da Testemunha Superior, sem degradação. Isso se dá possivelmente pelo fato de o Tanino, de alguma forma, alterar propriedades naturais da madeira que confirmam maior proteção a degradação pela temperatura. Por outro lado, as amostras tratadas com Neem obtiveram desempenho semelhante a Testemunha Inferior, demonstrando sua baixa capacidade de proteger a madeira da deterioração por temperatura após exposta a ambos os fungos.

4.3.1.6 FTIR

A exposição da madeira de *Eucalyptus grandis* (Figura 7) aos fungos *Gloeophyllum trabeum* e *Trametes versicolor* ocasionaram diminuição nos valores de absorção das amostras, isso representa uma redução dos constituintes indicados de acordo com cada banda de referência, sendo a madeira não tratada a que apresentou a maior redução. Ambos os fungos mostram resultados semelhantes, sendo o *Trametes versicolor* o que gerou menor grau de deterioração.

Figura 7 - Espectros de absorção por espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) para a espécie *Eucalyptus grandis* exposta ao fungo *Gloeophyllum trabeum* (A); *Trametes versicolor* (B).

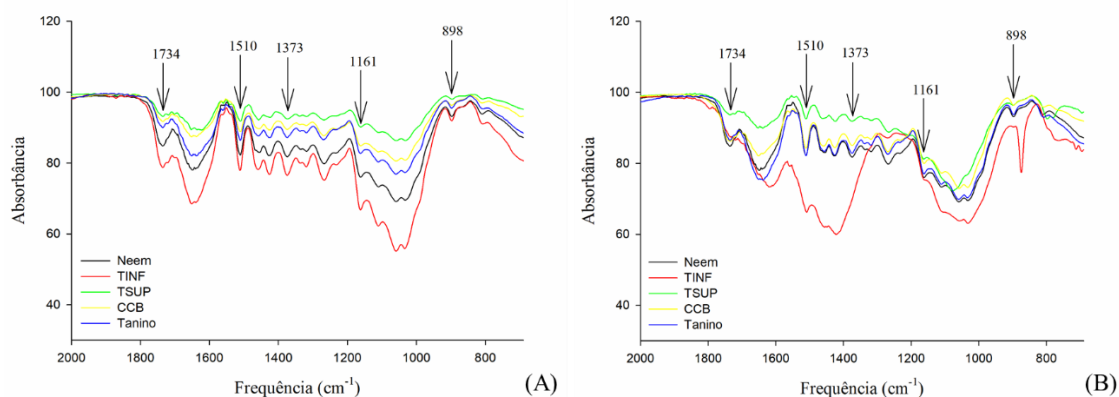


A distribuição das bandas aos componentes estruturais de acordo com as referências é indicada em trabalhos realizados na área de pesquisa (PANDEY E PITMAN, 2003; ZHANG et al., 2007): 1734 cm^{-1} para -C-O- não conjugado em hemicelulose; 1510 cm^{-1} para o esqueleto aromático na lignina; 1373 cm^{-1} para deformação C-H em celulose e hemiceluloses; 1161 cm^{-1} para vibração C-O-C em celulose e hemicelulose; e 898 cm^{-1} para deformação C-H em celulose.

Nos espectros referentes a espécie *Pinus taeda* (Figura 8) é possível visualizar a influência dos tratamentos nos componentes químicos da madeira. De maneira geral, a intensidade das bandas de interesse diminuíram após a exposição, sendo que a testemunha apresentou o maior decréscimo.

A resposta dos tratamentos apresentaram alterações de acordo com o fungo, o *Gloeophyllum trabeum* (A) demonstrou que o CCB e o tanino foram os preservantes que mantiveram os espectros mais próximos das amostras da Testemunha Superior. Enquanto que o *Trametes versicolor* apresenta oscilações nos resultados conforme a banda de interesse, existindo valores de absorção próximos dos três tratamentos avaliados.

Figura 8 - Espectros de absorção por espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) para a espécie *Pinus taeda* exposta ao fungo *Gloeophyllum trabeum* (A); *Trametes versicolor* (B).



As amostras de madeira biodegradadas apresentam diminuições nas faixas que estão relacionados à forte absorção de $-C-O-$ presente nos polissacarídeos (FERRAZ et al., 2000), situação que se deve ao consumo dos mesmos pelo fungo xilófago. Outro efeito do processo de biodeterioração por fungos de podridão foi a redução da cristalinidade da celulose (POPESCU et al., 2016), diminuindo a qualidade química da madeira.

As mudanças nos componentes foram observados pelas variações de intensidade nas bandas referentes aos grupos carbonilo e carboxílicos formados a partir de celulose, associada à da cadeia alifática de lignina. Isso pode ser correlacionado com o fato da perda de massa durante a degradação de seus principais componentes (POZO et al., 2016), o que também influenciou na redução dos constituintes químicos presentes no material.

Como seria esperado devido à preferência alimentar de fungos xilófagos, a banda atribuída a lignina (PANDEY e PITMAN, 2003; POPESCU et al., 2010a; POPESCU et al., 2010b) apresentou uma ligeira diminuição de intensidade com aumento do período de exposição. Para evidenciar o progresso da decomposição do fungo, há mudança as proporções entre a intensidade das bandas atribuídas ao carbonilo e os componentes de carboidrato/lignina (POPESCU et al., 2016) nos tratamentos.

A análise de FTIR demonstrou que a intensidade dos picos de lignina diminuiu significativamente em comparação com os carboidratos (NAZARPOUR et al., 2013), este resultado da deterioração, indicando a natureza preferencial do fungos xilófagos pelo componente. Os espectros de absorção FTIR, além de subsidiarem o monitoramento quantitativo, também permitiram a avaliação qualitativa das alterações químicas das madeiras

Eucalyptus grandis e *Pinus taeda* após o ataque pelos fungos xilófagos, ao passo que por meio deles foi possível identificar os constituintes alterados.

4.3.2 Desgaste por térmitas

4.3.2.1 Perda de massa

Os contrastes entre as médias para perda de massa causada por cupins subterrâneos demonstraram diferença entre todos os tratamentos testados para a espécie *Eucalyptus grandis*, onde a madeira sem tratamento perdeu 10,77% da sua massa inicial, as amostras tratadas com a mistura CCB perderam 1,29% (Tabela 9). Os tratamentos naturais apresentaram menor perda de massa quando nos contrastes com a Testemunha Inferior e perda de massa maiores que da Testemunha Superior.

Tabela 10 - Contrastes das médias da perda de massa após desgaste por térmitas.

<i>Contrastes</i>	<i>Média x Média</i>	<i>Incremento</i>
<i>Eucalyptus grandis</i>		
Testemunha Inferior x T1*	10.77 x 7.54	3.23
Testemunha Inferior x T2*	10.77 x 4.49	6.28
T. Inferior x T. Superior*	10.77 x 1.29	9.48
Testemunha Superior x T1*	1.29 x 7.54	-6.25
Testemunha Superior x T2*	1.29 x 4.49	-3.2
<i>Pinus taeda</i>		
Testemunha Inferior x T1	13.47 x 13.91	-0.44
Testemunha Inferior x T2*	13.47 x 6.57	6.9
T. Inferior x T. Superior*	13.47 x 2.59	10.88
Testemunha Superior x T1*	2.59 x 13.91	-11,32
Testemunha Superior x T2*	2.59 x 6.57	-3.98

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; Testemunha Superior- Mistura CCB;

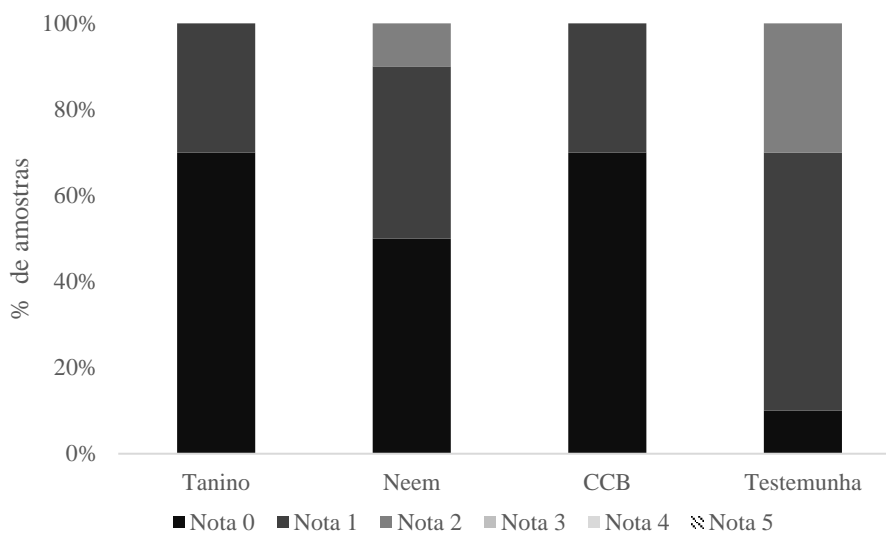
Para a espécie *Pinus taeda* o tratamento utilizando a emulsão Neem não foi considerado eficiente, não diferindo da Testemunha Inferior, apresentando incremento negativo quando comparado com a mesma. Paes et al. (2011) avaliaram a eficiência do óleo Neem na madeira de Sumaúma contra cupins xilófagos e concluíram que o mesmo não apresentava efeito protetivo significativo, indicando ineficiência do produto frente aos insetos, resultados que corroboram com a presente pesquisa.

O tanino apresentou perda de massa menor que a testemunha inferior, mas da mesma maneira não diferiu da superior, indicando o potencial do produto, embora com desempenho ainda inferior que da mistura CCB.

4.3.2.2 Desgaste visual

As notas atribuídas as amostras de *Eucalyptus grandis* (Figura 9) demonstram efeitos dos tratamentos no aspecto visual da madeira. Para o tratamento com o biopreservante tanino, 70% das amostras foram consideradas sadias e em 30 % foram observados ataques leves, resultado exatamente igual ao das amostras tratadas com a mistura química CCB. Tal resultado pode ser explicado ao fato de a durabilidade natural de certas espécies florestais estar associada a presença de extratos na madeira, sendo o tanino um desses (PAES et al., 2010; SYOFUNA; BANANA; NAKABONGE, 2012; TASCIOGLU et al., 2012).

Figura 9 - Desgaste visual das amostras de *Eucalyptus grandis*.

