

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

Lílian Gonçalves Mariano

**POTENCIALIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS COMO
PRESERVANTES NATURAIS DE MADEIRA CONTRA A AÇÃO DE
FUNGO DA PODRIDÃO BRANCA**

Santa Maria, RS, Brasil
2017

PPGEEF/UFSM, RS

MARIANO, Lílian Gonçalves

Mestre 2017

Lílian Gonçalves Mariano

**POTENCIALIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE COMO PRESERVANTES
NATURAIS DE MADEIRA CONTRA A AÇÃO DE FUNGO DA PODRIDÃO
BRANCA**

Dissertação 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 **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientador: Elio José Santini

Santa Maria, RS, Brasil
2017

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Mariano, Lílian Gonçalves
POTENCIALIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS COMO PRESERVANTES
NATURAIS DE MADEIRA CONTRA A AÇÃO DE FUNGO DA PODRIDÃO
BRANCA / Lílian Gonçalves Mariano.- 2017.
69 p.; 30 cm

Orientador: Elio José Santini
Coorientador: Clovis Roberto Haselein
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2017

1. Preservação da madeira 2. Produtos alternativos 3.
Óleos essenciais 4. Potencial preservativo 5. Organismos
Xilófagos I. Santini, Elio José II. Haselein, Clovis
Roberto III. Título.

Lílian Gonçalves Mariano

**POTENCIALIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS COMO PRESERVANTES
NATURAIS DE MADEIRA CONTRA A AÇÃO DE FUNGO DA PODRIDÃO
BRANCA**

Dissertação 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 **Mestre em Engenharia Florestal**.

Aprovado em 21 de fevereiro de 2017:

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

Elder Eloy, Dr. (UFSM)

Silviana Rosso, Dra. (UNIPAMPA)

Santa Maria,RS
2017

AGRADECIMENTOS

À todos indistintamente que contribuíram de alguma forma no desenvolvimento deste trabalho, de minha formação profissional e pessoal. E de uma maneira especial, agradeço:

Primeiramente aos meus pais, Irene Campagnol Bianchin e Jonas Gonçalves Mariano, sem os quais não estaria aqui, por todo o amor e carinho e por serem à base de tudo. Em especial a minha mãe Irene por ter acreditado em mim, ter me oferecido as condições e estar sempre me apoiando. Essa conquista dedico a vocês!

Ao meu noivo e companheiro André Somavilla, por ser sempre presente em todos os momentos. Agradeço pela compreensão e disposição em me ajudar. Especialmente por estar sempre ao meu lado incentivando e apoiando. À você meu amor, meu muito obrigado!

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal pela oportunidade de realização deste trabalho.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudos.

Ao professor Elio José Santini, pela oportunidade, disposição, ensinamentos e orientações dadas. E aos demais professores do Curso de Pós-Graduação pelos ensinamentos e por contribuírem na minha formação.

À empresa QUINARÍ pela disponibilização do material utilizado neste trabalho, em especial ao Wagner Azambuja pela sua prestatividade.

Aos colegas de laboratório, que me apoiaram nos momentos difíceis e se fizeram sempre presentes e dispostos. Em especial à Amanda Grassmann da Silveira pelos ensinamentos e contribuições no decorrer desta pesquisa, ao Kawê Dias pela disposição e auxílio prestado na confecção de material e à Bruna Mohr Giesbrecht pelo auxílio e ensinamentos nas análises química.

A todos vocês, muito obrigada!

RESUMO

POTENCIALIDADE DE ÓLEOS ESSENCIAIS COMO PRESERVANTES NATURAIS DE MADEIRA CONTRA A AÇÃO DE FUNGO DA PODRIDÃO BRANCA

AUTORA: Lílian Gonçalves Mariano

ORIENTADOR: Elio José Santini

O presente estudo teve como objetivo avaliar o potencial fungitóxico dos óleos essenciais de *Pinus elliottii* e *Melaleuca alternifolia* como preservante natural da madeira, assim como sua toxidez ao fungo apodrecedor *Trametes versicolor*. Para tanto, este trabalho foi dividido em duas etapas principais: A primeira consistiu na realização de testes fungitóxicos para verificar a potencialidade dos óleos essenciais e encontrar as melhores concentrações. Estas foram empregadas através de ensaios em meio de cultura, também conhecidos por ensaios fungitóxicos, avaliadas através do índice de crescimento micelial. Após constatado o potencial fungitóxico dos óleos, a segunda etapa realizou-se por meio de ensaio apodrecimento, confeccionou-se corpos de prova de madeira de *Pinus sp.* e os mesmos foram tratados com as concentrações de óleo de *Pinus elliottii*, elaboradas em função dos resultados encontrados na etapa anterior, a biodeterioração do material exposto foi avaliada em função da perda de massa, análises químicas e teste de dureza. Os resultados encontrados indicaram que o óleo essencial de *Pinus elliottii* é tóxico ao desenvolvimento do fungo, mostrando que quanto mais elevada à concentração do produto no meio de cultura, maior foi o seu potencial fungitóxico, inibindo o crescimento micelial do fungo. Já para o óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, mesmo apresentando algum grau de toxidez, este não inibiu completamente o desenvolvimento do fungo. Para avaliação do efeito preservativo na madeira em relação à perda de massa foram utilizadas duas concentrações do óleo essencial de *Pinus elliottii*, 0,050 e 0,075%, e seu desempenho comparados com as testemunhas: superior sem tratamento e sem contato com o fungo e a inferior sem tratamento e em contato com o fungo, ou seja, verificar a resistência natural. A perda de massa avaliada mostrou diferença significativa dos tratamentos com óleo essencial que apresentaram menor perda de massa quando comparados a testemunha. Na avaliação dos componentes químicos, tanto a lignina quanto as polioses foram afetadas pela decomposição, sendo comprovada por meio dos resultados que o tratamento realizado com o óleo essencial de *Pinus* à 0,075% não diferiu estatisticamente da testemunha superior. A dureza Janka apresentou resultados que comprovam a eficiência do óleo essencial como preservante natural da madeira, apresentando desempenho semelhante quando comparado à testemunha superior.

Palavras-chave: Ensaio de laboratório. Óleos essenciais. Organismos xilófagos. Produtos alternativos.

ABSTRACT

POTENTIAL OF ESSENTIAL OILS AS NATURAL WOOD PRESERVATIVES AGAINST THE ACTION OF WOOD WHITE ROT FUNGI

AUTHOR: Lílian Gonçalves Mariano
ADVISOR: Elio José Santini

The present study aimed to evaluate the potential fungitoxic of essential oils of *Pinus elliottii* and *Melaleuca alternifolia* as natural preservative of wood, as well as their toxicity to rot fungus *Trametes versicolor*. For this, this work was divided into two main stages: the first was the fungitoxic testing to verify the potential of essential oils and find the best concentration. These were employed through essays in culture medium, also known as fungitoxic tests, and evaluated through the index of mycelial growth. After we found the fungitoxic potential of the oils, the second stage was held through rotting essay, we made specimens of wood of *Pinus* sp. and they were treated with concentrations of oil of *Pinus elliottii*, used in accordance with the results found in the previous step, the biodeterioration of the exposed material was evaluated basis on the loss of mass, chemical analysis and hardness testing. The results indicated that the essential oil of *Pinus elliottii* is toxic to the fungus development, showing that the higher product concentration in the culture medium, the greater was its fungitoxic potential, inhibiting mycelial growth of the fungus. In the essential oil of *Melaleuca alternifolia*, even showing some degree of toxicity, this did not completely inhibit the development of fungus. For the effect on wood preservative in relation to mass loss test we used two concentrations of the essential oil of *Pinus elliottii*, 0.050 0.075%, and its performance were compared with the control treatments: uppermost treatment, without treatment and without contact with the fungus and lowest treatment, without treatment and in contact with the fungus, in other words, check the natural resistance. The loss in mass showed significant difference of the treatments with essential oil that had lower loss in mass than control treatments. On the chemical components evaluation, not only lignin but also the polyoses were affected by decomposition, being proved through the results that the treatment performed with Pine essential oil with 0.075% did not differ statistically from the uppermost treatment control. The Janka hardness presented results that prove the efficiency of essential oil as natural wood preservative, showing similar performance when compared to the uppermost treatment control.

Keywords: Lab test. Essential oils. Xylophagous organisms. Alternative products.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	8
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	8
2 OBJETIVOS.....	9
2.1 GERAL.....	9
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1 MADEIRA.....	10
3.1.1 Propriedades físico-mecânicas da madeira.....	11
3.1.2 Propriedades química da madeira.....	12
3.2 DETERIORAÇÃO DE MADEIRAS.....	15
3.2.1 Fungos Apodrecedores da Madeira.....	15
3.3 RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA.....	17
3.4 PRESERVAÇÃO DA MADEIRA.....	17
3.4.1 Produtos naturais com potencial preservativo.....	19
3.4.2 Óleos Essenciais.....	20
3.5 ENSAIOS DE LABORATÓRIO.....	23
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
CAPITULO 2 - POTENCIALIDADE DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE <i>Pinus elliottii</i> E <i>Melaleuca alternifolia</i> SOBRE O DESENVOLVIMENTO MICELIAL DE FUNGO DA PODRIDÃO BRANCA.....	33
1 INTRODUÇÃO.....	33
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	34
2.1 PREPARO DA SOLUÇÃO.....	34
2.2 CONDUÇÃO DO ENSAIO EM MEIO DE CULTURA.....	36
2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	36
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
3.1 POTENCIAL FUNGITÓXICO DO ÓLEO ESSENCIAL DE <i>Pinus Elliottii</i> SOBRE O CRESCIMENTO MICELIAL DO FUNGO APODRECEDOR <i>Trametes Versicolor</i>	37
3.2 POTENCIAL FUNGITÓXICO DO ÓLEO ESSENCIAL DE <i>Melaleuca alternifolia</i> SOBRE O CRESCIMENTO MICELIAL DO FUNGO APODRECEDOR <i>Trametes Versicolor</i>	40
4 CONCLUSÕES.....	42

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
CAPÍTULO 3 - POTENCIALIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL DE <i>Pinus elliottii</i> COMO PRESERVANTE NATURAL DA MADEIRA CONTRA A AÇÃO DE FUNGO DE PODRIDÃO BRANCA	44
1 INTRODUÇÃO	44
2 MATERIAL E MÉTODOS	45
2.1 CONDUÇÃO DO ENSAIO.....	45
2.1.1 Preparo do material.....	45
2.1.2 Ensaio de laboratório.....	48
2.2 ANÁLISE DOS COMPONENTES QUÍMICOS DA MADEIRA	49
2.2.1 Determinação do teor de extrativos totais.....	49
2.2.2 Determinação da Lignina Klason.....	51
2.2.3 Determinação do teor de holocelulose.....	52
2.2.4 Determinação do teor de alfa-celulose.....	53
2.3 ENSAIOS DE DUREZA JANKA	55
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	56
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
3.1 PERDA DE MASSA	58
3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA	59
3.3 DUREZA JANKA	61
4 CONCLUSÕES	63
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
CAPÍTULO 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	66

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1 INTRODUÇÃO GERAL

A madeira é um material de origem orgânica, sendo um recurso natural renovável. Dentre os materiais de origem biológica, a madeira é sem dúvida o mais conhecido e utilizado, o lenho de uma árvore contém grande quantidade de substâncias que são utilizadas como matérias primas em quase todos os campos da tecnologia. Por sua vez, a crescente escassez de madeiras nativas de alta durabilidade vai dispendendo a utilização de espécies exóticas tratadas.

Em função de sua estrutura anatômica e composição química, a madeira sofre deterioração por agentes biológicos, podendo ser efetivamente protegida quando utilizada com tecnologia e tratamento preservativo, garantindo assim sua maior durabilidade. Devido a essas limitações da madeira, há muitos anos, os cientistas pesquisam novas técnicas para melhorar o desempenho da madeira em uso e assim aumentar a sua utilização e durabilidade natural.

Entre as diferentes alternativas de preservação da madeira, a utilização de substâncias químicas tem por base o uso de produtos, métodos e técnicas destinadas a aumentar, a durabilidade da madeira. Atualmente, a atividade de preservação da madeira envolve a utilização de produtos químicos, para controle dos organismos xilófagos. Sabe-se que a eficácia desses sistemas tradicionais de preservação da madeira é devido ao efeito biocida dos produtos utilizados.

De acordo com Hill (2006) preocupações ambientais relacionadas ao uso de certas classes de preservativos (especialmente o CCA) tem renovado o interesse na modificação da madeira. Em sua grande maioria, essas substâncias químicas são altamente tóxicas e que, se não utilizadas adequadamente, apresentam potenciais riscos de contaminação ao meio ambiente e problemas à saúde humana. Nesse contexto, faz-se necessário o desenvolvimento de alternativas para o controle dos agentes biológicos de deterioração da madeira.

A relevância da presente pesquisa está fundamentada em encontrar uma forma em que a madeira apresente o máximo do seu potencial em situações que geralmente são aplicadas, evitando assim desperdícios tanto de mão de obra como financeiros. Sendo importante ressaltar a utilização de preservantes naturais da

madeira, identificados pelas gomas, resinas, extratos, óleos, etc, que podem apresentar grandes potenciais de aplicações. Dessa forma, diferentes estudos vêm sendo empregados com objetivo de encontrar produtos eficazes, de baixa toxidez e com viabilidade econômica, para utilização em larga escala. E caso este se confirme é um ganho industrial, ambiental e social, devido à carência encontrada no mercado quando se procura produtos com baixa toxidez.

A presente pesquisa está dividida em duas etapas. Na primeira desenvolveu-se um estudo com o objetivo de encontrar as concentrações de óleos essenciais mais adequadas para tratar os corpos de prova de madeira, nessa etapa realizou-se ensaios fungitóxicos com diferentes concentrações dos óleos essenciais, em meio de cultura. A segunda etapa, consistiu em tratar os corpos de prova da madeira de *Pinus sp.*, utilizando as concentrações que expressaram maior toxidez ao fungo, com este material e as testemunhas (sem tratamento) foi realizado o ensaio de apodrecimento acelerado. A avaliação foi realizada com base na perda de massa do material, através das análises de propriedades químicas e mecânicas da madeira.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

O presente estudo teve como objetivo avaliar a potencialidade dos óleos essenciais de *Pinus elliottii* e *Melaleuca alternifolia* como preservante natural da madeira, assim como, sua toxidez ao fungo apodrecedor *Trametes versicolor*.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a inibição do crescimento micelial do fungo apodrecedor de madeira em meio de cultura contendo óleo essencial, afim de encontrar as concentrações mais adequadas.
- Verificar o potencial fungitóxico do óleo essencial de *Pinus elliottii* e *Melaleuca alternifolia* sobre o crescimento micelial do fungo apodrecedor *Trametes versicolor*, para posterior avaliação do potencial preservativo destes óleos na biodeterioração da madeira.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 MADEIRA

A madeira é um material heterogêneo e a sua variabilidade estrutural e química se reflete em uma ampla gama de propriedades físicas, tais como: densidade, permeabilidade, comportamento quanto à capilaridade, condutividade térmica, difusão da água de impregnação, dentre outras (SIAU, 1984). De acordo com Lobão et al. (2004, p. 889) “a madeira é um material heterogêneo, possuindo diferentes tipos de células, adaptadas ao desempenho de funções específicas, as variações nas suas composições químicas, físicas e anatômicas são grandes entre espécies”.

Missio (2014, p.23), “por ser constituída por diferentes tipos de células o aspecto da madeira é alterado de acordo com a face em que é visualizada”. De acordo com Oliveira (2009) a compreensão dessa estrutura necessita da observação em três planos diferentes do material, transversal, corte realizado perpendicularmente ao eixo do caule, radial, perpendicular a medula e tangencial, paralelo ao eixo do caule. Rowell et al. (2005) afirma que podemos definir a madeira como um biopolímero tridimensional, formado por celulose, hemiceluloses e lignina, e uma pequena quantidade de extrativos e materiais inorgânicos, sendo a água a substância química mais abundante numa árvore viva.

De maneira geral, as madeiras podem ser agrupadas em duas categorias distintas: “moles” (softwoods) e “duras” (hardwoods). Nas madeiras de coníferas, as células que servem ao transporte de água e nutrientes também provêem suporte mecânico. Por outro lado, as madeiras de folhosas apresentam células especializadas específicas para cada uma destas funções. (FENGEL e WEGENER , 1989).