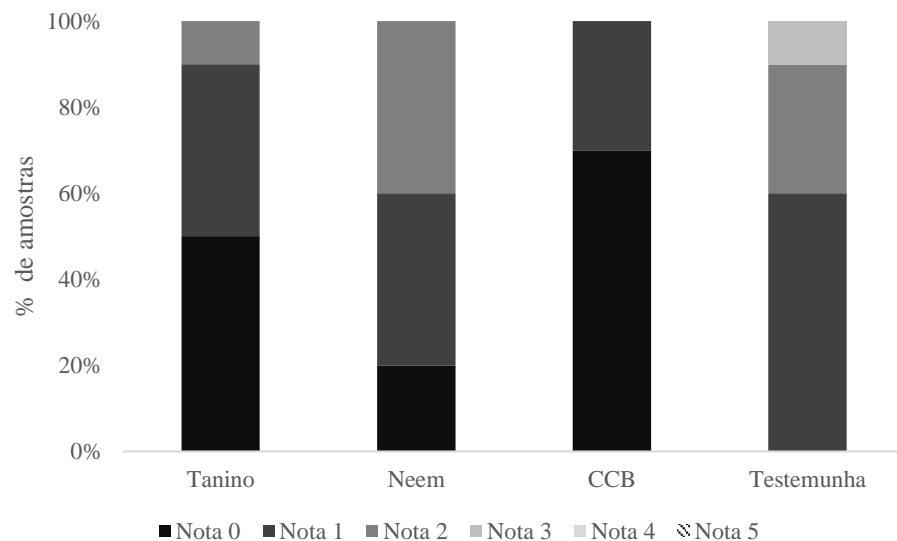


Outro produto natural testado, a emulsão Neem, apresentou amostras mais atacadas quando comparado ao Tanino e CCB, sendo 50% consideradas sadias, 40% com ataque leve e 10% ataque moderados aos insetos xilófagos. No tratamento testemunha, 10% das amostras estavam sadias, 60% com ataque leve e 30% apresentaram ataque moderado. No estudo realizado por Paes et al. (2011) quando observaram o desgaste causado pelo inseto em

amostras tratadas com óleo Neem, os autores não verificaram efeito de melhoria nas amostras quando comparados com a testemunha. Porém no presente estudo, em relação ao desgaste visual, as amostras tratadas com a emulsão apresentaram menos danos aparentes.

A avaliação visual da espécie *Pinus taeda* (Figura 10) apresenta a mistura CCB como o tratamento que proporcionou o menor desgaste nas amostras, considerando que 70% foram classificadas como sadias e 30% com ataque leve, mesma situação que ocorreu para espécie conífera. Porém, para essa espécie as amostras tratadas com tanino apresentaram-se mais desgastadas que as tratadas com a mistura CCB, sendo 40% com ataque leve e superficial e 10% com ataque moderado, e o restante consideradas sadias. A emulsão Neem manteve 20% das amostras sadias, 40% sofreram ataque leve e 40% ataque moderado, enquanto a testemunha apresentou 60% das amostras com ataque leve, 30% ataque moderado e 10% com ataque intenso.

Figura 10 - Desgaste visual das amostras de *Pinus taeda*.



A análise visual em função das condições fitossanitárias dos materiais é uma das técnicas mais comuns aplicadas pela comunidade científica (DELUCIS et al., 2016). No entanto, essa técnica é subjetiva e o resultado pode não ser confiável. Assim, outros dados quantitativos devem ser usados para apoiar esta análise (RABERG et al. 2005).

4.4 CONCLUSÕES

Na perda da massa por fungos, os tratamentos naturais apresentaram efeito protetivo para ambas as espécies.

O tratamento com a emulsão Neem ocasionou efeito negativo na molhabilidade da espécie *Eucalyptus grandis*. Nas amostras de *Pinus taeda* expostas ao fungo de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*), a emulsão Neem e mistura CCB apresentaram similaridade com a Testemunha Superior, enquanto o tanino com a inferior. Para o fungo de podridão parda somente a mistura CCB apresentou resultado satisfatório, considerando a variável ângulo de contato da gota.

O tratamento com tanino na espécie *Eucalyptus grandis* apresentou efeito positivo na propriedade dureza e para o Pinus o extrato apresentou propriedades preservativas frente a testemunha inferior, sendo o resultado do extrato mais próximo a da mistura comercial. O tratamento com a emulsão Neem mostrou efeito negativo para as duas espécies avaliadas.

As amostras tratadas com a mistura comercial CCB foram as que apresentaram visualmente menores danos na estrutura anatômica, para as duas espécies, seguidos pelo tratamento com o Tanino. A emulsão Neem apresentou danos mais severos, semelhantes as amostras não tratadas.

O Tanino apresentou resultados próximos a mistura CCB e Testemunha Superior na avaliação da degradação térmica, enquanto a Testemunha Inferior e emulsão Neem demonstraram mais propensas a decomposição quando expostas a altas temperaturas.

Os espectros de absorção FTIR demonstraram que a exposição aos fungos ocasionou diminuição na intensidade das bandas de interesse, com os tratamentos mantendo-se mais próximos da madeira não exposta, oscilando de acordo com a espécie e fungo deteriorador.

O Neem não apresentou efeito protetivo a térmitas, além de ocorrer aumento no ataque na madeira na espécie *Eucalyptus*, ocasionando maior perda de massa do que a madeira não tratada. O tanino apresentou efeito protetivo, mesmo com desempenho distante da Testemunha Superior.

4.5 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM standards**. v. 04.10 Wood. D-143-55. July, 1994.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS **Standard Method for Laboratory Evaluation of Wood and Other Cellulosic Materials for Resistance to Termites:** 3345. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, 1994.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Practice for Sampling Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties:** D 5536-94. Annual Book of ASTM Standard. Philadelphia, 2010.

ASHADUZZAMAN, M.; DAS, A. K.; KAYES, I.; SHAMS, M. I. Natural decay resistance of *Acacia auriculiformis* Cunn. ex. Benth and *Dalbergia sissoo* Roxb. **Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 46, n. 2, p. 225-230, 2011.

DELUCIS, R. A.; CADEMARTORI, P. H.G; MISSIO, A. L.; ALBERTO GATTO, D.A. Decay resistance of four fast-growing Eucalypts wood exposed to three types of fields. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 18, n. 1, p. 33-42, 2016.

FERRAZ, A.; BAEZA, J.; RODRIGUEZ, J.; FREER, J. Estimating the chemical composition of biodegraded pine and eucalyptus wood by DRIFT spectroscopy and multivariate analysis. **Bioresource Technology**, v. 74, n .3, p. 201-212, 2000.

GALLIO, E.; GATTO, D. A.; LAZAROTTO, M.; BELTRAME, R. Eficiência de preservantes fungicidas em madeiras de duas espécies florestais submetidas à deterioração por fungo. **Nativa**, v.5, n.6, p.434-439, 2017.

GERENGI, H.; TASCIOGLU, C.; AKCAY, C.; KURTAY, M. Impact of Copper Chrome Boron (CCB) Wood Preservative on the Corrosion of St37 Steel. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 53, n. 49, p. 19192-19198, 2014.

LAREDO, R. F. G.; CASTRO, M. R.; GUZMÁN, N. E. R.; INFANTE, J. A. G.; MORENO-JIMÉNEZ, M. R.; KARCHESY, J. J. Wood preservation using natural products. **Madera y bosques**, v. 21, n. spe, p. 63-76, 2015.

MALAKANI, M.; KHADEMIESLAM, H.; HASHEMI, S. K. H.; ZEINALY, F. Influence of fungal decay on chemi-mechanical properties of beech wood (*Fagus orientalis*). **Cellulose Chemistry and Technology**, v. 48, n. 1-2, p. 97-103, 2014.

NAZARPOUR, F.; ABDULLAH, D. K.; ABDULLAH, N.; ZAMIRI, R. Evaluation of biological pretreatment of rubberwood with white rot fungi for enzymatic hydrolysis. **Materials**, v. 6, n. 5, p. 2059-2073, 2013.

PAES, J.B.; SOUZA, D.A; LIMA, C.R; MEDEIROS NETO, P.N. Eficiência dos óleos de nim e mamona contra cupins xilófagos em ensaio de alimentação forçada. **Cerne**, v. 16, n. 1, p. 105-113, 2010.

PAES, J. B.; SOUZA, A. D.; LIMA, C. R.; MEDEIROS NETO, P. N. Eficiência dos óleos de nim (*Azadirachta indica*) e de mamona (*Ricinus communis*) na proteção da madeira de sumaúma (*Ceiba pentandra*) contra cupins xilófagos em ensaio de preferência alimentar. **Revista Árvore**, v.35, n.3, p.751-758, 2011.

PANDEY, K. K.; PITMAN, A. J. FTIR studies of the changes in wood chemistry following decay by brown-rot and white-rot fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 52, n. 3, p. 151-160, 2003.

POPESCU, C. M.; GRADINARIU, P.; POPESCU, M. C. Structural analysis of lime wood biodegraded by white rot fungi through infrared and two dimensional correlation spectroscopy techniques. **Journal of Molecular Structure**, v. 1124, p. 78-84, 2016.

POPESCU, C. M.; POPESCU, M. C.; VASILE, C. Characterization of fungal degraded lime wood by FT-IR and 2D IR correlation spectroscopy. **Microchemical Journal**, v. 95, n. 2, p. 377-387, 2010a.

POPESCU, C. M., POPESCU, M. C.; VASILE, C. Structural changes in biodegraded lime wood. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, n. 2, p. 362-372, 2010b.

POZO, C.; DÍAZ-VISURRAGA, J.; CONTRERAS, D.; FREER, J.; RODRÍGUEZ, J. Characterization of temporal biodegradation of radiata pine by *Gloeophyllum trabeum* through principal component analysis-based two-dimensional correlation ftir spectroscopy. **Journal of the Chilean Chemical Society**, v. 61, n. 2, p. 2878-2883, 2016.

RABERG, U.; EDLUND, M.; TERZIEV, N.; LAND, C.J. Testing and evaluation of natural durability of wood in above ground conditions in Europe – an overview. **Journal of Wood Science**, v. 51, n. 5, p. 429-440, 2005.

SILVEIRA, A. G., SANTINI, E. J., KULCZYNSKI, S. M., TREVISAN, R., WASTOWSKI, A. D., GATTO, D. A. Tannic extract potential as natural wood preservative of *Acacia mearnsii*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 4, p. 3031-3038, 2017.