As madeiras constituem-se, tradicionalmente, em um dos principais materiais empregados em todas as etapas da construção civil, na indústria moveleira, setor de embalagens e energia. (CURY e TOMAZELLO FILHO, 2011; VIDAURRE et al., 2011). Segundo Vidaurre et al. (2011) a madeira no âmbito florestal, ainda que renovável, é um recurso finito e demanda uma utilização racional fundamentada no princípio do rendimento sustentável.

A madeira, de acordo com Sgai (2000), ao ser exposta a diversas condições ambientais, está sujeita às influências de variação de temperatura e umidade, sofre ação de substâncias químicas do meio (atmosfera, solo e água) que reagem com seus componentes deteriorando-os. Além de sofrer ação de organismos xilófagos, principalmente fungos e insetos.

3.1.1 Propriedades físico-mecânicas da madeira

“A tecnologia da madeira cumpre papel fundamental no esclarecimento da deterioração da madeira, visto que as informações sobre as propriedades físicas e mecânicas são oriundas dessa área” (TREVISAN et al., 2007, p. 94). A determinação das propriedades tecnológicas da madeira tem grande importância para a estimativa da sua resistência em relação às forças externas que tendem a deformá-la (MELCHIORETTO e ELEOTÉRIO, 2003).

O conceito físico é apresentado como a quantidade da madeira contida em unidade de volume. Além disso, faz parte dos parâmetros mais importantes para avaliar a qualidade da madeira e definir a utilização final (SHIMOYAMA e BARRICHELO, 1991). Uma das formas de caracterizar a propriedade física da madeira é através da determinação da densidade aparente, pois, sua variação tem influência nas contrações e nas resistências mecânicas da madeira. Conforme Hellmeister (1982) a densidade aparente, também chamada massa específica aparente é a propriedade física com maior significância para caracterizar madeiras destinadas à construção civil, fabricação de chapas e à utilização na indústria moveleira.

Sabe-se que as propriedades mecânicas são dependentes, principalmente, da densidade básica, da porcentagem de madeira juvenil, da largura dos anéis, do ângulo das microfibrilas, da inclinação da grã, da quantidade de extrativos, do teor de umidade, da intensidade ao ataque de insetos, do tipo e da localização e quantidade de nós, dentre outros fatores (EVANS et al., 2000). Trevisan et al. (2007, p. 94) afirmam que “o estudo com relação às propriedades mecânicas, em trabalhos que avaliam a decomposição da madeira, fornecem informações valiosas quanto à redução dessas características, aumentando de forma valiosa, o banco de dados de cada espécie”.

Tsoumis (1991) afirma que as propriedades mecânicas da madeira é a sua resistência quando lhe são aplicadas forças externas que tendem a deformar sua massa. Sendo assim, essa resistência dependerá da proporção desses esforços e de como é aplicada a carga sobre a madeira. Para isso, segundo Cunha e Sousa Junior (2004), devem ser conhecidos os esforços cuja madeira é submetida. Logo, a determinação das propriedades mecânicas possibilita o adequado dimensionamento dos diversos componentes que formam o conjunto estrutural e auxilia na hora do destino da madeira para o uso final.

3.1.2 Propriedades química da madeira

A madeira é constituída por componentes químicos que podem ser chamados de componentes fundamentais ou acidentais. Os componentes fundamentais são os responsáveis pela estrutura da madeira, que são divididos em holocelulose (celulose e hemiceluloses) e lignina. Os componentes acidentais são os extrativos e os compostos minerais, não fundamentais para a estrutura da parede celular da madeira e são compostos orgânicos e inorgânicos (BARRICHELO e BRITO, 1979).

Conforme Carrasco et al., (2016, p 390), “a madeira é definida quimicamente como um biopolímero tridimensional composto por uma rede interligada de celulose, hemicelulose, lignina e pequenas quantidades de compostos extraíveis e inorgânicos”. As paredes celulares da madeira são compostas principalmente de carboidratos (65-75%) e lignina (18-35%) e de maneira elementar por 50% de carbono, 6% de hidrogênio, 44% de oxigênio e materiais inorgânicos (LEPAGE, 1986; ROWELL et al., 2005).

Philipp (1988) afirma que a madeira é um material heterogêneo composta por celulose, hemicelulose e lignina com proporção aproximada de 50:20:30, respectivamente. Presentes em menores quantidades estão os compostos de baixo peso molecular e são chamados de extrativos, geralmente formados por terpenos, óleos essenciais, resinas, fenóis, taninos, graxas e corantes. É importante o conhecimento das propriedades químicas da madeira para utilização adequada, pois para cada aplicação da matéria-prima um componente é mais adepto que o outro (KLOCK, 2005; SANTANA et al., 2012).

3.1.2.1 *Holocelulose*

“A maior porção de carboidratos da madeira é composta por polímero de celulose e hemicelulose, com menor quantidade de outros açúcares, essa combinação é chamada Holocelulose ” (SANTOS, 2008, p. 13). Estes polímeros são constituídos por açúcares simples, principalmente D-glucose, D-manose, D-galactose, D-xilose, L-arabinose, ácido D-glucurônico e quantidades menores de outros açúcares tais como L-ramnose e D- Fucose. São ricos em grupos hidroxilas que são responsáveis pela sorção de umidade através da ligação de hidrogênio (ROWEL et al., 2005).

A celulose é um polímero de cadeia linear de glicose de alta massa molecular formado de ligações β 1,4 glicosídicas possuindo estrutura organizada. A molécula de celulose $(C_6H_{10}O_5)_n$ possui variações no seu comportamento, provocadas pela flexibilidade da região amorfa ou cristalina. É insolúvel em solventes orgânicos, água, ácidos e álcalis diluídos em temperatura ambiente (CASTRO, 2009; MAGATON, 2009). Possui estrutura linear, insolúvel em solventes orgânicos, água, ácidos e álcalis diluídos, à temperatura ambiente (PENEDO, 1980). As madeiras de coníferas são compostas de, aproximadamente, 45-50% de celulose e as folhosas de cerca de 40-50% (BIERMANN, 1996).

Hemicelulose é um grupo de polissacarídeos também conhecido como polioeses, constituído por unidades de açúcares que podem ser definidos como solúveis em álcali, que podem ser encontrados também na parede celular da biomassa vegetal. Diferente da molécula de celulose a polioiese possui grau de polimerização baixo, não forma arranjo fibroso e é solúvel em álcali, é dividida em xilanas e arabinanas (CASTRO, 2009; GOMES, 2007). De acordo com Pastore (2004), quimicamente, as hemiceluloses são as frações polimérica composta de unidades de vários açúcares sintetizados na madeira e em outros tecidos das plantas.

3.1.2.2 *Lignina*

As ligninas são polímeros amorfos, altamente complexos, formado principalmente por unidades aromáticas de fenilpropano, que é considerada uma substancia incrustante (ROWELL et al., 2005). O polímero tridimensional é

constituído por ligações C-O-C e C-C. Os precursores da biossíntese de lignina são os álcoois trans-coniferílico, trans-sinapílico e trans-p-cumárico (ALDER 1977; CASTRO, 2009). Segundo Pettersen (1984) a lignina apresenta composição química complexa, com função adesiva entre as fibras, conferindo dureza e rigidez à parede celular.

Considerado o componente mais resistente da parede celular, encontra-se associado à celulose e hemiceluloses, sendo uma substância amorfa localizada na parede secundária. É responsável por fortalecer e enriquecer as paredes celulares da madeira (GOMES, 2007; KLOCK, 2005).

Diferentemente da celulose e outros polímeros naturais, as unidades monoméricas da estrutura macromolecular das ligninas não se repetem de modo regular e unem-se por diferentes tipos de ligações químicas (ROWELL et al., 2005). O mesmo autor ainda afirma que a estrutura das ligninas pode ser diferente, dependendo de onde se encontra no vegetal, devido a fatores topoquímicos que influenciam em sua formação. Esses fatores afetam a quantidade relativa de ocorrência e a estrutura das ligninas.

3.1.2.3 Extrativos

Os extrativos não fazem parte da constituição química da parede celular e incluem elevado número de compostos, como resinas, açúcares, taninos e ácidos graxos, dentre outros. Esses compostos influenciam as propriedades tecnológicas da madeira e podem ser extraídos em água ou solventes orgânicos (PETTERSEN, 1984; SILVÉRIO et al., 2006; SJÖSTRÖM, 1993).

Conforme Morais et al. (2005, p. 463) “os extrativos são considerados constituintes secundários e estão presentes principalmente na casca. Apresentam baixa massa molecular e somando pequenas quantidades, eles englobam óleos essenciais, resinas, taninos, graxas e pigmentos”.

De acordo com Oliveira et al. (2005, p. 821),

A quantidade e a qualidade dos extrativos são bastante variáveis de espécie para espécie. As variações nos teores dessas substâncias são evidentes entre indivíduos dentro de uma mesma espécie, variando do cerne mais interno para o recém-formado, sendo mais efetivo neste último.

Morais et al. (2005, p. 463) afirma que “os extrativos representam entre 4 e 10% da massa total da madeira seca, e o sua composição e quantidade variam muito entre as espécies de madeiras”. Para Onayade et al. (1998) os extrativos de coníferas contêm, geralmente, todas as classes de terpenos, exceto os sesterpenos, que são raros. A terebintina, óleo volátil das coníferas, consiste, sobretudo de monoterpenos, sendo os mais importantes o α -pineno, o β -pineno e o limoneno.

3.2 DETERIORAÇÃO DE MADEIRAS

3.2.1 Fungos Apodrecedores de Madeira

Os fungos são organismos degradadores de grande parte dos componentes químicos da madeira, são agentes biológicos que podem causar sérios prejuízos à indústria madeireira, afetando suas propriedades mecânicas e estéticas. Os fungos são microorganismos que necessitam de compostos orgânicos como fontes de alimento, sendo considerados um dos mais importantes agentes precursores de degradação da madeira. Além do material orgânico os fungos precisam de outros fatores para o seu desenvolvimento, como temperatura, pH, oxigênio e umidade.

Rica nestes compostos, a madeira é reconhecida por várias espécies de fungos como suprimento necessário de energia (POPESCU et al., 2010). Esses organismos consomem os principais constituintes das paredes das células vegetais (celulose, hemicelulose e lignina) e diminuem não só a resistência mecânica da madeira, mas também a sua densidade, diminuindo consideravelmente a sua vida útil (RAYNER e BODDY, 1988). De acordo com Santos (1992), a madeira atacada por fungos, sofre alterações na sua composição química, diminuição de massa, modificação da cor natural, redução da resistência mecânica, aumento da permeabilidade, entre outros efeitos.

Os fungos apodrecedores são divididos em grupos e diferem entre eles pelo aspecto macroscópico e são classificados de acordo com o ataque na madeira, podendo ser machadores ou apodrecedores (podridão parda, branca ou mole). Os manchadores ou emboladores, não degradam os componentes da parede celular, afetam somente a estética da madeira causando manchas, não influenciando as propriedades mecânicas da madeira.

Os fungos de podridão mole são capazes de degradar polissacarídeos em uma ação relativamente lenta e superficial e geralmente nas camadas mais externas do alburno. Estes fungos são os mais tolerantes aos preservantes de madeiras, sendo que as madeiras atacadas por eles geralmente não apresentam a tonalidade muito alterada, escurecendo muito pouco com o tempo. Em estágios avançados de degradação, a madeira torna-se mole quando úmida, desenvolve rachaduras decorrentes do encolhimento quando seca e transforma-se em pó quando friccionada (PORTO, 2010).

A podridão parda é causada por fungos Basidiomicetos que, em geral, apresentam uma alta capacidade de degradação (SILVA, 2014). Estes fungos despolimerizam a celulose, mas afetam pouco a lignina (KEREM et al., 1999). As madeiras atacadas por estes fungos apresentam uma coloração marrom escura e adquirem um aspecto queimado e com rachaduras (EATON e HALE, 1993).

Os fungos causadores da podridão branca, encontra-se distribuído na natureza em regiões de clima mais ameno (ESPOSITO et al., 1993). São capazes de hidrolisar lignina e polissacarídeos e se fixam facilmente na madeira. Pouco a pouco a madeira entra em colapso e perde massa de forma mais lenta quando comparado a degradação por fungo de podridão parda (GARCIA, 2006; MODES et al., 2012).

3.2.1.1 Podridão Branca

Conforme Santini (1988), a madeira atacada por fungos causadores de podridão branca perde o seu aspecto lustroso e sua cor natural, tornando-se esbranquiçada, como resultado da destruição de seus pigmentos. Moreschi (2013) afirma que esse tipo de fungo ataca a celulose, as hemiceluloses e ligninas.

Basidiomicetos, fungos de podridão branca, são os principais agentes decompositores da madeira, pela sua habilidade de degradar todos os componentes da parede celular, um processo enzimático originado do período Devoniano paralelamente com a evolução das plantas vasculares (ERIKSSON, 1990; MARTINEZ, 2005; TEIXEIRA et al., 1997). Os fungos causadores de podridão branca degradam tanto a lignina quanto a celulose, entretanto alguns removem a lignina seletivamente, são os únicos organismos capazes de converter ligninas em

CO₂ e H₂O e por esse motivo são utilizados em processos de deslignificação (PINTO, 2006; SALVI, 2011).

3.3 RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA

A durabilidade natural ou resistência biológica da madeira é a capacidade que a mesma possui de resistir às ações deterioradoras dos agentes biológicos. Podendo-se definir algumas classes de resistência da madeira sendo alta, média ou baixa resistência à ação desses agentes (GOMES e FERREIRA, 2002). Naturalmente, a madeira é deteriorada por organismos xilófagos que utilizam como fonte de nutrição os polímeros naturais da parede celular, e alguns deles possuem sistemas enzimáticos capazes de metabolizá-los (OLIVEIRA et al., 1986).

Conhecer as características de resistência natural da madeira é importante para recomendar o uso adequado do material, evitando gastos desnecessários com a manutenção ou com reposição de peças deterioradas (PAES et al., 2004). Concordando, Mendes e Alves (1988) afirmam que um dos principais fatores que determinam a utilização da madeira, especialmente em países tropicais, como o Brasil, é o conhecimento da durabilidade natural.

De acordo com Botelho et al. (2000), a resistência a deterioração pode variar entre espécies e dentro de uma mesma árvore. Mendes e Alves (1988) e Santini (1988) afirmam que, para a maioria das espécies, a madeira proveniente da porção interna, o cerne, é mais resistente que a da porção externa, o alburno.

Para a utilização da madeira como material de construção e outros fins estruturais a durabilidade biológica se apresenta como uma das propriedades de maior importância (OLIVEIRA, 1997). De acordo com Oliveira et al. (1986) e Walker (2006), a durabilidade natural da madeira está relacionada, principalmente, com a concentração de extrativos fenólicos (taninos, fenóis, flavonóides, estilbenos, quinonas e polifenóis).

3.4 PRESERVAÇÃO DA MADEIRA

Há relatos que a preservação da madeira teve início com Plínio que descreveu a utilização de nardo na preservação de estátuas. No segundo século a.C., com o mesmo objetivo, Catão recomenda o uso de óleo de oliva. Na Roma

Antiga utilizavam a carbonização da madeira, que estaria em contato com o solo, como preservante. E os registros de utilização de alcatrão, vinagre de madeira, bicloreto de mercúrio e alcatrão pirolenhoso são dos séculos XVII e XVIII (SANTINI, 1988).

Segundo Revista da Madeira (2007), a preservação de madeiras é qualquer procedimento ou conjunto de medidas que possa conferir, à madeira em uso, maior resistência aos agentes de deterioração, proporcionando-lhe maior durabilidade. Devido à grande propensão à deterioração da madeira, de espécies de baixa durabilidade natural, algumas medidas vêm sendo adotadas para atenuar ou, até mesmo, impedir a ação dos agentes degradadores.

A madeira como material de origem orgânica, dependendo das condições ambientais que sejam submetidas, irá sofrer deterioração por agentes biológicos dos microrganismos que são os fungos e bactérias, dos insetos que são as térmitas e coleópteros e das brocas marinhas que são os moluscos e crustáceos. Quando a situação de uso da madeira envolve a possibilidade de ocorrer a degradação biológica, torna-se necessário o uso de espécies de alta durabilidade natural ou quando de baixa durabilidade submetidas a tratamento preservante (BARILLARI, 2002; VIDAL et al., 2015).

A carência de espécies de alta durabilidade natural obrigou o homem a utilizar outras menos duráveis, principalmente de rápido crescimento, provenientes de reflorestamentos, como algumas espécies de *Eucalyptus* e de *Pinus*. Estas por sua vez, possuem moderada ou nenhuma resistência ao ataque dos organismos xilófagos e necessitam de tratamentos preservantes (PAES et al., 2005).