SYOFUNA, A.; BANANA, A.Y.; NAKABONGE, G. Efficiency of natural wood extractives as wood preservatives against termite attack. *Maderas: Ciencia y Tecnología*, Concepcion, v. 14, n. 2, p. 155-163, 2012.

SOARES, A. C.; OLIVEIRA, R. M. D.; BRISOLARI, A.; SALES, A.; GONÇALVES, D. Molhabilidade em amostras de *Araucaria angustifolia* e *Pinus elliottii* após tratamento térmico e envelhecimento. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 92, p. 447-456, 2011.

STANGERLIN, D. M.; COSTA, A. D.; GONÇALEZ, J. C.; PASTORE, T. C. M.; GARLET, A. Monitoramento da biodeterioração da madeira de três espécies amazônicas pela técnica da colorimetria. **Acta Amazonica**, v.43, n. 4, p. 429-438, 2013.

TASCIOGLU, C.; YALCIN, M.; SEN, S.; AKCAY, C. Antifungal properties of some plant extracts used as wood preservatives. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 23-28, 2013.

TASCIOGLU, C.; YALCIN, M.; TROYA, T.; SIVRIKAYA, H. Termiticidal properties of some wood and bark extracts used as wood preservatives. **BioResources**, v. 7, n. 3, p. 2960-2969, 2012.

TEIXEIRA, J. G.; LATORRACA, J. V.F.; TREVISAN, H.; PAES, J. B. Eficiência do óleo de neem e dos resíduos de candeia sobre a inibição do desenvolvimento de fungos xilófagos. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 106, p. 417-426, 2015.

ZHANG, X.; YU, H.; HUANG, H.; LIU, Y. Evaluation of biological pretreatment with white rot fungi for the enzymatic hydrolysis of bamboo culms. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 60, n. 3, p. 159-164, 2007.

5. CAPÍTULO V – ANÁLISE À CAMPO DO DESEMPENHO PRESERVANTE DE EXTRATOS NATURAIS EM MADEIRAS DE RÁPIDO CRESCIMENTO

Resumo

A impregnação de preservativos naturais utilizando métodos tradicionais impõe desafios, como na avaliação dos parâmetros que determinam a qualidade do tratamento. O presente capítulo objetivou realizar uma análise do desempenho preservante dos extratos naturais à campo, utilizando diferentes métodos de impregnação. A metodologia foi dividida em duas etapas distintas. Na primeira, amostras de madeira foram tratadas em autoclave, enquanto na segunda, moirões de madeira foram tratados pelos métodos caseiros substituição de seiva e imersão. Em ambos, os tratamentos eram os mesmos: T1- emulsão Neem concentração 3%; T2 - extrato tânico; T3 – mistura CCB 2,5%. Concluídas as etapas de tratamento, fixação e secagem, o material foi pesado e encaminhado para uma área situada em um fragmento de floresta recuperada, onde permaneceram expostas ao ambiente por 120 dias, sendo adicionada aos experimentos a testemunha inferior, amostras que foram expostas sem utilização de preservantes. Após o período de exposição, foi realizada a coleta e limpeza do material e, encaminhados para a secagem. Logo que estabilizado, foram avaliadas as propriedades da madeira. Os resultados variaram de acordo com o método, espécie e produtos preservantes e, de maneira geral, os resultados mais satisfatórios foram apresentados pelo extrato natural tanino, impregnado com pressão. A solução com a emulsão Neem, apesar de ter demonstrado potencial preservante em algumas avaliações, apresentou efeito negativo principalmente nas propriedades mecânicas.

5.1 INTRODUÇÃO

O mecanismo de degradação de madeiras está relacionado com o seu tipo de material lenhoso, mas a principal causa é uma combinação de fatores encontrados na natureza, como umidade, irradiação solar, calor e frio, uso de produtos químicos no material, abrasão e causas biológicas (TELES e COSTA, 2014). Devido a isso, a madeira é considerada naturalmente suscetível ao ataque de organismos xilófagos, podendo apresentar maior ou menor durabilidade conforme as condições ambientais do local (ARCHER e LEBOW, 2006).

Madeiras que possuem baixa resistência natural necessitam de um tratamento preservativo que lhes confira maior vida útil em serviço, características que os tratamentos preservantes asseguram por intermédio de produtos químicos (PAES et al., 2014).

A resistência de muitas espécies madeireiras está associada principalmente à acumulação de extrativos no cerne, alguns dos quais retardam o apodrecimento (MORRIS e STIRLING, 2012). Esses extratos são componentes não-estruturais da madeira e algumas pesquisas já identificaram que alguns possuem ações antifúngicas e propriedades inseticidas, fatores que justificam explorar o potencial dos mesmos como preservantes naturais (STIRLING, 2010), porém a introdução de um novo preservante requer a numerosos testes prévios.

Durante o seu uso, a madeira é exposta diversos agentes deterioradores, sendo importante que os conservantes garantam a proteção do material em diversas situações e, ainda que o material dure por um longo período de tempo (LEBOW, 2010). O autor destaca que a escolha do conservante depende frequentemente de requisitos específicos relacionados a aplicação do material. Por exemplo, o contato com o solo ou a água exigirá do produto elevado grau de resistência à lixiviação e eficácia contra um amplo espectro de organismos. O material parcialmente protegido, acima do solo, permite a utilização de concentrações menores, mas mesmo em situações de menor exposição o produto deve garantir fixação e toxicidade devido a exposição contínua.

A impregnação de produtos conservantes em madeiras normalmente ocorre por tratamentos industriais, normalmente associando vácuo e pressão, em autoclave. Mas os preservantes também podem ser impregnados por tratamentos não industriais, sendo estes métodos caseiros, sem utilização de pressão. Dentre os métodos não industriais, destaca-se o método de substituição de seiva. As madeiras recém-cortadas são colocadas na posição vertical em um recipiente contendo uma solução preservante, e, pelo fenômeno de evaporação, o produto é absorvido para o interior das peças e conseqüentemente incorporado à madeira (MODES et al., 2011).

Em pequenas quantidades de madeira e realizado de forma correta, o método substituição de seiva pode garantir um tratamento de qualidade à madeira, porém o mesmo é indicado somente para preservativos hidrossolúveis. Quando se trabalha com preservantes oleossolúveis, o método caseiro mais simples é o encharcamento da madeira, ou imersão. As principais vantagens desse método estão na simplicidade e facilidade de operação, permitindo que o pequeno produtor rural consiga tratar madeiras sem ser necessário altos investimentos na aquisição de equipamentos.

Os ensaios de deterioração em campo, conhecidos como campos de apodrecimento, permitem observar o comportamento da a madeira como se a mesma estivesse em uma situação real de uso, é uma maneira efetiva para se avaliar espécies e eficiência de processos de tratamentos preservativos da madeira (PAES et al., 2009). De acordo com Costa et al. (2005) os ensaios de campo consistem basicamente no soterramento parcial de peças roliças de madeira seguido de inspeções periódicas, objetivando avaliar o seu estado de sanidade.

No entanto, Santini (1988) destacou como principal desvantagem para os ensaios de campo, o longo período (anos) necessário para obtenção de diagnósticos em razão do uso de peças roliças de grandes dimensões. Nesse sentido, Melo et al. (2010) consideraram como de extrema relevância o emprego de ensaios de deterioração a campo com peças de pequenas dimensões, de modo a possibilitar o levantamento de informações relativas à resistência natural das madeiras em curto espaço de tempo (meses).

A utilização de preservativos naturais em um método tradicional impõe desafios, como na avaliação dos parâmetros que determinam a qualidade do tratamento. Para os produtos industriais já existem metodologias para avaliação de penetração e retenção do produto, metodologias estas que não podem ser empregadas da mesma maneira para os extratos. O objetivo do presente capítulo é realizar uma análise do desempenho preservante dos extratos naturais à campo utilizando diferentes métodos de impregnação.

5.2 METODOLOGIA

As madeiras de *Eucalyptus tereticornis* Smith. e *Pinus taeda* L. foram obtidas de plantios pertencentes ao Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária - DDPA (extinta Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – FEPAGRO FLORESTAS), localizada do Boca do Monte, distrito de Santa Maria – RS, a seleção das árvores baseou-se na Norma Americana de Testes e Materiais - D5536-94 (2010).

Foram cortadas 6 árvores de cada espécie com 20 anos de idade e utilizadas as duas primeiras toras de cada árvore. Parte do material foi destinado ao tratamento caseiro em toras e outra parte transformado em pranchas para a confecção de corpos de prova nas dimensões de 2,0 x 2,0 x 30,0 cm e 2,5 x 2,5 x 41,0 cm, estas destinadas ao tratamento por impregnação em autoclave. O extrato natural de acácia negra foi fornecido pela a empresa SETA e a emulsão Neem foi cedida pela Cooperativa Amigos do Nim.

A metodologia de tratamento foi dividida em duas etapas distintas que ocorreram no mesmo período de tempo. Na primeira, as amostras de cada espécie foram lixadas, selecionadas, climatizadas e destinadas aos tratamentos: T1 (emulsão Neem concentração 3%), T2 (tanino em concentração de 10%) e T3 (mistura CCB a 2,5%). Para a impregnação dos preservativos nesta etapa utilizou-se o método de pressão de célula cheia em autoclave, efetuando-se o vácuo inicial de 15 minutos e, posteriormente, um período de pressão durante 60 minutos com o tratamento preservante. No T0 (Testemunha inferior) e nas amostras controle não houve a realização de tratamento preservativo, uma vez que a resistência natural da madeira e as propriedades do material não exposto ao apodrecimento, respectivamente, foram avaliados.

Na outra etapa de tratamento, os moirões recém cortados foram preparados para os métodos preservativos que atendiam as características dos extratos naturais, onde o extrato tânico foi impregnado pelo método de substituição de seiva por apresentar características de preservativos hidrossolúvel e a emulsão Neem pelo método de encharcamento (imersão) por ter características mais próximas a preservantes oleossolúveis. No primeiro método, as toras foram dispostas verticalmente em tambores, cada um contendo um tipo de solução preservativa: T2 (tanino em concentração de 10%) e T3 (mistura CCB a 2,5%), onde permaneceram por 15 dias. No segundo método, as madeiras foram dispostas horizontalmente em tanques de tratamento e foram totalmente imersas nos preservantes, sendo eles: T1 (Emulsão Neem concentração 3%), e T3 (mistura CCB a 2,5%), onde permaneceram por 45 dias.