O uso de fungicidas e inseticidas é o procedimento mais utilizado para controlar a deterioração por fungos e insetos em madeira. No entanto, os preservantes de madeira tradicionais eficazes são à base de metais, como cobre, cromo, zinco, arsênio, boro e flúor, e de compostos como creosoto e aminas, apresentam elevado grau de toxicidade, oferecendo potenciais riscos de contaminação ao meio ambiente e problemas à saúde humana (BOSSARDI e BARREIROS, 2011).

De acordo com Celoto et al. (2008) e Machado et al. (2006) os preservantes tradicionais deverão ser substituídos por novos tratamentos, pois, há uma grande necessidade de desenvolver produtos antifúngicos eficazes, de baixo custo e não tóxicos para os seres humanos e para o meio ambiente. Entre esses

produtos estão os óleos essenciais de plantas aromáticas (SBEGHEN, 2001), os extratos de plantas venenosas (GOKTAS et al., 2008) e os óleos extraídos das sementes/grãos. E, ainda, os extrativos da madeira como o tanino, os corantes, os óleos, as resinas, as ceras e os ácidos graxos. Isolados ou em combinação com solventes e outros aditivos, podem apresentar bom desempenho na preservação da madeira (GONZAGA, 2006).

3.4.1 Produtos naturais com potencial preservativo

A utilização de produtos químicos, no controle do ataque de fungos na madeira, traz benefícios ao setor florestal em curto prazo, contudo, a longo prazo causa impactos negativos ao meio ambiente, devido à poluição causada pelos resíduos químicos (STANGARLIN et al., 1999). Diante disto, novos preservantes de madeira estão sendo investigados visando obter baixa toxicidade e baixo impacto ambiental. Do ponto de vista ecológico, uma possibilidade é a utilização de produtos naturais como preservantes de madeira. Visto que, geralmente, as substâncias de origem natural são mais seguras do que as sintéticas, pois não deixam resíduos no meio ambiente e protegem a saúde humana e dos animais (THACKER et al., 2003; ZIGLIO, 2010).

Atualmente, os pesquisadores estão realizando pesquisas com objetivo de desenvolver produtos a partir dos extrativos de plantas como alternativa aos preservantes de madeira que existem no mercado atual (CELOTO et al., 2008). Técnicas como a utilização de extratos vegetais, aminoácidos, microorganismos e, agora óleos essenciais, enquadram em estratégias de controle biológico (BASTOS e ALBUQUERQUE, 2004).

Um dos tratamentos naturais, já estudado, é o óleo de linhaça (*Linum usitatissimum*) considerado de melhor resultado por ser secativo, além de proporcionar boa impermeabilidade e proteção. Estudos têm revelado que combinações com cobre e cromo proporcionam melhores resultados (GONZAGA, 2006; TREU et al., 2009). Outras fontes de estudo como preservantes para madeira são os óleos extraídos das sementes do Nim (*Azadirachta indica* A. Juss) e de mamona (*Ricinus communis*).

Frutos, sementes, óleo, folhas, cascas e raízes do nim possuem os mais variados usos antissépticos e antimicrobianos. Estudos mostram que este óleo é

eficaz contra fungos, parasitas, insetos, algumas bactérias e vírus. Já o óleo de mamona tem sido estudado para melhorar a persistência do óleo de nim na madeira, já que, após vinte dias em contato com o solo, o óleo de nim deteriora-se, dificultando seu emprego para o tratamento de madeira (MACHADO et al., 2006; PAES et al., 2010).

Com grande importância no curtimento do couro em virtude de suas propriedades antifúngicas, os taninos vêm sendo testados contra organismos xilófagos como alternativas aos preservantes para madeira (PAES et al., 2006). Outros estudos apontam que a quitosana, um subproduto das indústrias de processamento de crustáceos tem apresentado potencial preservativo ao ataque de fungos de madeira (SATTOLO et al., 2010; SINGH et al., 2008).

3.4.2 Óleos Essenciais

Os óleos essenciais são produtos naturais de plantas que possuem um grande potencial para combater o uso dos fungicidas sintéticos, pois apresentam propriedades antifúngicas, antibacterianas e inseticidas (FENG e ZHENG, 2007; KNAAK e FIUZA, 2010; LEE et al., 2008). Óleos essenciais podem ser definidos como uma mistura de compostos voláteis originados do metabolismo secundário de plantas (BASER e DEMIRCI, 2007; BURT, 2004). Tais substâncias são encontradas em diferentes partes do vegetal, como nas casca, folhas, flores e frutos, e podem apresentar odores agradáveis (BURT, 2004; IBRAHIM et al., 2001).

Formalmente apenas é considerado óleo essencial o produto obtido a partir de matéria-prima vegetal por destilação com água ou vapor, ou a partir do epicarpo de frutas cítricas por processo mecânico ou por destilação a seco (ISO 9235, 1997). Quando se utiliza solventes orgânicos ou fluídos supercríticos, os produtos obtidos são comumente conhecidos como absolutos ou espíritos (BASER e DEMIRCI, 2007; SAAD et al., 2013).

São compostos principalmente de mono e sesquiterpenos e de fenilpropanoides, metabólitos que conferem suas características organolépticas. Possuem grande aplicação na perfumaria, cosmética, alimentos e como coadjuvantes em medicamentos. São empregados principalmente como aromas, fragrâncias, fixadores de fragrâncias, em composições farmacêuticas e orais e comercializados na sua forma bruta ou beneficiada, fornecendo substâncias

purificadas como o limoneno, citral, citronelal, eugenol, mentol e safrol (CRAVEIRO e QUEIROZ, 1993; SILVA-SANTOS et al., 2006).

Conforme Oliveira e Akiuse (2005), as principais funções dos óleos essenciais estão relacionadas com as atividades metabólicas da planta, como por exemplo, na atração de polinizadores; inibição de predadores; ou ainda, como composto alelopático, que dentre suas características pode inibir o crescimento de outras plantas ao seu redor. Bonaldo et al. (2004) afirma que os compostos produzidos pelo metabolismo secundário das plantas podem deter importantes ações na proteção contra patógenos, seja por sua ação bactericida, ativadora de rotas e mecanismos de defesa.

Os óleos e extratos de plantas há muito tempo têm servido de base para diversas aplicações na medicina popular, entre elas, a produção de anti-sépticos tópicos. Tal realidade serviu de base para diversas investigações científicas. Contudo, essa tarefa tem sido dificultada pelas peculiaridades que os óleos apresentam, quais sejam: volatilidade, insolubilidade em água e complexidade, características que interferem significativamente nos resultados (NASCIMENTO et al., 2007). Antes de serem estudados cientificamente, os óleos essenciais eram e ainda são usados pelos índios na cura de doenças, principalmente por possuir efeito contra bactérias e fungos, bem como, para aromatizar ambientes e temperar alimento (CASTRO, 2004).

3.4.2.1 Óleo essencial de *Pinus elliottii* (Pinho)

O gênero *Pinus* pertence à família Pinaceae (gimnospermas), engloba mais de 100 espécies com grande potencial a ser explorado (EMBRAPA, 2011). O óleo essencial é um dos principais produtos não madeireiros do gênero *Pinus*, tendo diversas utilidades: na forma *in natura* para a aromaterapia e para desinfetantes e na forma derivada seus compostos podem ser utilizados como matéria-prima na química fina para diversos usos (OLIVEIRA, 2008).

A espécie *Pinus elliottii* produz quantidade significativa de óleo essencial em suas folhas (acículas), pinhas e/ou sementes, visto que o armazenamento deste óleo ocorre em estruturas secretoras e são encontrados em diversos órgãos das espécies aromáticas. O teor e a composição do óleo variam de acordo com o órgão a ser extraído e o estágio de maturação da planta (BIASI e DESCHAMPS., 2009).

Os óleos essenciais do gênero *Pinus* já foi estudado por vários autores, onde verificaram a atividade antimicrobiana (CANILLAC e MONREY, 1996; LIS-BALCHIN et al., 1998). Estes óleos possuem altos níveis de monoterpenos, descrevendo-os em várias atividades biológicas, como ação antifúngica de óleo de *Pinus ponderosa*, *Pinus resinosa* e *Pinus strobus* estudadas por Krauze-Baranowska et al., (2002) e *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* pesquisadas por Tomazoni et al., (2014), ação inseticida de *Pinus cembra*, *Pinus longifolia* e *Pinus sylvestris* (FAYEMIWO et al., 2014; IBRAHIM et al., 2001), ação antifúngica e antibacteriana de óleo *Pinus pinaster* e *P. sylvestris* (HAMMER et al., 1999; REZNICEK e ZITTERL-EGLESEER, 2003) e ação antibacteriana do óleo de *Pinus tropicalis* (ANDRADE, 2012).

Estes óleos, proveniente de algumas espécies de *Pinus* é composto em sua maioria por monoterpenos como α e β -pinenos, 2-carenos, α -felantrenos entre outros. Além do seu efeito desinfetante e desodorizante, apresentam outros usos como: diurético, estimulante, descongestionante, tônico e na aromaterapia (ROBBERS et al., 1997; WAGNER e WISENAUER, 2006).

3.4.2.2 Óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*

Melaleuca alternifolia Cheel, pertencente à família das mirtáceas (*Myrtaceae*), é conhecida popularmente na Austrália como “árvore de chá” (VIEIRA et al., 2004). Seu principal produto é o óleo essencial, por apresentar grande importância medicinal, pois possui comprovada ação bactericida e antifúngica contra vários patógenos humanos. Hoje, a maior parte da produção do óleo encontra-se centralizada na Austrália, mas existem fazendas também na China, Índia, Europa e agora no Brasil (CASTRO et al., 2005).

O óleo essencial das folhas de *M. alternifolia* é rico em terpinen-4-ol, principal responsável por suas propriedades medicinais (VIEIRA et al., 2004). O seu óleo pode ser extraído das folhas, ramos e caule e tem sua composição regulamentada pela ISO 4730 (ISO 4730, 1996). Carson et al. (2002) obteve resultados consistentes sobre *Staphylococcus aureus* e afirma que esse óleo essencial tem atividade antimicrobiana de amplo espectro.

O óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* tem sido apontado como uma opção para o tratamento de infecções fúngicas causadas pelo gênero *Candida*,

apresentando efeito antifúngico significativo (COX 2000; COX 2001). Costa et al. (2010) observou a atividade antifúngica sobre leveduras isoladas de candidíase bucal e constatou o potencial do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*. Hammer et al. (2004), descreveram a atividade fungistática e fungicida do óleo de *M. alternifolia* em dermatófitos e fungos filamentosos. Papadopoulos et al. (2006), relataram atividade semelhante em *Pseudomonas* spp., onde a concentração mínima inibitória encontrada nos tratamentos com o óleo de *Melaleuca* sp. foi de 2,0%.

3.5 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

De acordo com Stangerlin (2012), para determinar o grau de resistência natural de uma determinada espécie ou avaliar a eficiência preservativa de um produto impregnado na madeira, existem basicamente, dois tipos de ensaios, dependendo do propósito, podem ser executados: ensaios em laboratório e ensaios de campo.

Para Santini (1988), o longo período (anos) necessário para obtenção de resultados precisos nos ensaios de campo, é a principal desvantagem, isso em razão da utilização de peças com grandes dimensões. Desta forma, os ensaios em laboratório têm sido extensivamente empregados com o intuito de servirem como um primeiro estágio de verificação da resistência do material, de modo a atender as respostas imediatas tanto de setores tecnológicos quanto econômicos.

Os ensaios de laboratório, segundo Stangerlin et al. (2013) e Paes et al. (2005), consistem na exposição de corpos de prova, às culturas puras de fungos desenvolvidas em meio de cultura apropriado. O material fica exposto durante certo período de tempo, após é determinada a perda percentual de massa provocada, além de testes mecânicos e análises química, afim de avaliar, a partir da ação dos fungos, as amostras de madeira. Mialhe (1996), afirma que estes procedimentos em laboratório possuem por finalidade a redução do tempo e custos. Em geral, esses ensaios são realizados de acordo com as normas ASTM D 2017 (American Society for Testing and Materials) ou EN 113 (European Normalization).

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDER, E. Lignin chemistry: Past, present and future. **Wood Sci. Technology**, v 11, p.169–218. 1977.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM D-2017. Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods. **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, v. 410, p.5, 2005.

ANDRADE, G. **Ação antifúngica *in vitro* da resina e frações do *Pinus tropicalis* frente à fitopatógenos**. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em Biomedicina) – Universidade de Franca, Franca, 2012.

BARILLARI, C. T. **Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* tratada com preservantes: avaliação em campo de apodrecimento**. 2002. 68p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BARRICHELO, L. E. G; BRITO, J. O. **A utilização da madeira na produção de celulose**. Piracicaba: Instituto de Pesquisa Florestais - IPF, 1979, 12p. (Circular Técnica, 68). Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr068.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2016.

BASER, K. H. C.; DEMIRCI, F. **Chemistry of essential oils**. In: BERGER, R. G. Flavours and Fragrances: Chemistry, Bioprocessing and Sustainability. Hannover: Springer, Cap. 4, p. 43-86. 2007.

BASTOS, C. N.; ALBUQUERQUE, P. S. B. Efeito do óleo de Piper aduncum no controle em pós-colheita de *Colletotrichum musae* em banana. **Fitopatologia Brasileira**. v.29. p. 555-557. 2004.

BIASI, L. A.; DESCHAMPS, C. **Plantas aromáticas: do cultivo a produção de óleo essencial**. 1.ed. Curitiba: Layer Studio Gráfico e Editora Ltda, 2009.

BIERMANN, C. J. **Handbook of pulping and papermaking**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 754p. 1996.

BONALDO, S. M. et al. Fungitoxicidade, atividade elicitora de fitoalexinas e proteção de pepino contra *Colletotrichum lagenarium*, pelo extrato aquoso de *Eucalyptus citriodora*. **Fitopatologia Brasileira**., Brasília, v. 29, n. 2, 2004.

BOSSARDI, K.; BARREIROS, R. M. Produtos Naturais como Preservantes para Madeiras de Rápido Crescimento – Uma Revisão. **Ciência da Madeira** (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 02, n. 02, p. 109-118, 2011.

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

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potencial applications in foods - a review. **Int. J. Food Microbiol.**, v. 94, p. 223-253, 2004.

- CANILLAC, N.; MONREY, A. Sensitivity of *Listeria* to silver fir and maritime pine essential oils. **Sci. Aliments**, 14, 403-411, 1996.
- CARRASCO, E. V. M.; OLIVEIRA, A. L. C.; MANTILLA, J. N. R. Influência da temperatura na resistência e no módulo de elasticidade em madeira de híbridos de eucaliptos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 389-400, 2016.
- CASTRO, C.; SILVA, M. L.; PINHEIRO, A. L.; JACOVINE, L. A. G. Análise econômica do cultivo e extração do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Cheel. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 2, p. 241-249, 2005.
- CASTRO, D. P de. **Atividade Inseticida de óleo essencial de *Achillea millefolium* e *Thymus vulgaris* sobre *Spodoptera frugiperda* e *Schizaphis graminum***. Dissertação (Mestrado Agronomia) - Universidade Federal de Lavras. 2004.
- CASTRO, H. F. **Processos químicos Industriais II**. Lorena: Escola de Engenharia de Lorena. 2009. Disponível em: <<http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840556/434/apostila4papelecelulose.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2016.
- CELOTO, M. I. B. et al. Atividade antifúngica de extratos de plantas a *Colletotrichum gloeosporioides*. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 1, p. 1-5, 2008.
- COSTA, A. C. B. P da. et al. Atividade antifúngica do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* sobre leveduras isoladas de candidíase bucal de gestantes HIV positivas. **Rev Inst Adolfo Lutz**. São Paulo, v. 69 n. 3, p. 403-407. 2010.
- COX, S. D. et al. Determining the antimicrobial actions of tea tree oil. **Molecules**. v. 6, p. 87-91. 2001.
- COX, S. D. et al. The mode of antimicrobial action of the essential oil of *Melaleuca alternifolia* (tea tree oil). **J Appl Microbiol**. v. 88, p. 170-175. 2000.
- CRAVEIRO, A. A.; QUEIROZ, D. C. Óleos essenciais e química fina. **Química Nova**. v. 16, p. 224. 1993.
- CUNHA, J.; SOUZA JUNIOR, D. A. Avaliação estrutural de peças de madeira reforçadas por fibras de carbono. 2004. **Revista de Engenharia Civil**. Disponível em: <www.civil.uminho.pt/cec/revista/Num20/Pag%2071-81.pdf>. Acessado em 17/01/2017.
- CURY, G.; TOMAZELLO FILHO, M. Descrição Anatômica de Espécies de Madeira Utilizadas na Construção Civil. **Floresta e Ambiente**, v.18, n.3, p.227-236, 2011.
- EATON, R. A.; HALE, M. D. C. **Wood: Decay, pests and protection**. New York: Chapman & Hall. 1993.
- EMPRAPE. Cultivo de *Pinus*. **Sistemas de Produção**, v. 5. 2 ed, 2011. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 24 out. 2016.
- EN 350-1 (1994): **Durability of wood and wood-based products - Natural durability of solid wood** - Part 1: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood. CEN (European committee for standardization), Brussels. 1994.