Encerrada a fase de tratamento, as toras tratadas de forma caseira foram transformadas em amostras nas mesmas dimensões das tratadas em autoclave (2,0 x 2,0 x 30,0 cm e 2,5 x 2,5 x 41,0 cm). Todo o material foi seco, pesado e destinado a montagem do campo de apodrecimento, em um fragmento de floresta recuperada, onde ficaram expostas por 120 dias. Terminado o período de exposição, as amostras foram encaminhadas para as seguintes avaliações: perda de massa, análise do desgaste visual, dureza de Janka, flexão estática, flexão dinâmica, solubilidade e molhabilidade, descritos na sequência.

5.2.1 Perda de massa

A perda de massa das amostras foi determinada pela diferença entre a massa seca inicial e a final (Equação 1).

$$PM = \frac{M_{si} - M_{sf}}{M_{si}} \times 100 \quad (1)$$

Em que: PM = perda de massa (%), MSi = massa seca inicial (g), MSf = massa seca final (g).

5.2.2 Inspeção visual

Foi realizada uma avaliação visual das amostras de madeira, conforme descrito na Norma BS EN 252 do European Committee for Standardization (CEN 1989). As condições fitossanitárias de cada amostra foram determinadas considerando sua cor e a presença de defeitos como rachaduras, podridão e mofo. Os critérios utilizados foram os seguintes: Grau 0 = sem ataque; Grau 1 = ataque leve; Grau 2 = ataque moderado; Grau 3 = ataque severo; Grau 4 = falha.

5.2.3 Dureza de Janka

A dureza Janka foi determinada com auxílio da máquina universal de ensaios, em amostras de 2,5 x 2,5 x 15,0 cm, sendo analisadas 5 amostras por tratamento. A máquina foi regulada para uma velocidade de compressão de 6 mm por minuto, acionando-se o aparelho até que a esfera de 11,3 mm de diâmetro penetrasse por completo na amostra. Foram feitas seis penetrações por amostra, uma em cada extremidade do corpo de prova (radial, tangencial e axial). A dureza Janka foi expressa em MPa, correspondendo à força necessária para a penetração superficial de uma esfera de aço de secção diametral de 1 cm².

5.2.4 Flexão estática e dinâmica

Os ensaios de flexão estática foram realizados com auxílio de uma máquina universal de ensaios, sendo obtidos os módulos de elasticidade e de ruptura, seguindo padronizações estabelecidas na Norma D143 (ASTM, 1994). O ensaio para a determinação da resistência à flexão estática da madeira consiste na aplicação de uma carga a um corpo-de-prova que repousa sobre dois apoios, na metade de seu comprimento, para causar tensões e deformações

mensuráveis até sua ruptura. Os resultados desses testes serão comparados àqueles obtidos para os corpos de prova sadios.

O ensaio de flexão dinâmica determina a capacidade da madeira resistir ao choque. Para isso será utilizado o Pêndulo de Charpy, por meio de impacto com a amostra, que resultará no trabalho absorvido (W) em Joule, na escala graduada da máquina. Em seguida, será estimado o coeficiente de resiliência (K) determinado conforme a Equação 2.

$$K = \frac{W}{b \cdot \left(\frac{h^{10}}{16}\right)} \quad (2)$$

Em que: K = coeficiente de resiliência (MPa); W = trabalho absorvido para romper o corpo-de-prova (J); b e h = dimensões transversais do corpo-de-prova (cm).

Para fins práticos, de acordo com Moreschi (2005), quanto maior o valor do coeficiente de resiliência, maior a resistência da madeira a flexão dinâmica.

5.2.5 Solubilidade

A determinação da solubilidade em hidróxido de sódio (NaOH) a 1% foi baseada na Norma NBR7990, onde foram utilizadas 2 gramas das amostras já reduzidas em serragem, nas quais foram adicionados 100 mL de solução de NaOH 1%, e em seguida foram encaminhadas para o banho-maria, a aproximadamente 100°C, por 1 hora, sendo agitadas rapidamente com bastão de vidro nos tempos de 10, 15 e 25 minutos após o início. Transcorrido o período, o material foi transferido para um sistema de filtração a vácuo, onde as amostras foram lavadas primeiramente com água destilada quente, depois com 50 mL de ácido acético a 10 % e novamente com água destilada quente, filtrando a amostra. O papel filtro resultante foi transferido para um cadinho e seco em estufa a 103°C até atingir peso constante. Este procedimento foi realizado em triplicata para que houvesse maior confiabilidade dos dados. Para a obtenção final da solubilidade da madeira foi utilizada a Equação 3, descrita a seguir:

$$Solubilidade = \left[\frac{(Pac - Pc)}{Pas} \right] \times 100 \quad (3)$$

Em que: Pac: peso da amostra + peso do papel filtro + peso do cadinho; Pc: peso do papel filtro + peso do cadinho; Pas: peso da amostra seca;

5.2.6 Molhabilidade

A caracterização da molhabilidade será realizada por meio da técnica gota séssil ao empregar o goniômetro. A medição do ângulo de contato foi realizada pelo método estático, onde uma gota de água desionizada, com volume de aproximadamente 10 µL, foi depositada na superfície da madeira, sendo posteriormente tomada uma medida média do ângulo de contato (Θ). A variação do ângulo ($\Delta\Theta$) também foi calculada, por meio da medida inicial (1 s) e outra final (30 s), descrita na Equação 4.

$$\Delta\theta = \theta_i - \theta_f \quad (4)$$

Em que: $\Delta\theta$ = variação do ângulo de contato da gota d'água (°); θ_i = ângulo de contato inicial – após 1 s (°); θ_f = ângulo de contato final – após 30 s (°).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Perda de massa

A perda de massa do *Eucalyptus tereticornis* (Tabela 1) apresentou resposta diferente de acordo com método empregado. Naquele em que o preservativo foi impregnado com pressão, todos os tratamentos apresentaram resultados superiores a Testemunha, indicando eficiência do tratamento. No caseiro, o tratamento com a emulsão Neem, apresentou resultados semelhantes a Testemunha, sendo considerado ineficiente para o tratamento da espécie com o extrato em questão.

Tabela 1 - Médias da perda de massa da espécie *Eucalyptus tereticornis*.

Tratamentos	Métodos	
	Com pressão	Caseiro
Testemunha	15,41 b	15,41 b
Neem	1,84 a	13,27 b
Tanino	2,19 a	5,45 a
Mistura CCB	2,56 a	4,27 a

Alguns estudos já foram realizados a fim de determinar a durabilidade natural de algumas espécies do gênero *Eucalyptus*, como o de Vivian et al. (2014), que verificaram perda de massa mínima após exposição ao ambiente florestal, para *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus cloeziana*, os valores não passaram de 5% no período máximo a campo. Porém, em pesquisa semelhante, Palma et al. (2018) encontraram valores superiores de perda para as mesmas espécies e mesmo tipo de ambiente, variando entre 15 a 25 % de perda.

Delucis et al. (2016) ao monitorarem a resistência de algumas espécies de rápido crescimento, entre elas o *Eucalyptus tereticornis*, verificaram após 540 dias de exposição em ambiente florestal perda de massa de 10%. Enquanto Carvalho et al. (2016), para mesma espécie e ambiente, verificaram perda de aproximadamente 14% da massa inicial após 180 dias de exposição.

A variação nos resultados dos diferentes experimentos pode estar associada a região de plantio e suas características edafoclimáticas, estas que submetem as árvores a diferentes níveis de atividades fisiológicas (MARSDEN et al., 2013). Além disso, a área de exposição que as amostras são submetidas pode apresentar variados fatores que podem acelerar ou não a decomposição.

Os resultados da perda de massa para o *Pinus taeda* (Tabela 2) indica eficiência de ambos os métodos testados, onde a perda de massa diferiu significativamente da Testemunha com a impregnação de todos os produtos testados, sendo importante salientar o desempenho dos produtos naturais, com resultados próximos ao produto químico comercial.

Tabela 4 - Médias da Perda de massa da espécie *Pinus taeda*.

Tratamentos	Métodos	
	Com pressão	Caseiro
Testemunha	19,02 b	19,02 b
Neem	3,60 a	5,35 a
Tanino	3,38 a	4,86 a
Mistura CCB	2,89 a	3,02 a

A madeira de *Pinus taeda* é classificada como não resistente a podridão parda e moderadamente resistente a branca, conforme relatado por Modes et al. (2017), indicando suscetibilidade da espécie a esses organismos deterioradores. Carvalho et al. (2015) descreve o gênero *Pinus* como não resistente ao fungo *Gloeophyllum trabeum*, utilizando a espécie

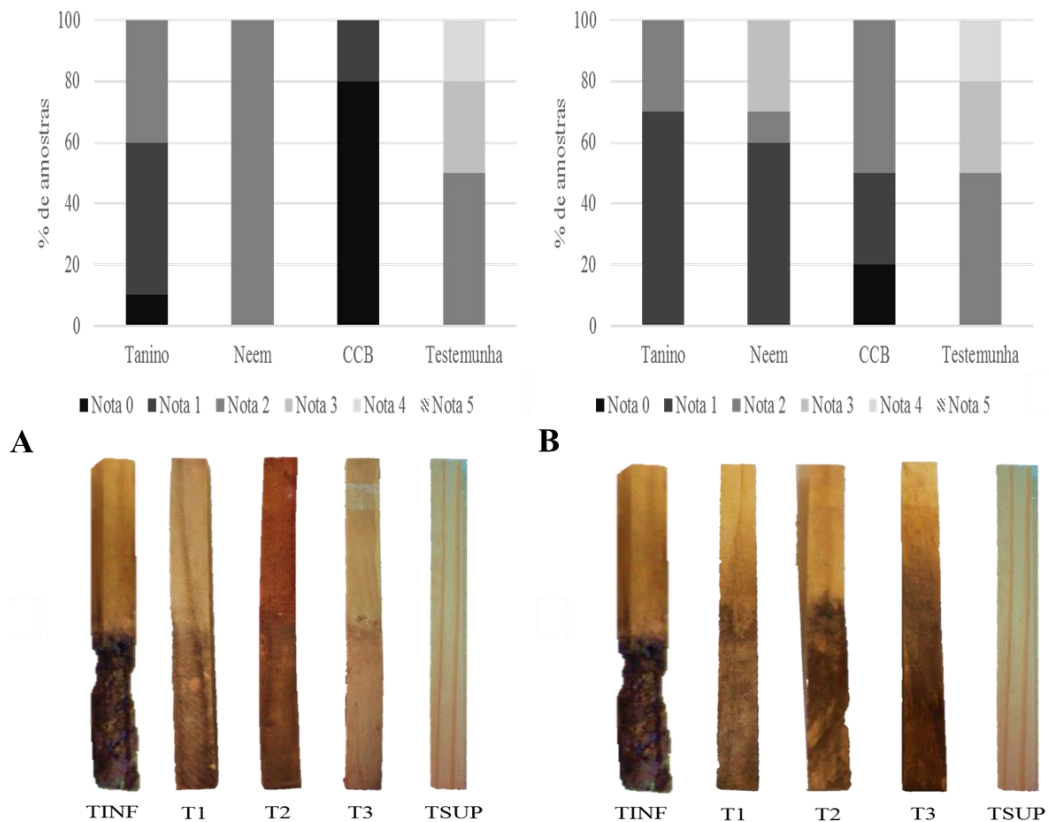
como placa alimentadora para o desenvolvimento do fungo xilófago, indicativo de sua baixa durabilidade natural.

A perda de massa superior a 10% para amostras biodeterioradas expostas a um teste de campo pode resultar em danos significativos às propriedades mecânicas (CURLING et al., 2002; VENALAINEN et al., 2014). Esta informação indica que o tempo de exposição proposto neste estudo foi adequado para as duas espécies avaliadas. Magalhães et al. (2012), apontaram que a durabilidade da madeira é influenciada pelo crescimento rápido das árvores, e o fato de o clima brasileiro favorecer este crescimento, ocasionando um aumento na proporção de alburno, tornando as espécies mais suscetíveis à degradação. Assim, até mesmo espécies que apresentam maior durabilidade somente serão consideradas adequadas para uso em serviço com a aplicação de produtos conservantes.

5.3.2 Desgaste visual

O desgaste visual das amostras de *Pinus* está representado pelos gráficos, onde as colunas mostram os tratamentos e os diferentes tons correspondem a porcentagem de amostras de acordo com a nota do seu estado fitossanitário. Do total de amostras da Testemunha, 50% apresentaram ataque moderado, 30% ataque severo e 20% falha. Quando observado o material tratado com pressão, a distribuição demonstrou alterações (Figura 1A), onde o tratamento com Neem apresentou 100% das amostras moderadamente atacadas, enquanto no tanino 70% foram levemente atacadas, com ataque moderado ocorrendo em 30% das amostras. No tratamento com CCB, 80% não sofreram ataque e 20% ataque leve, todos esses dados considerando o aspecto visual das amostras.

Figura 1 - Desgaste visual das amostras de *Pinus taeda* sendo: A (Tratamento com pressão), B (Tratamento caseiro).

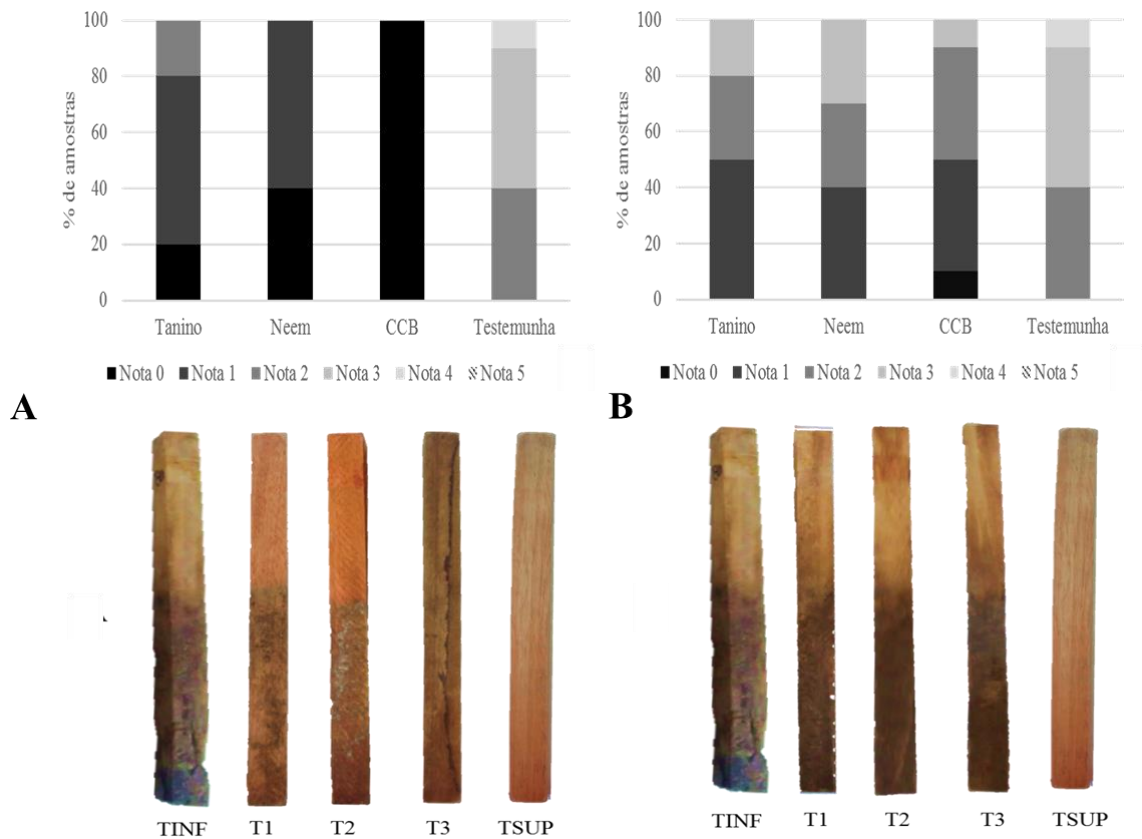


* TINF- resistência natural; T1 - Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; TSUP- amostras não deterioradas.

No método caseiro (Figura 1B), o tratamento com a emulsão Neem apresentou 60% das amostras levemente atacadas, 10% moderadamente e 30% com ataque severo. Utilizando o extrato tânico, 70% foram consideradas com ataque leve e 30% moderado. A mistura CCB permitiu que 20% das amostras estivessem com aspecto livre de ataque, 30% com apenas ataque leve e 50% com ataque moderado.

A avaliação visual das amostras de eucalipto (Figura 2) apresenta 40% das amostras testemunha com ataque moderado, 50% intenso e 10% das amostras apresentavam quebra ou falha. Todas as amostras tratadas com a mistura CCB, utilizando pressão, não apresentaram indicativo de ataque, ganhando nota zero, enquanto que no tratamento caseiro, somente 10% das amostras foram classificadas nesta mesma categoria, com o restante das amostras ficando dividido em 40% levemente atacadas, 40% moderadamente atacadas e 10% apresentando características de ataque severo.

Figura 2 - Desgaste visual das amostras de *Eucalyptus tereticornis* sendo: A (Tratamento com pressão), B (Tratamento caseiro).



* TINF– resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; TSUP- amostras não deterioradas.

Os tratamentos naturais para conservação do aspecto natural da espécie *Eucalyptus tereticornis* mais uma vez apresentaram diferença na distribuição. Quando comparados os métodos, no tratamento autoclave com emulsão Neem o aspecto indicou que 40% das amostras não foram atacadas e o restante apresentou ataque leve. No tratamento caseiro com o mesmo extrato, 40% apresentaram ataque leve, 40% ataque moderado e 20% ataque intenso. Com Tanino, no método de impregnação com pressão, a maioria das amostras foram levemente atacadas, algumas não sofreram ataques e 20% apresentaram ataque moderado. Já quando o método utilizado foi o caseiro, metade das amostras sofreu ataque leve e o restante apresentou ataque moderado e intenso.

5.3.3 Dureza de Janka

A avaliação da dureza da espécie *Pinus taeda* antes e após exposição está apresentada na Tabela 3, onde a mesma encontra-se dividida de acordo com o método de impregnação. A resposta da Testemunha Superior, onde a dureza de Janka foi de 33,6 Mpa, está semelhante ao já encontrado por Trianoski et al. (2014).

Quando comparadas as médias de dureza, os contrastes significativos para o tratamento com pressão foram entre a testemunha superior (madeira não exposta) e inferior (madeira não tratada exposta), indicando que o período de exposição gerou danos significativos na propriedade estudada. Os incrementos resultantes da comparação da testemunha inferior com o tratamento com o tanino e mistura CCB também foram significativos, sugerindo eficiência dos mesmos na preservação da dureza da madeira. O contraste da testemunha superior com o tratamento utilizando a emulsão Neem foi significativo, enquanto que com a testemunha inferior apresentou similaridade, indicando ineficiência do mesmo.

Tabela 3 - Contrastes ortogonais dos valores médios de dureza Janka (MPa) da espécie *Pinus taeda*.

Contrastes	Média x Média	Incremento
Tratamento com pressão		
Testemunha Inferior x T1	24,9 x 25,1	-0,2
Testemunha Inferior x T2 *	24,9 x 30,4	-5,5
Testemunha Inferior x T3*	24,9 x 31,0	-6,1
T. Inferior x T. Superior*	24,9 x 33,6	-8,7
Testemunha Superior x T1*	33,6 x 25,1	8,5
Testemunha Superior x T2	33,6 x 30,4	3,2
Testemunha Superior x T3	33,6 x 31,0	2,6
Tratamento caseiro		
Testemunha Inferior x T1	23,0 x 25,4	-2,4
Testemunha Inferior x T2	23,0 x 26,1	-3,1
Testemunha Inferior x T3*	23,0 x 30,5	-7,5
T. Inferior x T. Superior*	23,0 x 33,6	-10,6
Testemunha Superior x T1*	33,6 x 25,4	8,2
Testemunha Superior x T2 *	33,6 x 26,1	7,5
Testemunha Superior x T3	33,6 x 30,5	3,1

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; Testemunha superior- amostras não deterioradas.

O tratamento caseiro demonstra que o método não conseguiu atingir os mesmos resultados do tratamento com autoclave, de modo que os extratos naturais não diferiram da testemunha inferior e diferiram da superior, ou seja, a aplicação dos produtos se fez desnecessária. A mistura CCB foi o único produto que demonstrou eficiência na preservação da dureza da espécie.