ERIKSSON, K-EL.; BLANCHETTE, R.A.; ANDER, P. **Microbial and enzymatic degradation of wood and wood components**. Springer-Verlag, Berlin, 1990. Disponível em: <<http://www.springer.com/br/book/9783642466892>>. Acesso em: 25 jan. 2017.

ESPOSITO, E. et al. Phenoloxidasas and hidrolases from *Pycnoporus sanguineus* (EUC-2050 strain): applications. **Journal of Biotechnology**, v. 29, p. 219-228. 1993.

EVANS, J. L. W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, v.50, n.7/8, p.75-87, 2000.

FAYEMIWO, K. A. et al. Larvicidal efficacies and chemical composition of essential oils of *Pinus sylvestris* and *Syzygium aromaticum* against mosquitoes. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 4, n. 1, p. 30-34, 2014.

FENG, W.; ZHENG, X. Essential oils to control *Alternaria alternata* in vitro and in vivo. **Food Control**, 18: 1126-1130, 2007.

FENGEL, D.; WEGENER, O. **Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions**. New York: Walter de Gruyter, Berlin, 1989.

GARCIA, T. A. **Purificação e caracterização das lacases de *Pycnoporus sanguineus***. 126p. Tese (Doutorado em Biologia Molecular) - Universidade de Brasília, Brasília, Brasil. 2006.

GOKTAS, O. et al. A research on the usage of extracts from a poisonous plant (*Ornithogalum alpigenum* Spapf) as a wood preservative. Abstracts / **Journal of Biotechnology**, n. 136S, p. S672, 2008.

GOMES, A. F. **Avaliação das características da madeira e da polpa de *Eucalyptus* mediante aos métodos não destrutivos na árvore viva**. 2007. p. 141. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras 2007. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/handle/1/2275?mode=full>>. Acesso em: 06 nov. 2016.

GOMES, J. I.; FERREIRA, G. C. **Durabilidade natural de quatro madeiras amazônicas em contato com o solo**. (Comunicado Técnico v. 66). Belém: Embrapa Amazônia Oriental, p. 6. 2002.

GONZAGA, A. L. **Madeira: uso e conservação**. Brasília, DF: IPHAN / MONUMENTA. 246 p., 2006.

HAMMER, K. A.; CARSON, C. F.; RILEY, T. V. Antifungal effects of *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil and its components on *Candida albicans*, *Candida glabrata* and *Saccharomyces cerevisiae*. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, n. 53, p. 1081-1085. 2004.

HAMMER, K. A.; CARSON, C. F.; RILEY, T. V. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. **Journal of Applied Microbiology**, n. 86, p. 985-990, 1999.

HELLMEISTER, J. C. **Sobre a determinação das características físicas da madeira**. São Carlos, 119 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1982.

HILL, C. A. S. **Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes**. 1st. Chichester: John Wiley & Sons, p. 260, 2006. Disponível em: <<http://www.amazon.ca/dp/0470021721>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

IBRAHIM, M. A. et al. Inseticidal, repellent, antimicrobial activity and phytotoxicity of essential oils: with special reference to limonene and its suitability for control of insect pests. **Agricultural and Food Science in Finland**, v.10, p. 243-259, 2001.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 4730: **Oil of *Melaleuca*, terpinen-4-ol type (tea tree oil)**. Geneva, Switzerland: ISO, 1996.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9235: **Aromatic natural raw materials** – Vocabulary. Genebra, 8p. 1997.

KEREM, Z.; JENSEN, K. A.; HAMMEL, K. E. Biodegradative mechanism of the brown rot basidiomycete *Gloeophyllum trabeum*: evidence for an extracellular hydroquinone driven fenton reaction. **Federation of European Biochemical Societies Letters**. v.446, n.1, p.49-54. 1999.

KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. 2005. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/quimicadamadeira.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2017.

KNAAK, N.; FIUZA, L. M. Potencial of essential plant oils to control insects and microorganisms. **Neotropical Biology and Conservation**, v.5, n. 2, p. 120-132, 2010.

KRAUZE-BARANOWSK, M. et al. Antifungal activity of the essential oils from some species of the genus *Pinus*. **Verlag der Zeitschrift für Naturforschung**. p. 478-482, 2002.

LEE, Y. S. et al. Antifungal activity of Myrtaceae essential oils and their components against three phytopathogenic fungi. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 23, p. 23-28, 2008.

LEPAGE, E. S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, v. 2, 1986.

LIS-BALCHIN, M.; DEANS, S. G.; EAGLESHAM, E. Relationship between bioactivity and chemical composition of commercial essential oils. **Flavour Fragr. J.** v.13, p. 98-104, 1998.

LOBÃO, M. S. et al. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.889-894, 2004.

MACHADO, G. O. et al. Preservante natural de madeira para uso na construção civil – óleo de neem. **Minerva**, v. 3, n.1, p. 1-8, 2006.

MAGATON, A. S. Composição química da madeira de espécies de eucalipto. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 29. São Paulo. **Anais...** São Paulo:SBQ, 2009. Disponível em: <<http://sec.s bq.org.br/cd29ra/Resumos/T1908-1.pdf>>. Acesso em: 6 jan. 2017.

MARTÍNEZ, A. T. et al. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical and enzymatic aspects of fungal attack to lignin. **International Microbiology**, v. 8, n. 3, p. 195-204. 2005.

MELCHIORETTO, D.; ELEOTÉRIO, J. R. Caracterização, classificação e comparação da madeira de *Pinus patula*, *P. elliottii* e *P. taeda* através de suas propriedades físicas e mecânicas. In: Congresso regional de iniciação científica e tecnológica, 2003, Blumenau. **Anais...** Blumenau: FURB, 2003.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. S. **A degradação da madeira e sua preservação**. Brasília: IBDF/LPF, p. 57. 1988.

MIALHE, L. G. **Máquinas Agrícolas: Ensaio & Certificação**. Fundação de Estudos agrários Luiz de Queiroz- CNPQ- PADCT / TIB-FEALQ, 1996.

MISSIO, A. L. **Propriedades tecnológicas da madeira de *Eucalyptus* submetida a tratamentos de congelamento e termorreificação**. 2014. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2014.

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

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* Parte I – Estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n. 3, p. 461-470, 2005.

MORESCHI, J. C. **Biodegradação e preservação da madeira – Biodegradação da madeira**. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, v. 1, n. 4, 2013.

NASCIMENTO, P. F. C. et al. Atividade antimicrobiana dos óleos essenciais: uma abordagem multifatorial dos métodos. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 17, n. 1, 108-113. 2007.

OLIVEIRA F. F., **Caracterização físico-química de amostras de óleo de pinho e estudo da ação de sistemas tensoativos na atividade antimicrobiana de ativos fenólicos**. Tese (Doutorado em Química) – Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2008.

OLIVEIRA F., AKISUE G., **Fundamentos de Farmacobotânica**, 2ª Edição, Editora Atheneu, São Paulo – SP, 2005.

OLIVEIRA, A. M. F. et al. Agentes destruidores da madeira. In: Lepage ES, (Coord.). **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, v. 1, p. 99-279. 1986.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. São Paulo, 1997. 429 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 1997.

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

OLIVEIRA, R. M. **Utilização de técnicas de caracterização de superfícies de madeiras tratadas termicamente**. 2009. 118p. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2009.

ONAYADE, O. A. et al. Lavender lactone and other volatile constituents of the oleoresin from seeds of *Garcinia kola* heckle. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 13, n. 6, p. 409-412, 1998.

PAES, J. B. et al. Eficiência dos óleos de nim e mamona contra cupins xilófagos em ensaio de alimentação forçada. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 105-113, 2010.

PAES, J. B.; DE MELO, R. R.; DE LIMA, C. R. Resistência natural de sete madeiras a fungos e cupins xilófagos em condições de laboratório. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 232-238, 2006.

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

PAES, J. B.; MORESCHI, J. C.; J. G. LELLES. Avaliação do tratamento preservativo de moirões de *Eucalyptus viminalis* Lab. e de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) pelo método de substituição de seiva. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 1, p. 75-86. 2005.

PAPADOPOULOS, C. J. et al. Susceptibility of pseudomonads to *Melaleuca alternifolia* (tea tree) oil and components. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**. n. 58, p. 449-451. 2006.

PASTORE, T. C. M. **Estudos do efeito da radiação ultravioleta em madeiras por espectroscopias raman (ft-raman), de refletância difusa no infravermelho (drift) e no visível (cie-l*a*b*)**. 2004. 131 f. Tese (Doutorado em Química) - Universidade de Brasília, Brasília, 2004.

PENEDO, W. R. **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte. Fundação CETEC, 1980.

PETTERSEN R. C. **Chemical composition of wood**. In: Rowell R, editor. *The chemistry of solid wood*. Washington: American Chemical Society; 1984. p. 54-126. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/ba-1984-0207.ch002>>. Acesso em: 06 jan. 2017.

PHILLIP, P.; D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e Papel** - Tecnologia de Fabricação de Pasta Celulósica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – Centro Técnico em celulose e papel. v. 1. n. 2. São Paulo. 1988.

PINTO, F. F. **Degradação de madeiras por fungos: aspectos biotecnológicos e de Biorremediação**. 2006. 46 f. Monografia (Especialização em Microbiologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2006. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS9RPGD5/monografia___fagner.pdf?sequence=1>. Acesso em: 05 fev. 2017.

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

PORTO, A. L. G. **Questões de preservação: a madeira como estudo de caso**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil. 2010.

RAYNER, A.D.M.; BODDY, L. Fungal decomposition of woods: its biology and ecology. **Chichester**: John Willey. 1988.

REMADE - Revista da Madeira. Tecnologia amplia possibilidades de usos. **Revista da madeira**, Curitiba, PR, n. 109, dez, 2007. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1187&subject=Pr eservantes&title=Tecnologia>. Acesso em: 22 jan. 2017.

REZNICEK, G.; ZITTERL-EGLESEER, K. Quantitative determination of the faradiol esters in marigold flowers and extracts. **Scientia Pharmaceutica**, v. 71, p. 121-128, 2003.

ROBBERS J.E.; SPEEDIE, M. K. **Farmacognosia e Farmacobiotechnologia**, Editorial Premier, São Paulo – SP, 1997.

ROWELL, R. M. et al. **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. Capítulo 03: Cell Wall Chemistry. New York: Taylor & Francis Group, 2005.

SAAD, N. Y.; MULLER, C. D.; LOBSTEIN, A. Major bioactivities and mechanism of action of essential oils and their components. **Flavour Frag. J.**, v. 28, p. 269-279, 2013.

SALVI, M. B. **Fungos basidiomicetos em biorremediação**. São Paulo: Instituto de Botânica de São Paulo, Curso de Capacitação de Monitores e Educadores. 2011. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/pgibt/files/2013/04/Fungos_basidio micetos_em_biorremediacao_Marina_Bianchini.pdf> Acesso em: 2 dez. 2016.

SANTANA, W. M. S. et al. Effect of age and diameter class on the properties of wood 1 from clonal Eucalyptus. **Cerne**. Lavras, v. 18, n. 1, p.1-8, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cerne/v18n1/01.pdf>>. Acesso em: 5 dez. 2016.

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

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. Dissertação de mestrado. Publicação EFL 091/2008.

SANTOS, Z. M. **Avaliação da durabilidade natural da madeira de Eucalyptus grandis W. Hill: Maiden em ensaios de laboratório**. 1992. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 1992.

SATTOLO, N. M. S.; BRITTO, D. de; ASSIS, O. B. G. Quitosana como fungicida em madeiras Pinus sp. empregadas na confecção de caixas “K”. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 2, p. 128-132, 2010.

SBEGHEN, A. C. **Potencialidades de utilização de óleos essenciais de plantas aromáticas para controle de *Cryptotermes brevis***. 2001. 80 f. Dissertação

(Mestrado em Biotecnologia) – Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, RS 2001.

SGAI, R. D. **Fatores que afetam o tratamento para preservação de madeiras**, 2000. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

SHIMOYAMA, V. R; BARRICHELO, L. E. G. Influência de características anatômicas e químicas sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus* spp. In: Congresso anual de celulose e papel, 24, São Paulo, 1991. **Anais...** São Paulo: ABTCP, 1991.

SIAU, J. F. **Transport processes in wood**. Berlin: Springer-Verlag, 1984.

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

SILVA-SANTOS, A. et al. A participação da indústria óleo-citrícola na balança comercial brasileira. **Rev. Bras. Plantas Med.** v. 8, n. 4. p. 8-13. 2006.

SILVÉRIO, F. O. et al. Metodologia de extração e determinação do teor de extrativos em madeiras de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 6, p. 1009-1016, 2006.

SINGH, T.; VESENTINI, D.; SINGH, A. P.; DANIEL, G. Effect of chitosan on physiological, morphological, and ultrastructural characteristics of wood-degrading fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**, n. 62, p. 116-124, 2008.

SJÖSTRÖM E. *Wood chemistry: fundamentals and applications*. 2nd ed. New York: Academic Press; p. 293, 1993.

STANGARLIN, J. R. et al. Plantas medicinais e controle alternativo de fitopatógenos. **Biotecnolog. Ciênc. Desenvolv.**, v. 2, p. 16-21, 1999.

STANGERLIN, D. M. et al. Monitoramento da Biodeterioração da Madeira de Três Espécies Amazônicas pela Técnica da Colorimetria. **Acta Amazonica**, v. 43, n. 4, p. 429-438, 2013.

STANGERLIN, D. M. **Monitoramento de Propriedades de Madeiras da Amazônia Submetidas ao Ataque de Fungos Apodrecedores**. 2012. 259 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

TEIXEIRA, D. E.; da COSTA, A. F; SANTANA, M. A. E. Aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar: resistência natural ao ataque de fungos apodrecedores. **Scientia Forestalis**. v. 52, p. 29-34, 1997.

THACKER, J.R.M. et al. Field and laboratory studies on the effects of neem (*Azadirachta Indica*) oil on the feeding activity of the large pine weevil (*Hylobius Abietis* L.) and implications for pest control in commercial conifer plantations. **Crop Protection**, v. 22, n. 5, p. 753–760. 2003.

TREU, A.; LARNOY, E.; MILITZ, H. Leaching of new environmental friendly wood protection agents. In: BERGSTEDT, A. **Proceedings of the 5th meeting of the NordicBaltic Network in Wood Material Science and Engineering**. n. 43, p. 33-40. Copenhagen: Denmark, 2009.

TREVISAN, H. et al. Avaliação de propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais em função da deterioração em dois ambientes. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 31, n. 1, p. 93-101, 2007.

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

VIDAL, J. M. et al. Preservação de madeiras no Brasil: histórico, cenário atual e tendências. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 25, n. 1, p. 257-271. 2015.

VIDAURRE, G. et al. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 469-480, 2011.

VIEIRA, T. R. et al. Constituintes químicos de *Melaleuca alternifolia* (Myrtaceae). **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 4, 2004.

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

WAGNER H.; WISENAUER M. **Fitoterapia: Fitofármacos, Farmacologia e Aplicações Clínicas**. 2ª Edição, Pharmabooks Editora, São Paulo – SP, 2006.

WALKER C. F. J. **Primary Wood Processing**. Dordrecht, Springer: 602 p. 2006.

ZIGLIO, A.C. **Uso da capsaicina como preservante de madeiras ao ataque de fungo apodrecedor**. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil. 2010.

CAPITULO 2 - POTENCIALIDADE DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE *Pinus elliottii* E *Melaleuca alternifolia* SOBRE O DESENVOLVIMENTO MICELIAL DE FUNGO DA PODRIDÃO BRANCA

1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material de origem orgânica, sendo um recurso natural renovável. Por sua vez, a crescente escassez de madeiras nativas de alta durabilidade vai dispendendo a utilização de espécies exóticas. Estas possuem moderada ou nenhuma resistência, ficando suscetível, ao ataque dos organismos xilófagos (PAES et al., 2005). De acordo com BARILLARI (2002) quando a situação de uso da madeira envolve a possibilidade de ocorrer a degradação biológica, torna-se necessário o uso de espécies de alta durabilidade natural ou de baixa durabilidade submetidas a tratamentos preservantes.

A necessidade de aumentar a resistência da madeira, aos organismos deterioradores, a adoção de medidas preventivas, ou seja, tratamento utilizando preservantes químicos torna-se obrigatória, sendo então impregnados produtos tóxicos no interior do material (LEPAGE, 1986). Os preservantes de madeira tradicionais eficazes são à base de metais, como cobre, cromo, zinco, arsênio, boro e flúor, e de compostos como creosoto e aminas, apresentam elevado grau de toxicidade, oferecendo potenciais riscos de contaminação ao meio ambiente e problemas à saúde humana (BOSSARDI E BARREIROS, 2011; MACHADO et al., 2006).

Diferentes estudos vêm sendo empregados com objetivo de encontrar produtos eficazes, de baixa toxidez e com viabilidade econômica, para utilização em larga escala. E caso este se confirme é um ganho industrial, ambiental e social, devido à carência encontrada no mercado quando se procura produtos com baixa toxidez. Diante disso, faz-se necessário o desenvolvimento de alternativas para o controle dos agentes biológicos de deterioração da madeira. Sendo relevante ressaltar a utilização de preservantes naturais da madeira, identificados pelas gomas, resinas, extratos, óleos, etc, que podem apresentar importantes potenciais de aplicações. O objetivo deste estudo é verificar o potencial fungitóxico dos óleos essenciais de *Pinus elliottii* e *Melaleuca alternifolia* sobre o crescimento micelial do fungo apodrecedor *Trametes versicolor*. Afim de encontrar as concentrações mais adequadas para posterior tratamento de madeiras.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A colônia com fragmentos do fungo de podridão branca, *Trametes versicolor*, foi cedida pelo Laboratório (FPL - Madison e Forintek Canada Co.). 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).

O fungo foi repicado para placas de Petri contendo BDA, para conservação dos isolados em ambiente refrigerado a 10°C (SANTOS et al., 2009). O óleo essencial de *Pinus elliottii* e *Melaleuca alternifolia* foi fornecido pela a empresa QUINARÍ, situada no município de Ponta Grossa, PR.

2.1 PREPARO DA SOLUÇÃO

Cada experimento foi composto por cinco tratamentos, testemunha (T0) que foi tratada como referência e por quatro concentrações do produto e em seis repetições. Sendo as concentrações de óleo essencial de *Pinus elliottii*: 0,025%, 0,050%, 0,075%, 0,100% e as concentrações de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*: 0,020%, 0,040%, 0,060%, 0,080%, que foram individualmente incorporadas ao meio de cultura. No preparo das soluções foram utilizados meio de cultura BDA (batata-dextrose-ágar), óleo essencial, utilizando como solvente álcool 95% P.A., conforme Tabelas1 e Tabela 2.

Tabela 1 - Preparo das soluções com óleo essencial de *Pinus elliottii*.

Tratamentos	Concentrações (%)	Volume de BDA (ml)	Volume de álcool (µl)	Volume de óleo (µl)
T0	0,000	120	0	0
T1	0,025	120	120	30
T2	0,050	120	120	60
T3	0,075	120	120	90
T4	0,100	120	120	120

Tabela 2 - Preparo de soluções com óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*.

Concentrações (%)	Volume de BDA (ml)	Volume de álcool (µl)	Volume de óleo (µl)
0,000	125	0	0
0,020	125	125	25
0,040	125	125	50
0,060	125	125	75
0,080	125	125	100

Inicialmente, procedeu-se com o preparo de meio de cultura BDA em frascos de 250 ml com tampa e após autoclavagem o mesmo foi levado até a câmara de fluxo (Figura 1) para o preparo da mistura. O preparo das soluções foi realizado com o auxílio de pipeta de alta precisão adicionando, aos frascos com BDA, os respectivos volumes de etanol e óleo, após sendo vertidos em placas de Petri.

Figura 1 – Câmara de fluxo vertical



Fonte: Autora.

2.2 CONDUÇÃO DO ENSAIO EM MEIO DE CULTURA

A inoculação foi realizada com auxílio de tubos de ensaio de 8 mm de diâmetro (confeção de discos da colônia) e agulha. Esta auxiliou na transferência do disco para o centro de cada placa. Após a transferência da colônia, as placas foram vedadas com Parafilm®, evitando contaminação.

As placas foram levadas para BOD, onde ficaram incubadas em ambiente climatizado a 25°C, 75±5% de UR e fotoperíodo de 12 horas (VITTI, 1999). Onde permaneceram por aproximadamente 5 dias, quando o tratamento 0% (T0) completou a primeira placa.

As avaliações do experimento tiveram início 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 potencial fungitóxico do óleo essencial de *Pinus elliottii* foi observado através da avaliação do crescimento micelial do fungo *Trametes versicolor*, causador da podridão branca.

O índice de crescimento micelial ou taxa de crescimento foi calculado pela fórmula modificada de Nakagava Maguire, adaptada por Salgado et al. (2003), apresentada na Equação 1.

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

Onde:

ICM = índice de crescimento micelial.

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

N1, N2, Nn = número de dias.

2.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para análise estatística utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), sendo 5 doses e 6 repetições. As médias foram comparadas estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 POTENCIAL FUNGITÓXICO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Pinus Elliottii* SOBRE O CRESCIMENTO MICELIAL DO FUNGO APODRECEDOR *Trametes Versicolor*

Nos resultados do teste fungitóxico, a análise da variância (ANOVA) demonstra significância nos resultados (Tabela 1).

Tabela 1 – Resumo das análises de variância para a variável Índice de Crescimento Micelial (ICM) do teste fungitóxico do óleo essencial de *Pinus elliottii*, Santa Maria, RS, 2017.

Fontes de variação	GL	Quadrado Médio
		ICM
Tratamentos	4	6991,20**
Resíduo	25	86,48

**Significativo a 1 % de probabilidade de erro.

Diante do exposto, verificou-se que houve diferença significativa entre as concentrações utilizadas. Desta forma, deu-se continuidade a análise estatística pelo teste de Tukey a 5% de significância para análise das doses.

Na Tabela 2 está apresentada a avaliação dos tratamentos conforme os valores médios, para cada tratamento, do índice de crescimento micelial (ICM). Os resultados mostram que há uma redução gradativa no desenvolvimento do fungo a partir do aumento das doses. Nesta situação, quanto menor a média, maior é a taxa de inibição.

Tabela 2 - Valores médios para índice de crescimento micelial dos tratamentos.

Tratamentos	Concentrações (%)	ICM
T0	0,000	74 c
T1	0,025	56 b
T2	0,050	14 a
T3	0,075	0 a
T4	0,100	0 a

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

Sendo assim, podemos observar que houve diferença significativa entre os tratamentos. Onde as melhores concentrações encontradas, para inibição do crescimento fúngico, foram T2, T3 e T4, apresentando médias para ICM de 14, 0 e 0, respectivamente, não apresentando diferença significativa entre si. No qual a testemunha (T0) apresentou ICM de 74. O tratamento T1 embora diferindo estatisticamente de T0, apresenta um alto ICM.

Os valores de crescimento no tratamento que não continha o óleo essencial (testemunha) variaram de 72 a 75 mm, enquanto no tratamento onde foram adicionados 0,025% de óleo, o crescimento apresentado ficou entorno de 41 a 65 mm. Já para a dose de 0,050%, foi entre 9 e 18 mm e nas concentrações de 0,075% e 0,100% inibiu completamente o crescimento micelial do fungo.

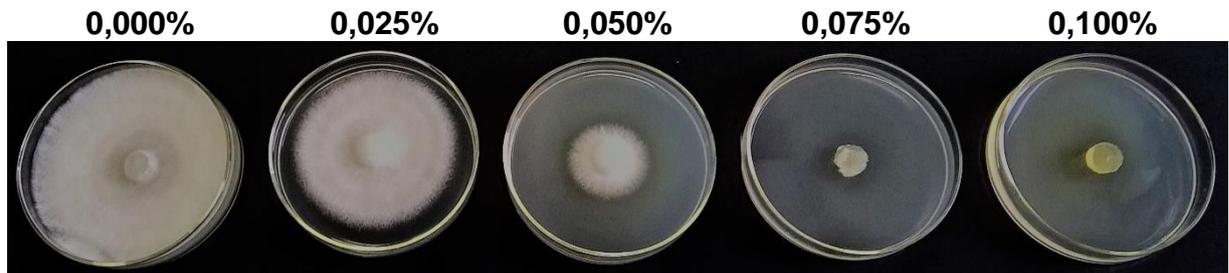
Observou-se que à medida em que foi aumentando a concentração de óleo essencial, houve aumento na inibição do crescimento micelial do fungo, diminuindo gradativamente os valores de ICM conforme o aumentava a concentração quando comparado à testemunha.

A média de crescimento no tratamento que não continha o óleo essencial (testemunha) foi de 74, enquanto no tratamento onde foram adicionados 0,025% de óleo, o crescimento apresentou média de 56. Já para a dose de 0,050%, o crescimento mostrou uma diminuição mais acentuada apresentando 14, e nas concentrações de 0,075% e 0,100% os valores médios apresentados foram igual a 0, apresentando inibição total do crescimento fúngico.

Estes resultados confirmam a potencialidade do óleo essencial de *Pinus elliotii*, pois o mesmo mostrou-se eficiente na inibição do crescimento micelial do fungo *Trametes versicolor*.

Na Figura 1, é possível observar visualmente o desenvolvimento do fungo nas diferentes concentrações de óleo essencial de *Pinus elliotii*. As concentrações estão dispostas da esquerda para direita, de maneira crescente, iniciando pela testemunha e seguida pelas concentrações 0,025; 0,050; 0,075 e 0,100%.

Figura 1 - Avaliação visual do crescimento micelial do fungo *Trametes versicolor*.



Fonte: Autora.

Foi visível o potencial tóxico do óleo essencial ao fungo causador da podridão branca, sendo que enquanto na testemunha o fungo preencheu completamente a placa em 5 dias, os tratamentos contendo o óleo essencial apresentaram crescimento reduzido, resultado observado desde a menor concentração (0,025%), tornando-se ainda mais expressivo com o aumento das concentrações.

Os óleos essenciais do gênero *Pinus* apresentam altos níveis de monoterpenos, caracterizando-os com várias atividades biológicas como ação antifúngica, antibacteriana e inseticida. Krauze-Baranowska et al. (2002), confirmaram a atividade antifúngica de óleos essenciais do gênero *Pinus*, contra *Fusarium spp.* Fayemiwo et al. (2014), tiveram resultados positivos testando o potencial larvicida de óleos essenciais de *Pinus sylvestris* e *Syzygium aromaticum* sobre as larvas de mosquitos *A. aegypti* e *C. quinquefasciatus*. Andrade (2012) afirma que resina e frações do *Pinus tropicalis* se apresentam promissores no desenvolvimento de produtos agrícolas que poderão ser utilizados como alternativa no controle de fungos fitopatógenos.

3.2 POTENCIAL FUNGITÓXICO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Melaleuca alternifolia* SOBRE O CRESCIMENTO MICELIAL DO FUNGO APODRECEDOR *Trametes Versicolor*

Nos resultados do teste fungitóxico, a análise da variância (ANOVA) demonstra significância nos resultados (Tabela 1).

Tabela 1 – Resumo das análises de variância para a variável Índice de Crescimento Micelial (ICM) do teste fungitóxico do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, Santa Maria, RS, 2017.

Fontes de variação	GL	Quadrado Médio
		ICM
Tratamentos	4	2843,87**
Resíduo	25	102,69

**Significativo a 1 % de probabilidade de erro.

Diante do exposto, verificou-se que houve diferença significativa entre as concentrações utilizadas. Desta forma, deu-se continuidade a análise estatística pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Na Tabela 2 está apresentada a avaliação dos tratamentos conforme os valores médios do índice de crescimento micelial (ICM), para cada tratamento. Os resultados mostram que há uma redução gradativa no desenvolvimento do fungo a medida que aumenta as doses. Nesta situação, quanto menor a média, maior é a taxa de inibição.

Tabela 2 - Valores médios para índice de crescimento micelial dos tratamentos.

Tratamentos	Concentrações (%)	ICM
T0	0	71,17 c
T1	0,020	64,17 cb
T2	0,040	53,33 b
T3	0,060	28,83 a
T4	0,080	21,50 a

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

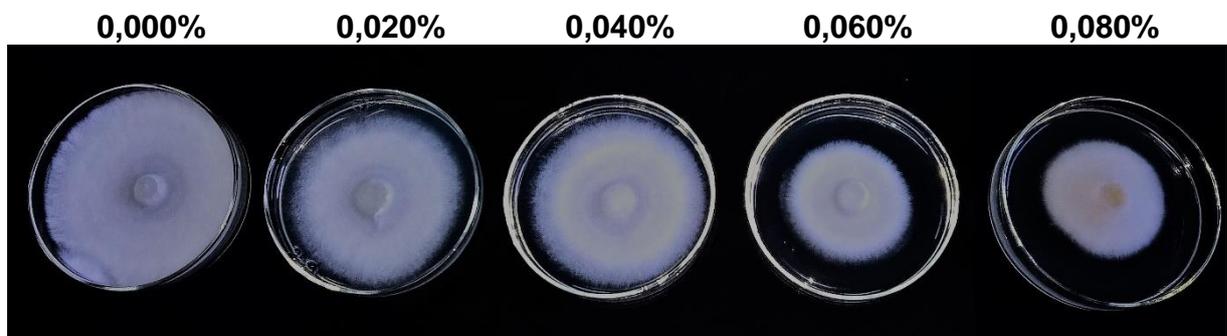
A Tabela 2 mostra que houve diferença significativa entre os tratamentos. Onde os melhores foram T3 e T4, apresentando médias para ICM de 28,83 e 21,50, respectivamente, e não diferem significativamente entre si. A testemunha (T0) apresentou ICM de 71,17. O tratamento T2 embora diferindo estatisticamente de T0, apresenta um alto ICM (53,33) e não diferindo de T1 e este por sua vez não difere de T0.

Os valores de crescimento no tratamento que não continha o óleo essencial (testemunha) variaram de 63 a 75 mm, enquanto no tratamento onde foram adicionados 0,020% de óleo, o crescimento apresentado ficou entorno de 60 a 67 mm. Já para a dose de 0,040%, foi entre 33 e 72 mm e nas concentrações de 0,060% e 0,080% o crescimento teve uma diminuição mais acentuada, os valores apresentados foram entre 10 e 55 mm e 18 e 26 mm, respectivamente.

Observou-se que à medida em que foi aumentando a concentração de óleo essencial, houve aumento da inibição do crescimento micelial do fungo, diminuindo gradativamente os valores de ICM conforme o aumentava a concentração, quando comparado à testemunha. Estes resultados confirmam a potencialidade do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, pois o mesmo mostrou que apresenta algum grau de inibição ao crescimento micelial do fungo *Trametes versicolor*.

Na Figura 1 é possível observar visualmente o desenvolvimento do fungo nas diferentes concentrações de óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*. As concentrações estão dispostas da esquerda para direita, de maneira crescente, iniciando pela testemunha e seguida pelas concentrações 0,020; 0,040; 0,060 e 0,080%.

Figura 1 - Avaliação visual do crescimento micelial do fungo *Trametes versicolor*.



Fonte: Autora.

É visível que há um grau de toxidez do óleo essencial ao fungo causador da podridão branca, sendo que enquanto na testemunha o fungo preencheu completamente a placa em 5 dias, os tratamentos contendo o óleo essencial apresentaram crescimento reduzido, resultado observado desde a menor concentração (0,020%), tornando-se ainda mais significativo com o aumento das mesmas.

4 CONCLUSÕES

O óleo essencial de *Pinus elliottii* apresentou toxidez ao fungo *Trametes versicolor*.

A eficiência obtida com o uso de baixas concentrações evidencia o potencial fungitóxico e econômico do emprego do produto nos testes de tratamento de madeiras.

O óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* apresenta toxidez ao fungo *Trametes versicolor* pois, à medida que se aumentou a concentração do óleo menor era o ICM.