A espécie *Eucalyptus tereticornis* apresentou 46,9 Mpa de dureza (Tabela 4), resultado próximo ao encontrado para a mesma espécie por Delucis et al. (2017). Os mesmos autores apresentam dados de dureza após exposição em áreas de apodrecimento e afirmam que os valores diminuem gradativamente com o tempo de exposição. Essa afirmação pode ser observada no contraste entre as testemunhas do presente estudo, onde percebe-se uma redução de quase 20% na propriedade natural da madeira após o período a campo.

A aplicação dos preservantes com pressão não gerou mudanças positivas significativas na dureza da espécie, porém o tratamento com a emulsão Neem o diferiu da testemunha superior, indicando ser o produto menos promissor na proteção desta característica da madeira.

Tabela 4 - Contrastes ortogonais dos valores médios de dureza Janka (MPa) da espécie *Eucalyptus tereticornis*.

Contrastes	Média x Média	Incremento
Tratamento com pressão		
Testemunha Inferior x T1	37,5 x 38,7	-1,2
Testemunha Inferior x T2	37,5 x 40,7	-3,2
Testemunha Inferior x T3	37,5 x 40,0	-2,5
T. Inferior x T. Superior*	37,5 x 46,9	-9,4
Testemunha Superior x T1*	46,9 x 38,7	8,2
Testemunha Superior x T2	46,9 x 40,7	6,2
Testemunha Superior x T3	46,9 x 40,0	6,9
Tratamento caseiro		
Testemunha Inferior x T1*	36,0 x 26,4	9,6
Testemunha Inferior x T2*	36,0 x 43,3	-7,3
Testemunha Inferior x T3*	36,0 x 42,9	-6,9
T. Inferior x T. Superior*	36,0 x 46,9	-10,9
Testemunha Superior x T1*	46,9 x 26,4	20,5
Testemunha Superior x T2	46,9 x 43,3	3,6
Testemunha Superior x T3	46,9 x 42,9	4

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; Testemunha superior- amostras não deterioradas.

Os resultados referentes a dureza utilizando o método de impregnação caseiro novamente indicaram diferenças quando comparado ao com pressão, principalmente no tratamento com a emulsão Neem. Desta vez, o preservante natural gerou efeito negativo na propriedade da madeira, diminuindo a sua dureza de forma significativa, que pode ser relacionado pelo fato de que o contato da madeira com o produto pode ter gerado decomposição por agentes de natureza química. O tanino preservou a madeira de maneira eficiente, diferindo da testemunha superior, resultado próximo foi observado nas amostras tratadas com a mistura CCB.

5.3.4 Flexão estática

O ensaio de flexão estática para as duas espécies estudadas indica que o período em campo de apodrecimento gerou alterações nos módulos de ruptura e elasticidade das madeiras (Tabelas 5 e 6). A testemunha superior representando *Pinus taeda* apresentou MOR (módulo de ruptura) 55,7 MPa e MOE (módulo de elasticidade) 5592.5 Mpa, valores que se encontram próximos dos já descritos para espécie por Santini et al. (2000) e Trianoski et al. (2014).

Após o período de exposição, os valores das variáveis mencionadas decresceram significativamente nas amostras de madeiras não tratadas (Testemunha Inferior). Em relação ao módulo de ruptura do pinus, os tratamentos aplicados por pressão revelam diferença entre a Testemunha Inferior e o tanino, sugerindo efeito positivo do tratamento. O mesmo resultado que não ocorreu com a emulsão Neem, que apresentou valores mais baixos que a Testemunha Inferior, onde mesmo sem diferença estatística o resultado chama a atenção para a possibilidade de o produto gerar efeito negativo na madeira.

No módulo de elasticidade, as testemunhas diferiram entre si, revelando influência da exposição na variável. Os contrastes revelaram que os tratamentos naturais ficaram mais próximos da Testemunha Inferior do que da Superior. A mistura CCB apresentou o melhor resultado, mas nem mesmo o tratamento comercial mostrou valores próximos aos encontrados pela madeira não exposta.

Tabela 5 - Contrastes ortogonais dos valores médios dos módulos ruptura (MOR) e elasticidade (MOE) da espécie *Pinus taeda*.

Contrastes	Média x Média	
	Tratamento com pressão	
	MOR	MOE
Testemunha Inferior x T1	42.8 x 34.2	1643.9 x 2130.0
Testemunha Inferior x T2	42.8 x 59.9*	1643.9 x 1966.7
Testemunha Inferior x T3	42.8 x 45.2	1643.9 x 2700.7*
T. Inferior x T. Superior	42.8 x 58.0*	1643.9 x 5592.5 *
Testemunha Superior x T1	58.0 x 34.2*	5592.5 x 2130.0*
Testemunha Superior x T2	58.0 x 59.9	5592.5 x 1966.7*
Testemunha Superior x T3	58.0 x 45.2	5592.5 x 2700.7*
Tratamento caseiro		
Testemunha Inferior x T1	27.4 x 31.5	1468.4 x 3786.3*
Testemunha Inferior x T2	27.4 x 27.2	1468.4 x 3055.3*
Testemunha Inferior x T3	27.4 x 37.8	1468.4 x 3432.5*
T. Inferior x T. Superior	27.4 x 58.0*	1468.4 x 5592.5*
Testemunha Superior x T1	58.0 x 31.5*	5592.5 x 3786.3*
Testemunha Superior x T2	58.0 x 27.2*	5592.5 x 3055.3*
Testemunha Superior x T3	58.0 x 37.8*	5592.5 x 3432.5*

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; Testemunha superior- amostras não deterioradas.

Mais uma vez o tratamento caseiro revelou resultados diferentes do encontrados nas amostras tratadas em autoclave, onde o módulo de ruptura demonstrou ser mais sensível a exposição. Mesmo com o tratamento, nenhum dos produtos foi capaz de gerar efeito positivo quando comparado a Testemunha Inferior, da mesma forma mostraram-se distantes da Testemunha Superior. No módulo de elasticidade, os resultados foram mais interessantes, onde observa-se que todos os contrastes apresentaram diferença estatística, ou seja, os tratamentos revelaram-se melhores que a Testemunha Inferior, porém ainda não estão próximos a Testemunha Superior.

O período de exposição causou redução de aproximadamente 40% no módulo de ruptura para os dois métodos testados em *Eucalyptus tereticornis*. Da mesma forma, o módulo de ruptura perdeu mais de 60% da sua capacidade inicial, valores que indicam a necessidade de tratamento para a utilização da madeira neste tipo de ambiente.

Os tratamentos alternativos e a mistura comercial, quando aplicados com pressão, melhoraram a resistência da madeira em relação ao módulo de ruptura, porém somente o tratamento com extrato tânico apresentou significância. Enquanto que para o módulo de elasticidade, todos os tratamentos apresentaram efeito positivo, e iguais a Testemunha Superior.

Tabela 6 - Contrastes ortogonais dos valores médios dos módulos ruptura (MOR) e elasticidade (MOE) da espécie *Eucalyptus tereticornis*.

Contrastes	Média x Média	
	Tratamento com pressão	
	MOR	MOE
Testemunha Inferior x T1	67.6 x 86.9	5575.3 x 13842.5*
Testemunha Inferior x T2	67.6 x 101.9*	5575.3 x 14388.0*
Testemunha Inferior x T3	67.6 x 96.8	5575.3 x 15478.5*
T. Inferior x T. Superior	67.6 x 116.0*	5575.3 x 15164.5*
Testemunha Superior x T1	116.0 x 86.9*	15164.5 x 13842.5
Testemunha Superior x T2	116.0 x 101.9	15164.5 x 14388.0
Testemunha Superior x T3	116.0 x 96.8	15164.5 x 15478.5
Tratamento caseiro		
Testemunha Inferior x T1	65.3 x 57.9	5031.8 x 7852.0*
Testemunha Inferior x T2	65.3 x 46.8	5031.8 x 7692.5*
Testemunha Inferior x T3	65.3 x 50.3	5031.8 x 6988.1
T. Inferior x T. Superior	65.3 x 116.0*	5031.8 x 15164.5*
Testemunha Superior x T1	116.0 x 57.9*	15164.5 x 7852.0*
Testemunha Superior x T2	116.0 x 46.8*	15164.5 x 7692.5*
Testemunha Superior x T3	116.0 x 50.3*	15164.5 x 6988.1*

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; Testemunha superior- amostras não deterioradas.

No tratamento caseiro observa-se que os tratamentos não foram considerados eficientes na preservação da madeira quando considerado o módulo de ruptura, apresentando mais próximos da Testemunha Inferior e diferindo da Superior, indicando ineficiência do método preservativo. Para o módulo de elasticidade, o único tratamento que ficou próximo da madeira não tratada foi o da mistura CCB, resultado inesperado por ser a mistura comumente utilizada em tratamentos de madeira. Os tratamentos naturais apresentaram efeito positivo quando comparados com a Testemunha Inferior, mas também diferiram da Superior.

5.3.5 Flexão dinâmica

A análise de comparação por contrastes ortogonais do trabalho absorvido e coeficiente de resiliência, de acordo com os tratamentos preservativos e métodos de tratamentos para a espécie *Pinus taeda*, está apresentada na Tabela 7. Os valores das amostras da Testemunha Superior e da Inferior apresentam, respectivamente as maiores médias e as menores, indicando que o fator exposição interfere significativamente nas variáveis analisadas.

Os tratamentos naturais realizados em autoclave apresentaram efeito preservativo, mesmo que de forma não significativa quando comparados com a resistência natural da madeira. Para a variável trabalho (W), os tratamentos naturais diferiram da testemunha superior e somente a mistura química apresentou resultados próximos a mesma. Para a resiliência (K), o tratamento utilizando extrato tânico não apresentou significância quando contrastado com a Testemunha Inferior.

Tabela 7 - Contrastes entre as médias do trabalho absorvido (W) e coeficiente de resiliência (K) da espécie *Pinus taeda*.

Contrastes	Média x Média	
	W	K
Tratamento com pressão		
Testemunha Inferior x T1	4.16 x 5.75	1.40 x 1.51
Testemunha Inferior x T2	4.16 x 5.00	1.40 x 2.02
Testemunha Inferior x T3	4.16 x 9.41*	1.40 x 3.33*
T. Inferior x T. Superior	4.16 x 11.25*	1.40 x 3.72*
Testemunha Superior x T1	11.25 x 5.75*	3.72 x 1.51*
Testemunha Superior x T2	11.25 x 5.00*	3.72 x 2.02
Testemunha Superior x T3	11.25 x 9.41	3.72 x 3.33
Tratamento caseiro		
Testemunha Inferior x T1	2.20 x 3.40	0.71 x 1.10
Testemunha Inferior x T2	2.20 x 4.66	0.71 x 1.51
Testemunha Inferior x T3	2.20 x 6.58*	0.71 x 2.13*
T. Inferior x T. Superior	2.20 x 11.25*	0.71 x 3.72 *
Testemunha Superior x T1	11.25 x 3.40*	3.72 x 1.10*
Testemunha Superior x T2	11.25 x 4.66*	3.72 x 1.51*
Testemunha Superior x T3	11.25 x 6.58*	3.72 x 2.13*

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; Testemunha superior- amostras não deterioradas.

Quando avaliado o método caseiro no tratamento da espécie *Pinus taeda*, é observado que nenhuma solução demonstrou eficiência em preservar as propriedades de flexão dinâmica da madeira. Apenas o tratamento utilizando a mistura CCB apresentou resultados positivos em relação a madeira não tratada, porém o mesmo também diferiu da Testemunha Superior.

Os resultados do tratamento com pressão para a espécie *Eucalyptus tereticornis* (Tabela 8) apresentaram a mesma tendência encontrada para pinus, onde o período a campo afetou nas variáveis W e K. A único tratamento que melhorou significativamente o trabalho da madeira foi o tratado com a mistura química, enquanto que para o coeficiente de resiliência, além do CCB, o tratamento utilizando a emulsão Neem também apresentou destaque.

Tabela 8 - Contrastes entre as médias do trabalho absorvido (W) e coeficiente de resiliência (K) da espécie *Eucalyptus tereticornis*.

Contrastes	Média x Média	
	W	K
Tratamento com pressão		
Testemunha Inferior x T1	9.50 x 13.33	3.28 x 4.62*
Testemunha Inferior x T2	9.50 x 13.66	3.28 x 4.39
Testemunha Inferior x T3	9.50 x 17.16*	3.28 x 5.91*
T. Inferior x T. Superior	9.50 x 19.33*	3.28 x 6.54*
Testemunha Superior x T1	19.33 x 13.33*	6.54 x 4.62
Testemunha Superior x T2	19.33 x 13.66*	6.54 x 4.39*
Testemunha Superior x T3	19.33 x 17.16	6.54 x 5.91
Tratamento caseiro		
Testemunha Inferior x T1	5.0 x 5.30	1.62 x 1.71
Testemunha Inferior x T2	5.0 x 9.33*	1.62 x 3.02*
Testemunha Inferior x T3	5.0 x 10.58*	1.62 x 3.43*
T. Inferior x T. Superior	5.0 x 19.33*	1.62 x 6.54 *
Testemunha Superior x T1	19.33 x 5.30*	6.54 x 1.71*
Testemunha Superior x T2	19.33 x 9.33*	6.54 x 3.02*
Testemunha Superior x T3	19.33 x 10.58*	6.54 x 3.43*

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; Testemunha superior- amostras não deterioradas.

Os tratamentos do *Eucalyptus*, utilizando o método caseiro, para as duas variáveis, apontaram o tratamento com a emulsão Neem como o menos promissor, pois apresentou média próxima das amostras não tratadas. O extrato tânico e a mistura CCB apresentaram resultados positivos quanto a testemunha inferior, mas as médias ainda não se aproximaram da Testemunha Superior.

5.3.6 Solubilidade

Os valores da solubilidade em hidróxido de sódio a 1% das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus tereticornis* podem ser analisados pelas Tabelas 9 e 10. Os resultados não apresentam significância entre as testemunhas, nem em relação aos tratamentos e métodos, sugerindo que o tempo de exposição não causou alterações significativas na solubilidade das espécies.

A análise por contrastes ortogonais não revelou nenhum efeito significativo entre os tratamentos, mas é possível encontrar respostas interessantes ao analisar os valores, visto que a solubilidade da madeira (Testemunha Inferior) de *Pinus taeda* decresceu após a exposição e, quando tratadas as amostras (T1, T2 e T3) a porcentagem de solubilizados aumentou.

Tabela 9 - Contrastes entre as médias de solubilidade em hidróxido de sódio da espécie *Pinus taeda*.

Contrastes	Média x Média	Incremento
Tratamento com pressão		
Testemunha Inferior x T1	4.58 x 6.17	-1,59
Testemunha Inferior x T2	4.58 x 5.54	-0,96
Testemunha Inferior x T3	4.58 x 5.98	-1,4
T. Inferior x T. Superior	4.58 x 5.56	-0,98
Testemunha Superior x T1	5.56 x 6.17	-0,61
Testemunha Superior x T2	5.56 x 5.54	0,02
Testemunha Superior x T3	5.56 x 5.98	-0,42
Tratamento caseiro		
Testemunha Inferior x T1	5.31 x 5.34	-0,03
Testemunha Inferior x T2	5.31 x 5.35	-0,04
Testemunha Inferior x T3	5.31 x 5.61	-0,3
T. Inferior x T. Superior	5.31 x 5.57	-0,26
Testemunha Superior x T1	5.56 x 5.34	0,23
Testemunha Superior x T2	5.56 x 5.35	0,22
Testemunha Superior x T3	5.56 x 5.61	-0,04

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; Testemunha superior- amostras não deterioradas.

A maior solubilidade antes da exposição do que após o período em campo de apodrecimento, Brand (2012) explica que normalmente a porcentagem de solubilizados aumenta em relação aos valores iniciais, porém, estes componentes, além de serem transformados e disponibilizados, são também perdidos, por volatilização ou lixiviação, permitindo desta forma a diminuição dos valores em relação aos iniciais.

A espécie *Eucalyptus tereticornis* não apresentou contrastes significativos após a exposição, da mesma forma que o pinus, mas observa-se respostas diferentes analisando os valores da solubilidade das amostras não tratadas, que pode ser considerado um indicativo de decomposição, pois as testemunhas inferiores apresentam médias de solubilidade maior que das superiores.

Tabela 10 - Contrastes entre as médias de solubilidade em hidróxido de sódio da espécie *Eucalyptus tereticornis*.

Contrastes	Média x Média	Incremento
Tratamento com pressão		
Testemunha Inferior x T1	6.22 x 5.27	0,95
Testemunha Inferior x T2	6.22 x 6.32	-0,1
Testemunha Inferior x T3	6.22 x 6.18	0,04
T. Inferior x T. Superior	6.22 x 6.10	0,13
Testemunha Superior x T1	6.10 x 5.27	0,82
Testemunha Superior x T2	6.10 x 6.32	-0,23

Testemunha Superior x T3	6.10 x 6.18	-0,09
Tratamento caseiro		
Testemunha Inferior x T1	6.22 x 5.70	0,07
Testemunha Inferior x T2	6.22 x 5.28	0,49
Testemunha Inferior x T3	6.22 x 5.75	0,02
T. Inferior x T. Superior	6.22 x 6.10	-0,33
Testemunha Superior x T1	6.10 x 5.70	0,4
Testemunha Superior x T2	6.10 x 5.28	0,82
Testemunha Superior x T3	6.10 x 5.75	0,35

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; Testemunha superior- amostras não deterioradas.

Os valores da solubilidade da madeira a quente em hidróxido de sódio a 1% indicam a remoção de extrativos e carboidratos de baixa massa molecular, que consistem basicamente em algumas poliozes (hemiceluloses) e celulose degradada, indicando o grau de deterioração por organismos xilófagos ou degradação por calor, luz, oxidação, etc (ABNT, 2010). Porém durante a exposição pode ocorrer oxidação dos ácidos graxos dienoicos e trienoicos, pela ação das enzimas (liposidases), que tem como consequência o aumento da hidrofilia e solubilidade em água (SJÖSTRÖM, 1993), sendo a justificativa para a falta de significância nos resultados da solubilidade hidróxido de sódio nas madeiras deterioradas e não deterioradas.

5.3.7 Molhabilidade

Os resultados referentes a molhabilidade da madeira, que incluem ângulo de contato da gota e variação do ângulo de contato da gota, estão dispostos na Tabela 11 relativa a espécie *Pinus taeda* e Tabela 12 relativa a espécie *Eucalyptus tereticornis*. A diferença do ângulo entre a madeira não exposta e da madeira exposta sem tratamento é de mais de 65%, indicando que propriedade possui relação com deterioração.

Ao avaliar os tratamentos impregnados com auxílio de pressão, observa-se resultados satisfatórios para as duas variáveis analisadas, onde todas as amostras tratadas apresentaram valores significativamente superiores da madeira não tratada e resultados próximos com a madeira não exposta, mantendo assim o material menos permeável depois da decomposição.

Tabela 11 - Contrastes entre as médias do ângulo de contato da gota (Θ) e variação do ângulo ($\Delta\Theta$) na espécie *Pinus taeda*.

Contrastes	Média x Média	
	Tratamento com pressão	
	Θ	$\Delta\Theta$
Testemunha Inferior x T1	25.80 x 65.69*	35.44 x 13.70*
Testemunha Inferior x T2	25.80 x 78.97*	35.44 x 5.53*
Testemunha Inferior x T3	25.80 x 87.95*	35.44 x 3.60*
T. Inferior x T. Superior	25.80 x 75.43*	35.44 x 1.83*
Testemunha Superior x T1	75.43 x 65.69	1.83 x 13.70
Testemunha Superior x T2	75.43 x 78.97	1.83 x 5.53
Testemunha Superior x T3	75.43 x 87.95	1.83 x 3.60
Tratamento caseiro		
Testemunha Inferior x T1	25.80 x 70.61*	35.44 x 12.21*
Testemunha Inferior x T2	25.80 x 62.52*	35.44 x 21.62
Testemunha Inferior x T3	25.80 x 60.41*	35.44 x 21.78
T. Inferior x T. Superior	25.80 x 75.43*	35.44 x 1.83*
Testemunha Superior x T1	75.43 x 70.61	1.83 x 12.21
Testemunha Superior x T2	75.43 x 62.52	1.83 x 21.62*
Testemunha Superior x T3	75.43 x 60.41	1.83 x 21.78*

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; Testemunha superior- amostras não deterioradas.