Embora as concentrações de 0,060% e 0,080% tenham inibido parcialmente o desenvolvimento fúngico, recomenda-se realizar novos estudos testando concentrações maiores do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFENAS, A. C.; MAFIA, R. G. **Métodos em fitopatologia**. Ed. UFV - Viçosa. 382 p. 2007.

ANDRADE, G. **Ação antifúngica *in vitro* da resina e frações do *Pinus tropicalis* frente à fitopatógenos**. 18 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Biomedicina) – Universidade de Franca, Franca, 2012.

BARILLARI, C. T. **Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* tratada com preservantes: avaliação em campo de apodrecimento**. 2002. 68 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

BOSSARDI, K.; BARREIROS, R. M. Produtos Naturais como Preservante para Madeiras de Rápido Crescimento – Uma Revisão. **Ciência da Madeira** (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas, v. 02, n. 02, p. 109-118, Novembro de 2011.

FAYEMIWO, K. A. et al. Larvicidal efficacies and chemical composition of essential oils of *Pinus sylvestris* and *Syzygium aromaticum* against mosquitoes. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, 4(1): 30-34, 2014.

KRAUZE-BARANOWSK, M. et al. Antifungal activity of the essential oils from some species of the genus *Pinus*. **Verlag der Zeitschrift für Naturforschung**. p. 478-482, 2002.

LEPAGE, E. S. **Manual de preservação de madeiras**. São Paulo: IPT, 2 v, 1986.
PAES, J. B.; MORAIS, V. M.; LIMA, C. R. Resistência natural de nove madeiras do semi-árido brasileiro a fungos causadores da podridão-mole. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 365-371, 2005.

SALGADO, A. P. S. P. et al. Avaliação da atividade fungitóxica de óleos essenciais de folhas de *Eucalyptus* sobre *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea* e *Bipolaris sorokiniana*. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27, p. 249-254. 2003.

SANTOS, F. J. et al. **Protocolo para produção massal de fungos entomopatogênico**. Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Boletim de pesquisa e desenvolvimento 43. (2009). Disponível em: http://www.cpatc.embrapa.br/publicacoes_2009/bp_43.pdf. Acesso em: 10 nov. 2016.

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

CAPÍTULO 3 - POTENCIALIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL DE *Pinus elliottii* COMO PRESERVANTE NATURAL DA MADEIRA CONTRA A AÇÃO DE FUNGO DE PODRIDÃO BRANCA

1 INTRODUÇÃO

A alta toxidez dos preservantes químicos da madeira tem levado a grandes discussões, seja por questões ambientais quanto pela saúde humana. Sabe-se que a manipulação e uso dessas substâncias de forma inadequada podem ocasionar riscos ao meio ambiente e ao homem. Nesse contexto, estudos estão sendo realizados na busca de produtos alternativos, que sejam eficazes na biodeterioração e viáveis economicamente.

A biodegradação dos materiais lignocelulósicos tem sido objeto de muitos estudos, pois, além de corresponder a uma importante etapa do ciclo do carbono na natureza, também pode ser aplicada em processos tecnológicos (AGUIAR e FERRAZ, 2011). Problemas decorrentes da biodeterioração da madeira podem assumir severas proporções e a adoção de medidas preventivas torna-se obrigatória para aumentar a resistência aos organismos xilófagos e a vida útil da madeira (MACHADO et al., 2006).

Os fungos apodrecedores pertencentes a classe dos Basidiomicetos são os principais causadores de danos em materiais lignocelulósicos. Dentre esses, os de podridão parda e de podridão branca são os mais agressivos, (KELLEY et al., 2002; MARTINEZ et al., 2005). Os de podridão branca são caracterizados pela sua capacidade de degradar a lignina, hemiceluloses e celulose, decompondo, proporcionalmente, tanto os polissacarídeos quanto a lignina (COSTA, 2009; MARTINEZ et al., 2005). O fungo apodrecedor *Trametes versicolor*, causador da podridão branca, é um dos mais comuns que deterioram a madeira (COSTA, 2009).

Em relação aos produtos utilizados na preservação da madeira, levando-se em consideração o meio ambiente e a saúde humana, há a necessidade de diminuir a utilização dos preservativos tradicionais, a base de metais como cobre, cromo, zinco, arsênio, boro e flúor e de compostos como creosoto e aminas (BOSSARDI e BARREIROS, 2011; MACHADO et al., 2006). Estas formulações, além de apresentarem relativa toxicidade, podem trazer problemas de contaminação do meio ambiente e, no tratamento de resíduos após seu uso (BECKER et al., 2001; REMADE, 2006).

De acordo com Bossardi e Barreiros (2011, p. 110) “as pesquisas por alternativas abrangem desde substâncias de origem natural, que são tóxicas aos organismos xilófagos, até sistemas que inibem um dos fatores: água, oxigênio ou nutrientes, que favorecem o desenvolvimento destes organismos”. Conforme Farias et al. (2016), uma das plantas utilizadas como fitoterápico é o *Pinus elliotii*. O óleo essencial do gênero *Pinus*, apresenta várias atividades biológicas e que já foram estudadas como: ação inseticida, ação antifúngica e antibacteriana. No entanto, A ação dos óleos essenciais de *Pinus* contra fungos apodrecedores de madeira ainda não foi investigada.

Dessa forma, a presente pesquisa teve como objetivo estudar a potencialidade do óleo essencial de *Pinus elliotii* como preservante natural da madeira contra a ação do fungo de podridão branca *Trametes versicolor*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho, foram utilizadas amostras de madeiras do gênero *Pinus sp.* nas dimensões (5,0 x 3,0 x 1,0) cm³ adaptadas das EN – Norma Europeia (1979). Para o tratamento preservante das amostras, foram utilizadas duas concentrações de óleo essencial de *Pinus elliotii*, as quais foram comprovadas previamente seu potencial antifúngico. Dentre as espécies de fungos mais utilizadas na literatura e que foram escolhidas aqui para ensaios de apodrecimento, optou-se pela espécie *Trametes versicolor* (Linnaeus ex Fries) Pilat, espécie causadora de podridão branca.

2.1 CONDUÇÃO DO ENSAIO

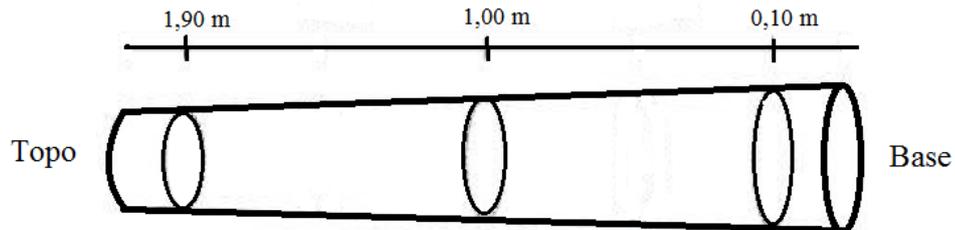
2.1.1 Preparo do material

O material utilizado como matéria prima foi coletado de plantios homogêneos de *Pinus sp.*. A seleção das árvores baseou-se no diâmetro 15 cm, retilinidade e aparência saudável do seu fuste. Após a realização de um levantamento no povoamento selecionado, foram abatidas quatro árvores do plantio.

Após o abate, as árvores foram seccionadas em toras de 2,0 m de comprimento, sendo selecionadas para o estudo as duas primeiras toras

imediatamente após a base da árvore. Posteriormente, foram retirados três discos ao longo do comprimento das peças, destinados à confecção dos corpos de prova, conforme metodologia mostrada na Figura 1.

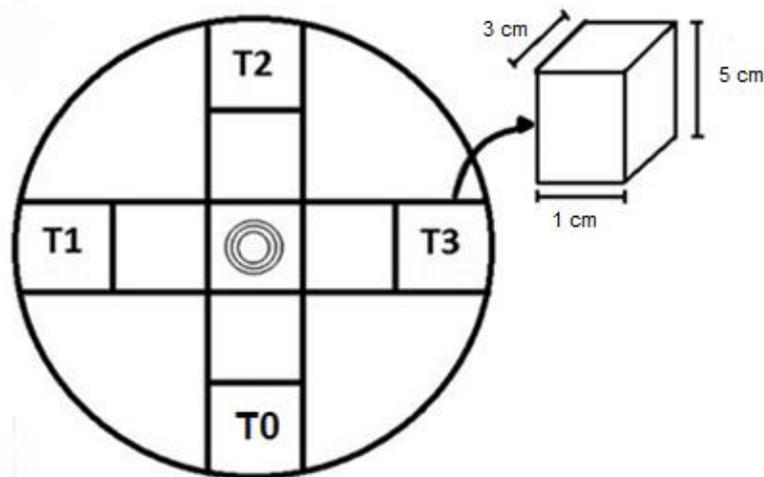
Figura 1 - Amostragem da peça através de discos cortados da tora.



Fonte: SILVEIRA (2015).

Os discos foram transportados para uma serraria, onde ocorreu a confecção dos corpos de prova. A amostragem dos mesmos é apresentada na Figura 2, e os corpos de prova foram dimensionados em conformidade com ASTM 2017 (1994).

Figura 2 - Metodologia para obtenção dos corpos de prova utilizados no estudo.



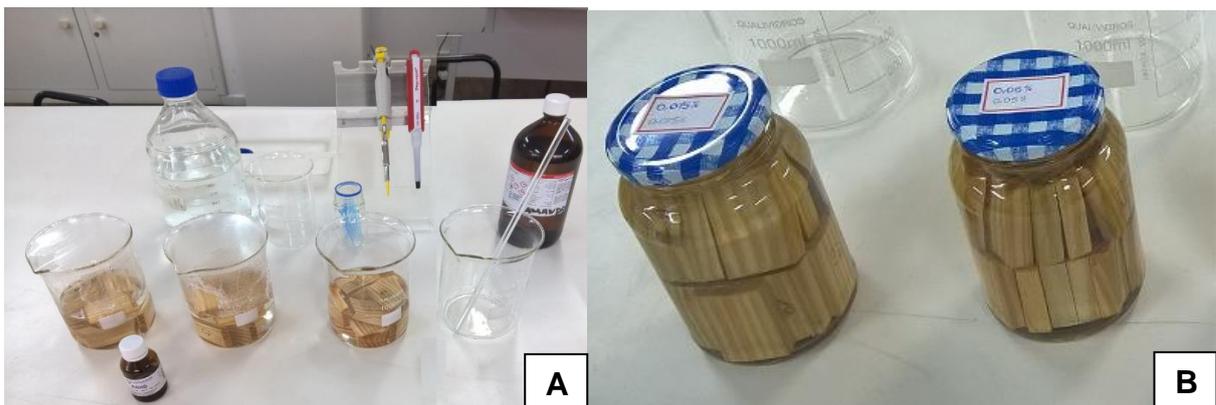
Fonte: ASTM 2017 (1994) – Adaptado.

T0 = Testemunha superior, sem tratamento e sem contato com o fungo; T1 = Testemunha inferior, sem tratamento em contato com o fungo; T2 = tratamento com óleo essencial 0,050%; T3 = tratamento com óleo essencial 0,075%.

De um total de 8 toras foram originados 24 discos. Destes, foram confeccionados 96 corpos de prova, sendo 20 destinados ao tratamento preservativo com óleo essencial de *Pinus elliottii* (nas concentrações 0,050% e 0,075%), 10 para a posterior avaliação da resistência natural da madeira não recebendo nenhum tratamento (Testemunha inferior). Do restante, foram selecionadas 10 amostras para as avaliações, chamadas de amostra controle (Testemunha superior), que não passaram pela exposição ao fungo, e o restante permaneceram reservados caso houvesse necessidade de reposição ou mesmo repetição do ensaio. O material foi acondicionado em câmara climatizada até a estabilização.

Após serem lixados, selecionados e climatizados, os corpos de prova foram pesados e suas massas específicas foram obtidas. Posteriormente realizou-se os tratamentos com solução de óleo essencial T2 (concentração de 0,050%) e T3 (concentração de 0,075%) passaram por tratamento preservativo pelo método de imersão (Figura 3), os mesmos permaneceram imersos na solução por 7 dias, após foram deixadas por 12 h em uma câmara climatizada para uma secagem rápida. No T0 (Testemunha superior) e T1 (Testemunha inferior), não houve a realização de tratamento preservativo, pois, no primeiro busca-se saber as propriedades da madeira não exposta ao apodrecimento e no segundo a resistência natural da madeira.

Figura 3 - Preparo da solução e imersão dos corpos de prova.



Sendo: A – Demonstração do preparo da solução. B – Frascos onde os corpos de prova permaneceram imersos na solução de óleo essencial.

Fonte: Autora.

2.1.2 Ensaio de laboratório

O ensaio de laboratório foi composto de três tratamentos (T1, T2, T3), utilizando 15 placas de Petri de 150 x 20 mm. As placas foram preenchidas com 50 ml de meio de cultura BDA, após solidificação do meio, foram colocados 2 discos de aproximadamente 8 mm da colônia do fungo *Trametes versicolor* em cada placa, e em cima de cada disco da colônia, foi adicionado um corpos de prova de *Pinus* sp., com seus respectivos tratamentos conforme Figura 4.

Figura 4 – Condução do experimento em ambiente esterilizado (Câmara de Fluxo).



Fonte: Autora.

As placas foram vedadas com Parafilm® e armazenadas em sala climatizada por 16 semanas. Passadas 16 semanas as amostras de madeiras foram esterilizadas em autoclave a 121 °C por 15 min., e os fungos foram removidos da

superfície das amostras com o auxílio de um pincel. Após secagem as mesmas foram pesadas e os seus valores anotados para afim de verificar a perda de massa do material.

2.2 ANÁLISE DOS COMPONENTES QUÍMICOS DA MADEIRA

Primeiramente foram analisadas as amostras que não passaram pelo ensaio de laboratório, verificando os extrativos totais e os teores de lignina, celulose e hemicelulose das amostras. Estes valores, posteriormente serviram como base de comparação com os resultados obtidos das amostras atacadas pelo fungo da podridão branca.

De acordo com a Norma TAPPI 257, foram utilizadas amostras de serragem classificadas em 40 mesh, cuja umidade foi determinada de acordo com a Norma TAPPI 264 om-88, em triplicata.

2.2.1 Determinação do teor de extrativos totais – TAPPI T264 cm-97 – Adaptada

Para a quantificação dos extrativos foi utilizado aproximadamente $2,0 \pm 0,1$ g da amostra de madeira absolutamente seca (a.s), que foram colocadas em cartucho de papel filtro, e posteriormente inseridas no extrator soxhlet (Figura 5) com o auxílio de uma pinça. A primeira extração foi feita com uma mistura, de 170 mL, de álcool etílico absoluto ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) – Toluol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3$) na proporção 1:2, com duração de 7 horas, contadas a partir do primeiro refluxo do solvente.

A segunda extração foi realizada utilizando-se apenas o álcool etílico absoluto ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) como solvente e, com duração de 5 horas, contadas a partir do primeiro refluxo. Após o resfriamento, as amostras foram lavadas e filtradas com auxílio de um funil anexado ao kitassato e à bomba de vácuo. As amostras uma vez livres de extrativos foram colocadas em estufa a $105,0 \pm 2,0^\circ\text{C}$ até obterem massa constante, para então serem pesadas.

Figura 5 – Determinação de extrativos totais através do Soxhlet.



Fonte: Autora.

O teor de extrativos da amostra é então definido, em porcentagem, pela Equação 1.

$$TE\% = [(P1 - P2)/P1]*100 \quad (1)$$

Onde:

TE% - Teor de extrativos (%);

P1 – Peso inicial da amostra (g);

P2 – Peso da amostra livre de extrativos (g).

2.2.2 Determinação da Lignina Klason – Norma TAPPI T22 om-98

Com as amostras já transformadas em serragem, pesou-se aproximadamente 1 grama de madeira livre de extrativos e absolutamente seca. A determinação da lignina, consiste na remoção da Holocelulose, para isso foi preciso hidrolisar os carboidratos da amostra por ácido sulfúrico (H₂SO₄) a 72% (v/v). Inicialmente preparou-se o banho-maria a uma temperatura de 20° C., as amostras já pesadas foram transferidas para os béqueres de 600 mL, acondicionando-os em banho-maria. Lentamente e sob agitação, adicionou-se 15 mL de H₂SO₄. Decorrido o período de duas horas, acrescentou-se 560 mL de água deionizada a mistura e ferveu-se por quatro horas. Transcorrido o tempo de fervura, filtrou-se as amostras em cadinho filtrante, de porosidade 2, com auxílio de bomba de vácuo. Após filtradas, as amostras foram levadas para estufa a 105° C onde permaneceram até a secagem e seus pesos foram determinados.