No método caseiro, todos os tratamentos mantiveram o ângulo de contato da madeira exposta próximo a não exposta, a variação do ângulo que demonstrou que a emulsão Neem conseguiu manter sem a mesma ser absorvida pela madeira. Os outros tratamentos apresentaram variação maior entre o contato com a madeira e, após os 30 segundos, sendo que nessa variável os tratamentos diferiram da Testemunha Superior e foram considerados mais próximos da Testemunha Inferior.

Tabela 12 - Contrastes entre as médias do ângulo de contato da gota (Θ) e variação do ângulo ($\Delta\Theta$) na espécie *Eucalyptus tereticornis*.

Contrastes	Média x Média	
	Tratamento com pressão	
	Θ	$\Delta\Theta$
Testemunha Inferior x T1	78.97 x 94.95*	1.92 x 1.49
Testemunha Inferior x T2	78.97 x 91.34*	1.92 x 2.66
Testemunha Inferior x T3	78.97 x 88.17	1.92 x 5.04
T. Inferior x T. Superior	78.97 x 82.29	1.92 x 0.39
Testemunha Superior x T1	82.29 x 94.95	0.39 x 1.49
Testemunha Superior x T2	82.29 x 91.34	0.39 x 2.66
Testemunha Superior x T3	82.29 x 88.17	0.39 x 5.04
Tratamento caseiro		

Testemunha Inferior x T1	78.97 x 56.20	1.92 x 20.03*
Testemunha Inferior x T2	78.97 x 65.66	1.92 x 19.16*
Testemunha Inferior x T3	78.97 x 40.68	1.92 x 24.03*
T. Inferior x T. Superior	78.97 x 82.29	1.92 x 0.39
Testemunha Superior x T1	82.29 x 56.20	0.39 x 20.03*
Testemunha Superior x T2	82.29 x 65.66	0.39 x 19.16*
Testemunha Superior x T3	82.29 x 40.68*	0.39 x 24.03*

Testemunha inferior – resistência natural; T1 – Neem; T2- Tanino; T3- Mistura CCB; Testemunha superior- amostras não deterioradas.

Os valores do ângulo de contato e variação do mesmo para a espécie *Eucalyptus tereticornis* demonstram que no tratamento em que os preservantes foram impregnados com pressão, não apresentaram significância nos contrastes entre as testemunhas, indicando que a exposição não alterou tais variáveis. Porém, percebe-se que os dois tratamentos aumentaram o ângulo de contato, onde é possível associar que a impregnação dos produtos deixou a madeira mais impermeável, significativamente frente a Testemunha Inferior.

No tratamento caseiro o efeito acima descrito não ocorreu, onde a madeira tratada apresentou menor ângulo de contato que a Testemunha Inferior. Mesmo que essa resposta não seja estatisticamente significativa, pode-se afirmar que o período em que a madeira permaneceu em contato com os produtos preservativos durante o tratamento caseiro (15 dias), tornaram a madeira mais permeável. A variação do ângulo também apresenta a mesma tendência, onde a diferença do ângulo no momento que a gota cai sobre a madeira e o ângulo medido 30 segundos após, indicam que os tratamentos geraram um efeito negativo significativo na variável.

5.4 CONCLUSÕES

Verificou-se eficiência em ambos os métodos de tratamento da madeira, assim como nos produtos naturais para a preservação da madeira das duas espécies estudadas.

De maneira geral, a análise visual indicou ataques mais intensos nas amostras da testemunha inferior, seguida pelo tratamento com a emulsão Neem, tanino e mistura CCB.

Considerando o módulo de ruptura, o método caseiro de impregnação não apresentou eficiência no tratamento com produto natural nas duas espécies. Já no tratamento com pressão, o extrato tânico apresentou efeito preservante para as duas espécies.

O módulo de elasticidade da espécie *Pinus taeda* indicou que somente a mistura CCB apresentou eficiência no tratamento com pressão. No tratamento caseiro desta espécie, todos os produtos demonstraram eficiência. Na avaliação da espécie *Eucalyptus tereticornis* todos

os produtos foram eficientes no tratamento com pressão, porém no tratamento caseiro somente a mistura CCB apresentou igualdade com a testemunha inferior.

Considerando como parâmetros trabalho absorvido e coeficiente de resiliência, os métodos demonstram ineficiência no tratamento com produtos naturais na madeira de *Pinus taeda*. Enquanto que para a espécie *Eucalyptus tereticornis*, somente o método caseiro apresentou efeito positivo do tratamento natural com extrato tânico.

A exposição não causou efeitos significativos na solubilidade das espécies *Pinus taeda* e *Eucalyptus tereticornis*, não permitindo desta forma a avaliação dos métodos e produtos preservantes.

Tanto os métodos testados como os produtos preservantes foram eficientes no tratamento das madeiras testadas, considerando o parâmetro ângulo de contato, porém a variação do mesmo se mostrou maior no método caseiro.

5.5 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Annual book of ASTM standards**. v. 04.10 Wood. D-143-55. July, 1994.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Practice for Sampling Forest Trees for Determination of Clear Wood Properties: D 5536-94**. Annual Book of ASTM Standard. Philadelphia, 2010.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **NBR 7990** – Madeira - Determinação do material solúvel em hidróxido de sódio a 1%. Rio de Janeiro, 2010.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B. Influência da época de colheita e da estocagem na composição química da biomassa florestal. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 66-78, 2012.

CARVALHO, D. E.; MARTINS, A. P. M.; SANTINI, E. J.; FREITAS, L. S. D.; TALGATTI, M.; SUSIN, F. 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.; SANTINI, E. J.; GOUVEIA, F. N.; ROCHA, M. P. Resistência natural de quatro espécies florestais submetidas a ensaio com fungos apodrecedores. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 271-276, 2015.

COSTA, A. F.; VALE, A. T.; GONÇALEZ, J. C.; SOUZA, F. D. M. Durabilidade de madeiras tratadas e não tratadas em campo de apodrecimento. **Floresta e Ambiente**, v. 12, p. 7-14, 2005.

CURLING, S. F.; CLAUSEN, C. A.; WINANDY, J. E. Método experimental para quantificar estágios progressivos de decomposição de madeira por fungos basidiomicetos. **Biodeterioração Internacional e Biodegradação**, v. 49, n. 1, p. 13-19, 2002.

DELUCIS, R. A.; CADEMARTORI, P. H. G.; MISSIO, A. L.; GATTO, D.A. Decay resistance of four fast-growing Eucalypts wood exposed to three types of fields. **Maderas. Ciencia y tecnología**, v. 18, n. 1, p. 33-42, 2016.

DELUCIS, R. A.; DIAZ, R. H.; AMICO, S. C.; LABIDI, J.; GATTO, D. A. Comparative study of weathering behavior of four fast-growing eucalyptus species. **Cellulose Chemistry and Technology**, v. 51, p. 889-898, 2017.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – CEN. **BS EN 252**. Field Test Method for Determining the Relative Protective Effectiveness of a Wood Preservative in Ground Contact. In: Annual Book of CEN Standards. Sydney, 1989.

LEBOW, S. T. Wood preservation. In: ROSS, R. J. (Ed.) **Wood Handbook: Wood as an Engineering Material**. Madison: USDA, p. 15-28, 2010.

MAGALHÃES, W. L. E.; MATTOS, B. D.; MISSIO, A. L. Teste de campo de goma manchada brasileira tratada com CCA. **Biodeterioração Internacional e Biodegradação**, v. 74, n. 9, p. 124-128, 2012.

MARSDEN, C.; NOUVELLON, Y.; LACLAUB, J.; CORBEELSE, M.; MCMURTRIEF, R. E.; STAPEG, J. L.; EPRONH, D.; LE MAIREB, G. Modificando o modelo baseado em processos de G'DAY para simular a variabilidade espacial do crescimento das plantações de eucaliptos em solos tropicais profundos. **Ecologia Florestal e Manejo**, v. 301, n. 1, p. 112-128, 2013.

MELO, R. R.; STANGERLIN, D. M.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A.; SUSIN, F. Durabilidade da madeira de três espécies florestais em ensaios de campo. **Ciência Florestal**, v. 20, p. 357-365, 2010.

MORRIS, P.I.; STIRLING, R. Western red cedar extractives associated with durability in ground contact. **Wood Science and Technology**, v. 46, n. 5, p. 991-1002, 2012.

MODES, K. S.; BELTRAME, R.; VIVIAN, M. A.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; SOUZA, J. T. Combinação de dois métodos não industriais no tratamento preservativo de mourões de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 3, p. 579-589, 2011.

MODES, K. S.; SANTINI, E. J.; VIVIAN, M. A.; GARLET, A. Influência da termorreificação na resistência a degradação biológica das madeiras de *Pinus taeda* E *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 993-1002, 2017.

PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R.; SANTOS, J. C. dos. 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.; DOS SANTOS, G. C.; DE MELO, R. R.; DE LIMA, C. R.; SOBRINHO, W. N. Efeito da inversão no tratamento de moirões submetidos ao método de substituição da seiva. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 211-221, 2014.

PALMA, V. L.; SANTINI, E. J.; SILVEIRA, A. G.; TALGATTI, M. Durabilidade natural e resistência mecânica de madeiras de rápido crescimento após ensaios de campo. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 17, p. 339-343, 2018.

SANTINI, E.J. **Biodeterioração e preservação da madeira**. CEPEF/FATEC, Santa Maria, Brasil, 1988, 125 p.

SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A. Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 1, p. 85-93, 2000.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. 2. ed. Davis: Academic Press, 1993. 293 p.

STIRLING, R. Residual Extractives in Western Red Cedar Shakes and Shingles after Long-Term Field Testing. **Forest Products Journal**, v. 60, n.4, p. 353-356, 2010.

TELES, R. F.; COSTA, A. F. Influência do intemperismo acelerado nas propriedades colorimétricas da madeira de angelim pedra. **Nativa**, v. 2, n. 2, p. 65-70, 2014.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M.; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Avaliação das propriedades mecânicas da madeira de espécies de Pinus tropicais. **Scientia Forestalis** v. 42, n.101, p. 21-28, 2014.

VENÄLÄINEN, M.; PARTANEN, H.; HARJU, A. The strength loss of Scots pine timber in an accelerated soil contact test. **Biodeterioração Internacional e Biodegradação**, v. 86, p. 150-152, 2014.

VIVIAN, M. A.; SANTINI, E. J.; MODES, K. S.; GARLET, A.; MORAIS, W. W. C. 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, 2014.