Para o cálculo do teor de lignina (%) foi utilizada a Equação 2:

$$\%L = (P1/P2) * 100 \quad (2)$$

Onde:

%L - Teor de lignina (%);

P1 - Peso do resíduo, em gramas;

P2 - Peso inicial da amostra (a.s), livre de extrativos, em gramas.

Como o cálculo leva em consideração a madeira livre de extrativos como sendo 100%, deve-se corrigir o valor calculado, diminuindo o valor encontrado para os extrativos (TE%) do total de 100%, sendo a correção definida pela Equação 3:

$$\%L_{cor} = [(P1/P2) * (100 - TE\%)] \quad (3)$$

Onde:

%L_{cor} – Teor de lignina corrigida (%);

P1 - Peso do resíduo, em gramas;

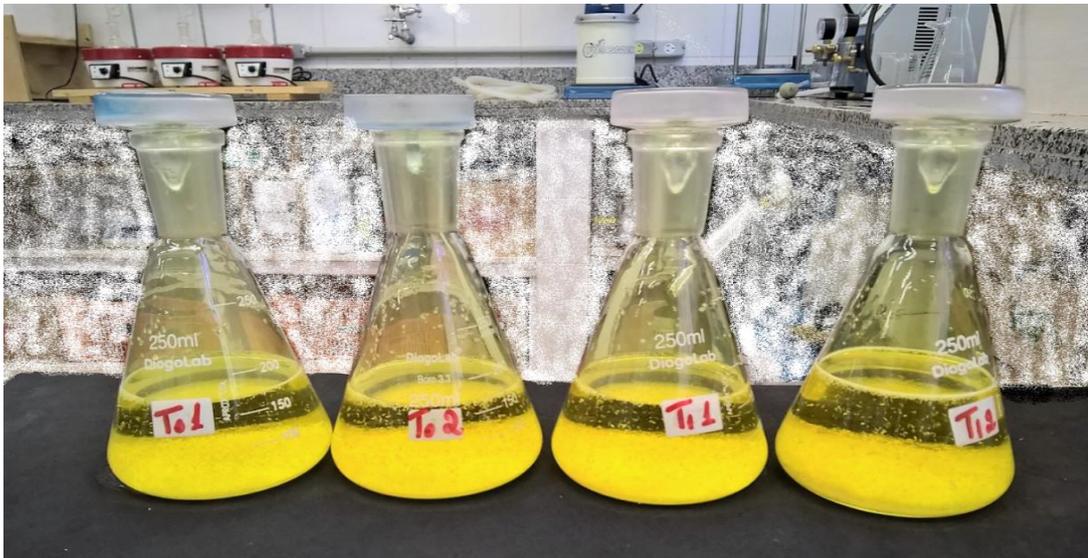
P2 - Peso inicial da amostra (a.s), livre de extrativos, em gramas.

TE% - Teor de extrativos da amostra (%).

2.2.3 Determinação do teor de holocelulose - Metodologia LCP Viçosa - Adaptada

A metodologia consiste na deslignificação da amostra, em meio ácido (Figura 6). Para execução do procedimento, inicialmente, pesou-se aproximadamente 2 gramas de madeira na forma de serragem, livre de extrativos e absolutamente seca, e transferiu-se para um erlenmeyer de 250 mL, separadamente, pesou-se nos béqueres de 50 mL, 2 g de clorito de sódio (NaClO_2) e 4 g de acetato de sódio (CH_3COONa).

Figura 6 - Holocelulose antes da filtragem



Fonte: Autora.

Em capela de exaustão, ligou-se o banho-maria à 70° C., com os erlenmeyer acondicionado, inicialmente adicionou-se as 2 g de clorito de sódio, 4 g de acetato de sódio, 4 mL de ácido acético glacial (CH_3COOH) e 80 mL de água deionizada, em seguida tampou-se os erlenmeyer com balão volumétrico de 100 mL invertido. Após duas horas, repetiu-se a adição dos produtos.

Passadas quatro horas os recipientes foram transferidos para banho-maria de gelo, para resfriar a reação. Na sequência as amostras foram filtradas em cadinho filtrante, de porosidade 2, com o auxílio de bomba de vácuo e lavadas com 1000 mL de água deionizada. Posteriormente, foram mantidas em estufa a 70° C até a secagem, para posterior pesagem.

O conteúdo de holocelulose da amostra foi definido em percentagem com o emprego da Equação 4:

$$H = (Ph/P) * 100 \quad (4)$$

Onde:

H – Teor de holocelulose da amostra, em %;

Ph - Peso da holocelulose, em gramas;

P – Peso inicial da amostra (a.s), livre de extrativos, em gramas.

Assim como a lignina, a holocelulose foi corrigida, sendo que a correção é definida pela Equação 5.

$$H_{cor} = \%H * (100 - TE\%) \quad (5)$$

Onde:

H_{cor} – Teor de holocelulose corrigido (%);

%H – Teor de holocelulose, em gramas;

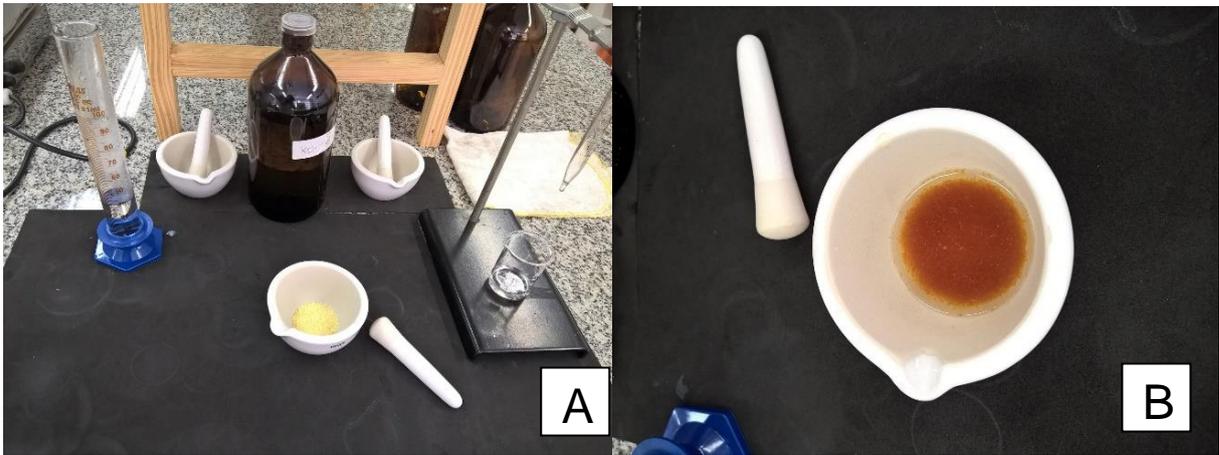
TE – Teor de extrativos da amostra (%).

2.2.4 Determinação do teor de alfa-celulose – Norma TAPPI T203 cm-99

Nessa situação trabalhou-se com a holocelulose, ou seja, utilizou-se serragem livre de extrativos e deslignificada. Inicialmente, pesou-se um grama de holocelulose a.s. e transferiu-se para o almofariz (Figura 7A), adicionou-se 15 mL de uma solução de KOH 17,5% (Figura 7B), deixando reagir por dois minutos.

Posteriormente, triturou-se o material com o pistilo por mais oito minutos e então adicionou-se 40 mL de água deionizada, transferindo-se para os cadinhos filtrantes. A solução foi filtrada à vácuo e lavada com 1000 mL de água deionizada. Em seguida os cadinhos filtrantes, com as amostras, foram inseridos em estufa a 70° C para posterior pesagem do material.

Figura 7 – Processo inicial para determinação do teor de alfa-celulose.



Sendo: A – Holocelulose. B – adição de KOH 17,5%.
Fonte: Autora.

O teor de alfa-celulose das amostras foi definido em porcentagem pela Equação 6:

$$\alpha = (P\alpha/P)*100 \quad (6)$$

Onde:

α – Alfa-celulose (%);

$P\alpha$ – Peso da alfa-celulose, em gramas;

P – Peso inicial da amostra (a.s), em gramas.

Assim como a lignina e a holocelulose, a alfa-celulose foi corrigida conforma Equação 7:

$$\alpha_{cor} = (\%H_{cor}*T\alpha)/100 \quad (7)$$

Onde:

α_{cor} – Teor de alfa-celulose corrigido (%);

$\%H_{cor}$ – Teor de holocelulose corrigido, em gramas;

$T\alpha$ – Teor de alfa-celulose, em gramas.

E através de uma relação simples (Equação 8), foi possível obter o teor de hemicelulose:

$$\text{Hem} = \text{THcor} - \text{Tacor} \quad (8)$$

Onde:

Hem – Teor de hemicelulose (%);

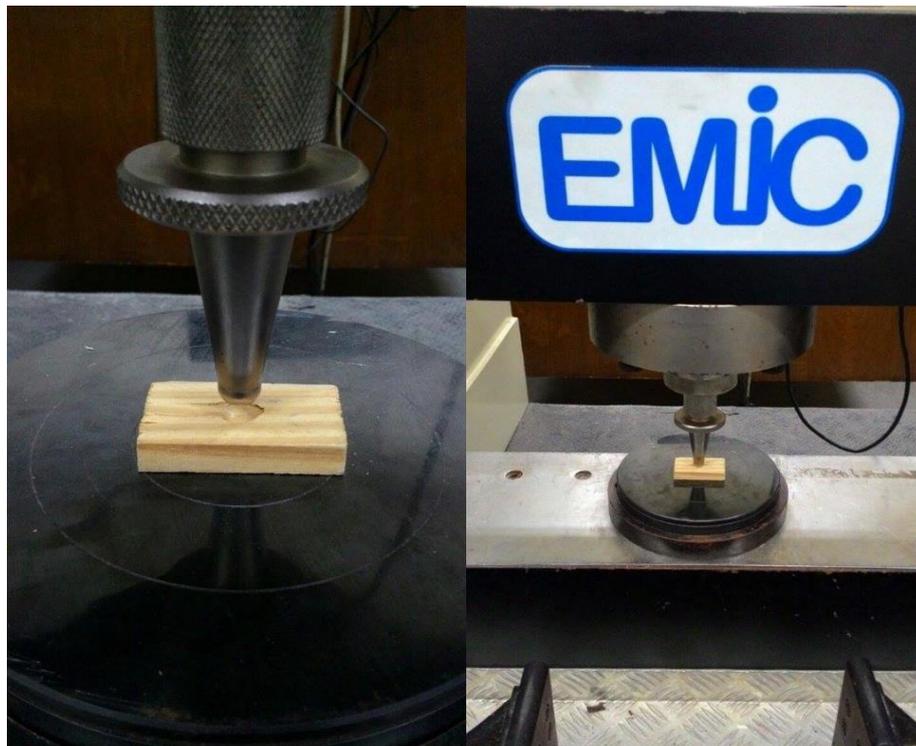
THcor – Teor de holocelulose corrigido, em gramas;

Tacor – Teor de alfa-celulose corrigido, em gramas.

2.3 ENSAIOS DE DUREZA JANKA - MÓDULO DE DUREZA - ASTM D 143 (2014)

Para a caracterização mecânica das amostras deterioradas utilizou-se o equipamento medidor de dureza Janka, dotado de penetrador esférico de 0,9 cm³. A carga de ensaio foi aplicada, na seção transversal, no ponto central da peça. Foi então avaliada a carga máxima necessária para penetração de metade de seu diâmetro nos corpos de prova. De maneira contínua, a carga foi aplicada ao longo do ensaio a uma velocidade de movimento da cruzeta móvel de 6 mm/min. (Figura 7).

Figura 7 – Ensaio de Dureza Janka - Máquina Universal (Emic DL30000N).



Fonte: Autora.

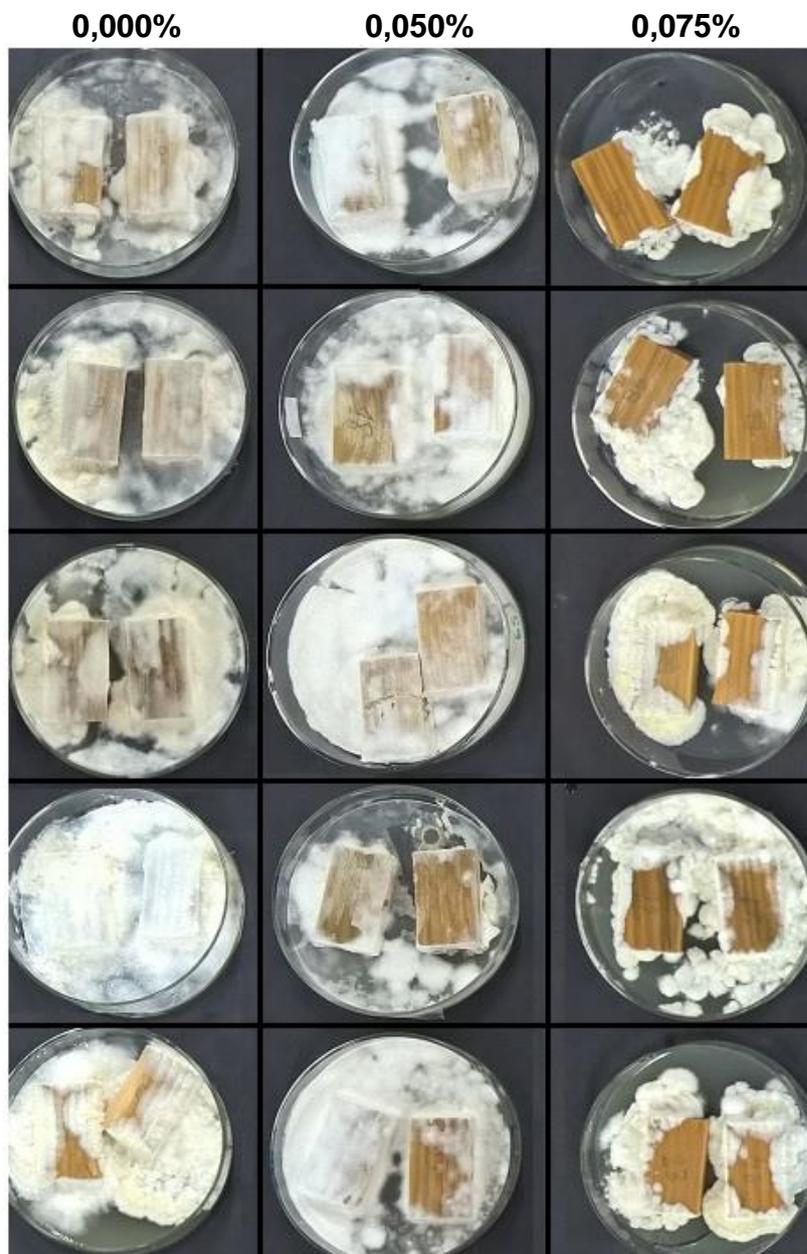
2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Para avaliação da Perda de massa e Dureza Janka, os dados foram analisados pelo pacote estatístico Statistical Assistance – Assistat 7.7 e as médias foram comparadas por Teste de Tukey com nível de significância de 5%. Para a análise dos componentes químicos os dados foram analisados pelo pacote estatístico Statistical Analysis System – SAS 8.0 (SAS INSTITUTE, 1999). As médias foram comparadas por contrastes ortogonais com nível de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 8, é possível observar visualmente o desenvolvimento do fungo nas amostras de madeira de *Pinus sp.* As concentrações estão dispostas da esquerda para direita, nas colunas, de maneira crescente, iniciando pela testemunha Inferior (T1) e seguida pelas concentrações de 0,050 e 0,075% de óleo essencial de *Pinus elliottii*.

Figura 8 - Desenvolvimento do fungo nas amostras de madeira de *Pinus sp.*



3.1 PERDA DE MASSA

A análise da variância, descrita na Tabela 1, indica que houve diferença estatística entre a perda de massa nos tratamentos estudados.

Tabela 1 – Resumo das análises de variância para a variável Perda de Massa (PM), Santa Maria, RS, 2017.

Fontes de variação	GL	Quadrado Médio
		PM
Tratamentos	2	3,6608**
Resíduo	27	0,0429

**Significativo a 1 % de probabilidade de erro.

Para avaliação mais detalhada da relação da Testemunha Inferior (resistência natural) com os tratamentos contendo óleo essencial de *Pinus elliottii*, fez-se uso da comparação das médias, pelo teste de Tukey a 5% de significância conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Médias de perda de massa.

Tratamentos	Concentrações (%)	PM (g)
T1	0,000	4,696 b
T2	0,050	3,736 a
T3	0,075	3,578 a

T1 – testemunha inferior (madeira sem preservante); T2 – tratamento com óleo essencial 0,050%; T3 – tratamento com óleo essencial 0,075%; PM – Perda de massa; Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey à 5% de probabilidade.

A madeira de *Pinus* sp. sem nenhum tipo de preservativo (testemunha inferior) apresentou perda de massa de 4,696 %. Com relação às concentrações de óleo essencial de *Pinus elliottii*, T2 e T3, estas mostraram desempenho próximo, mantendo as médias para perda de massa entre 3,736 e 3,578 %, não diferindo estatisticamente entre si. Os resultados mostram que as duas concentrações de óleo essencial de *Pinus elliottii* apresentaram menores perda de massa que a testemunha.

Medeiros (2014) estudando óleos essenciais de espécies do cerrado também encontrou poder inibitório semelhante, afirmando que os mesmos apresentaram atividade biológica bastante pronunciada principalmente quando os óleos continham em sua composição compostos fenólicos. Cheng et al. (2004), investigaram a atividade antifúngica do óleo essencial de folhas de *Calocedrus formosana* que também mostrou atividade contra quatro fungos incluindo o *Trametes versicolor*.

3.2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

Os contrastes com as médias referentes à constituição química da madeira de *Pinus* sp., antes e depois do apodrecimento, estão dispostos na Tabela 3. Os tratamentos foram contrastados com as testemunhas inferior e superior, que se refere, respectivamente, ao material exposto ao fungo sem nenhum tratamento e a madeira sem ter sido submetida ao ensaio de apodrecimento acelerado.

Tabela 3 - Contrastes das médias dos constituintes químicos.

(continua)

Contrastes	Média x Média	Incremento
Extrativos		
Testemunha Inferior x T2	2,34 x 2,65	-0,31
Testemunha Inferior x T3	2,34 x 2,94	-0,60
T. Inferior x T. Superior	2,34 x 2,68	-0,34
Testemunha Superior x T2	2,68 x 2,65	0,03
Testemunha Superior x T3	2,68 x 2,94	-0,26
T2 X T3	2,65 x 2,94	-0,29
Lignina		
Testemunha Inferior x T2*	25,85 x 26,46	-0,61
Testemunha Inferior x T3*	25,85 x 26,48	-0,63
T. Inferior x T. Superior*	25,85 x 26,62	-0,77
Testemunha Superior x T2	26,62 x 26,46	0,16
Testemunha Superior x T3	26,62 x 26,48	0,14
T2 x T3	26,46 x 26,48	-0,02
Holocelulose		
Testemunha Inferior x T2	81,02 x 81,09	-0,07
Testemunha Inferior x T3*	81,02 x 85,35	-4,33
T. Inferior x T. Superior*	81,02 x 85,51	-4,49
Testemunha Superior x T2*	85,51 x 81,09	4,42
Testemunha Superior x T3	85,51 x 85,35	0,16
T2 x T3*	81,09 x 85,35	-4,26

(conclusão)

Alfa-celulose		
Testemunha Inferior x T2*	61,35 x 60,87	0,48
Testemunha Inferior x T3*	61,35 x 65,13	-3,78
T. Inferior x T. Superior*	61,35 x 65,00	-3,65
Testemunha Superior x T2*	65,00 x 60,87	4,13
Testemunha Superior x T3	65,00 x 65,13	4,87
T2 x T3*	60,87 x 65,13	-4,26
Hemicelulose		
Testemunha Inferior x T2	19,56 x 20,21	-0,65
Testemunha Inferior x T3*	19,56 x 20,27	-0,71
T. Inferior x T. Superior*	19,56 x 20,50	-0,94
Testemunha Superior x T2	20,50 x 20,21	0,29
Testemunha Superior x T3	20,50 x 20,27	0,23
T2 x T3	20,21 x 20,27	-0,06

T2 – tratamento com óleo essencial 0,050%; T3 – tratamento com óleo essencial 0,075%; Testemunha inferior – madeira sem preservante; Testemunha superior – amostra controle, sem tratamento e sem exposição; * Significativo pelo teste T à 5%.

Quanto aos resultados obtidos o teor de extrativos não apresentou diferença estatística entre os tratamentos. A lignina apresentou diferença significativa dos demais tratamentos quando comparados a testemunha inferior. Os tratamentos utilizando óleo essencial não diferiram entre si e todos os tratamentos avaliados mostraram eficiência em preservar a lignina, pois não diferiram das amostras controle (testemunha superior).

Quanto aos teores de holocelulose, os contrastes foram significativos, indicando a superioridade do tratamento T3 com relação a testemunha inferior e não diferindo da testemunha superior. Porém, o tratamento T2 concentração menor (0,050%) não apresentou eficiência em preservar a holocelulose, pois, não diferiu estatisticamente da testemunha inferior.

No entanto, quando analisado a parte o constituinte hemicelulose, se comportou semelhante a holocelulose onde o tratamento T3 não diferiu estatisticamente em relação a testemunha superior. No entanto, mesmo T3 e T2 não diferindo entre si, T2 foi semelhante a testemunha inferior. Quando analisados as médias da alfa-celulose, observa-se novamente que T3 concentração maior (0,075%) diminuiu significativamente a decomposição desse constituinte, sendo significativamente igual à testemunha superior. Diante desses resultados podemos

observar novamente o potencial fungitóxicos do óleo essencial de *Pinus elliottii* sobre o fungo, de podridão branca, *Trametes versicolor*.

Os basidiomicetos, que são fungos de podridão branca são caracterizados por sua habilidade de degradar lignina, hemicelulose e celulose. Quanto a isso, podemos diferenciar dois modos distintos de decomposição da célula vegetal pelos fungos de podridão branca. O primeiro, é classificado como seletiva, sendo os carboidratos e lignina preferencialmente deteriorados, em especial nos estágios iniciais. O outro, mais comum, é denominado de deterioração simultânea, onde os carboidratos e lignina são atacados de modo igual (ARANTES e MILAGRES, 2009; MARTINEZ, 2005; OTJEN e BLANCHETTE, 1986). Com base nos dados apresentados e, de acordo com os autores, foi identificada a decomposição simultânea dos componentes da madeira, ocorrendo reduções de ambos os componentes.

Os valores referentes ao teor de extrativo não apresentaram redução expressiva nos seus teores após as 16 semanas de ensaio, enquanto os teores de lignina e holocelulose tiveram perdas significativas. De acordo Eaton e Hale (1993), a principal responsável pela perda de resistência mecânica da madeira é a degradação da celulose, atacada por fungos, na parede secundária.

3.3 DUREZA JANKA

Na Tabela 5 está apresentada a análise da variância das médias do teste da Dureza Janka da madeira de *Pinus sp.* tratada com o óleo essencial de *Pinus elliottii* em duas concentrações e testemunha inferior e superior: a primeira sem nenhum tipo de tratamento e exposta ao fungo (resistência natural) e a segunda sem exposição ao fungo (controle).

Tabela 5 - Resumo das análises de variância para a variável Dureza Janka (H).

Fontes de variação	GL	Quadrado Médio
		H
Tratamentos	3	4226,82**
Resíduo	32	740,78

**Significativo a 1 % de probabilidade de erro.

De acordo com a análises de variância para Dureza Janka verificou-se que houve diferença significativa entre os tratamentos. Devido a isso as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, os resultados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Teste de médias para o ensaio de Dureza de Janka (H).

Tratamentos	Médias de H (Kgf/cm ²)
Testemunha Superior	368,63 a
Testemunha Inferior	326,49 b
T2	336,58 ab
T3	368,13 a

T2 – tratamento com óleo 0,050%; T3 – tratamento com óleo 0,075%; Testemunha superior – amostra controle, sem tratamento e sem exposição; Testemunha inferior – madeira sem preservante exposta ao fungo; H – Dureza Janka; Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey à 5% de probabilidade.

As amostras controle (testemunha superior) apresentaram em média dureza de 368,63 Kgf/cm² até deformação do material, enquanto que a testemunha inferior apresentou valor médio de 326,49 diferindo estatisticamente da amostra controle. Os tratamentos, com óleo essencial de *Pinus elliottii*, apresentaram-se numericamente próximos, não diferiram entre si. No entanto, o T3 diferiu significativamente da testemunha inferior, apresentando maior dureza. Enquanto T2 apresentou maior redução da propriedade dureza, sendo esta semelhante à testemunha inferior, não diferindo da mesma. Quando comparados a testemunha superior, os tratamentos utilizando óleo essencial de *Pinus elliottii*, demonstraram bons resultados. É importante salientar que o óleo essencial de *Pinus elliottii* apresentando potencial tóxico aos fungos degradadores da madeira norteia a possibilidade da introdução de um produto novo e natural na preservação da madeira.

De acordo com Pinto (2006), a explicação aceita para a perda da resistência da madeira é que as enzimas que degradam a celulose são liberadas da hifa e difundidas livremente dentro da madeira. O mesmo autor ainda afirma que o efeito total é que a madeira perde sua resistência e sofre um encolhimento desenvolvendo quebras transversais e longitudinais. Sendo relevante destacar, que os fungos da classe dos Basidiomicetos apresentam, como uma de suas características fundamentais, a habilidade das hifas ramificarem-se através da estrutura

tridimensional da madeira, de modo a provocar a formação de pequenas cavidades nas paredes celulares (ARCHER e LEBOW, 2006). Desta forma, o desenvolvimento inicial do fungo leva a perdas consideráveis nas propriedades de resistência mecânica, estas que ocorrem antes mesmo da madeira começar a perder massa pela ação efetiva dos organismos, situação essa que torna os ensaios de resistência mecânica os mais indicados para avaliação (MACHEK et al. 2001).

4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados de perda de massa da madeira tratada com óleo essencial de *Pinus elliotti* e submetida a ação do fungo apodrecedor *Trametes versicolor*, pode-se concluir que:

Os tratamentos com óleo essencial nas concentrações 0,050 e 0,075% apresentaram menor perda de massa que a testemunha inferior.

Em relação à análise química, a decomposição não exerceu influência significativa no teor de extrativos. Com relação ao teor de lignina, todos os tratamentos utilizando óleo essencial mostraram eficiência em preservar a lignina, pois não diferiram das amostras controle (testemunha superior). Quanto a holocelulose, o tratamento utilizando óleo essencial na concentração 0,075%, apresentou resultados semelhantes à testemunha superior, se mostrando satisfatório para preservar estes componentes.

O teste de dureza foi útil para evidenciar o potencial fungitóxicos do óleo essencial de *Pinus elliottii* sobre o fungo, de podridão branca.

De modo geral, através dos resultados apresentados pode-se considerar o óleo essencial de *Pinus elliottii* um preservativo natural em potencial, sendo recomendada a realização de novas avaliações considerando outros organismos, tratar madeiras roliças e de maiores dimensões para melhores avaliações sobre a fixação do produto na madeira.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D. 2017: Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods. **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, v. 410, p. 313 – 317, 1994.

AGUIAR, A.; FERRAZ, A. Mecanismos envolvidos na biodegradação de materiais lignocelulósicos e aplicações tecnológicas correlatas. **Química Nova**, v. 34, n. 10, p. 1729-1738, 2011.

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

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

BECKER, L. et al. Leaching behaviour of wood treated with creosote. **Chemosphere**, v. 42, p. 301 -308, 2001.

BOSSARDI, K.; BARREIROS, R. M. Produtos naturais como preservantes para madeiras de rápido crescimento – uma revisão. **Ciência da Madeira** (Braz. J. Wood Sci.), Pelotas/RS, v. 02, n. 02, 2011.

CHENG, S.S. et al. Antitermitic and antifungal activities of essential oil of *Calocedrus formosana* leaf and its composition. **J. Chem. Ecol.** National Taiwan University, Taiwan. v. 30, n. 10, p. 1957-1967, 2004.

COSTA, M. A. **Avaliação de metodologias alternativas para caracterização do ataque de fungos apodrecedores de madeiras**. 2009. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

EATON, R. A.; HALE, M. D. C. **Wood: Decay, pests and protection**. Londres: Chapman e Hall. p. 546. 1993.

EN – Norma Europeia. Determinación del Umbral de Eficácia contra los Hongos Basidiomicetos Xilófagos Cultivados em Medio Agar. **Normas UNE**, Ed. 1. julio 1979.

FARIAS, A. et al. Aspecto tóxico subletal de extrato de acícula de pinos *Pinus elliotii*, em juvenis de jundiá *Rhamdia quelen*. In: VI Jornada de Iniciação Científica e Tecnológica – Ciência e Tecnologia Transformando a Sociedade. 2016. Chapecó/SC. **Anais...** Chapecó/SC: Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Laranjeiras do Sul. 2016.

FENGEL, D.; WEGENER, O. **Wood Chemistry, ultrastructure, reactions**. New York: Walter de Gruyter, Berlin, 1989.

KELLEY, S. S.; JELLISON, J.; GOODELL, B. Use of NIR and MBMS couple with multivariate analysis for detecting the chemical changes associated with brown rot biodegradation of spruce wood. **Federation of European Microbiology Society Microbiology Letters**, v. 209, n. 01, p. 107-111, 2002.

MACHADO, G. O. et al. Preservante natural de madeira para uso na construção civil – óleo de neem. **Minerva**, v. 3, n. 1, p. 1-8, 2006.

MACHEK, L.; MILITZ, H.; SIERRA-ALVAREZ, R. The use of an acoustic technique to assess wood decay in laboratory soil-bed tests. **Wood Science and Technology**, v. 34, p. 467-472, 2001.

MARTÍNEZ, A. T. et al. Biodegradation of lignocellulosics: microbial, chemical, and enzymatic aspects of the fungal attack of lignin. **Int. Microbiologi**. v. 8. 2005.

MEDEIROS, F. C. M. **Caracterização química e atividade biológica de óleos essenciais de plantas do Cerrado contra fungos xilófagos**. 2014. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Publicação PPGEFL.DM-238/2014. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília, Brasília DF, 2014.

OTJEN, L. BLANCHETTE, R. A. A discussion of microstructural changes in wood during decomposition by white rot basidiomycetes. **Canadian Journal of Botany**. v. 64, n. 5, p. 905-911, 1986.

PINTO, F. F. **Degradação de madeiras por fungos: aspectos biotecnológicos e de Biorremediação**. 2006. 46 f. Monografia (Especialização em Microbiologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2006. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS9RPGD5/monografia___fagner.pdf?sequence=1>. Acesso em: 05 fev. 2017.

REMADE - Revista da madeira. Preservação – Madeira Preservada – Os Impactos Ambientais. **Revista da madeira**, Curitiba, PR, n. 100, novembro, 2006. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=985&3Bsubject>. Acesso em: 02 fev. 2017.

SAS INSTITUTE – **Statistical Analysis System**. SAS/STAT User’s Guide 8.0. North Caroline, NC: SAS Institute Inc., 3365 p. 1999.

SILVEIRA, A. G. **Utilização do tanino como preservante natural da madeira de *Acacia mearnsii* e sua toxidez ao fungo apodrecedor *Pycnoporus sanguineus***. 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS. 2015.

TAPPI. Technical Association of the Pulp and Paper industry. **TAPPI test methods**. Atlanta, TAPPI press, 1994 – 1995.

CAPÍTULO 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O óleo essencial de *Pinus elliottii*, apresenta poder tóxico ao fungo apodrecedor *Trametes versicolor*, causador de podridão branca em madeiras. Quando o produto é impregnado na madeira é capaz de proteger os elementos químicos da mesma, mantendo sua qualidade.

Já para o óleo essencial de *Melaleuca alternifolia*, mesmo sendo observado o potencial fungitóxicos nas doses testadas, não inibiu completamente o desenvolvimento do fungo. Para esse óleo, é recomendado fazer novos testes com doses maiores do produto.

Portanto, é preciso expandir esta pesquisa, avaliando inibição a outros organismos decompositores, avaliar o efeito do tratamento com óleo essencial sobre as demais propriedades da madeira, assim como tratar madeiras roliças e de maiores dimensões para melhor avaliar a fixação do produto na madeira.

Por se tratar de um produto natural, caso confirme-se os resultados expostos nesse trabalho, será um valioso ganho ambiental e social.