



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE CURITIBANOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOSSISTEMAS AGRÍCOLAS E
NATURAIS

Tarcisio Francisco de Camargo

**Atividade antifúngica de óleos essenciais e utilização como preservantes
alternativos de madeiras contra ação de fungos apodrecedores**

Curitibanos
2023

Tarcisio Francisco de Camargo

**Atividade antifúngica de óleos essenciais e utilização como preservantes
alternativos de madeiras contra ação de fungos apodrecedores**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Profa. Adriana Terumi Itako, Dra.
Coorientador: Prof. Magnos Alan Vivian, Dr.;
Prof. Cristian Soldi, Dr.

Curitibanos

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Camargo, Tarcisio Francisco de
Atividade antifúngica de óleos essenciais e utilização
como preservantes alternativos de madeiras contra ação de
fungos apodrecedores / Tarcisio Francisco de Camargo ;
orientadora, Adriana Terumi Itako, coorientador, Magnos
Alan Vivian, coorientador, Cristian Soldi, 2023.
82 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Campus Curitibanos, Programa de Pós-Graduação em
Ecossistemas Agrícolas e Naturais, Curitibanos, 2023.

Inclui referências.

1. Ecossistemas Agrícolas e Naturais. 2. Preservação
de madeiras. 3. Preservantes naturais. 4. Biocidas
naturais. I. Itako, Adriana Terumi. II. Vivian, Magnos
Alan. III. Soldi, Cristian IV. Universidade Federal de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ecossistemas
Agrícolas e Naturais. V. Título.

Tarcisio Francisco de Camargo

**Atividade antifúngica de óleos essenciais e utilização como preservantes alternativos
de madeiras contra ação de fungos apodrecedores**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 14 de fevereiro de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Lírio Luiz Dal Vesco, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Prof. Joni Stolberg, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Insira neste espaço a
assinatura digital

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Insira neste espaço a
assinatura digital

Profa. Adriana Terumi Itako, Dra.
Orientadora

Curitiba, 2023

Dedico este trabalho aos meus pais e ao meu irmão, que sempre estão ao meu lado, me apoiando em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, saúde e por ter me dado forças para seguir adiante em meio a dificuldades.

À minha família, em especial a minha mãe Maria F. Ribeiro de Camargo, meu pai Assis P. de Camargo e meu irmão Mauricio Camargo, que sempre estão presentes me incentivando e me apoiando.

À professora Adriana Terumi Itako e aos professores Magnos Alan Vivian e Cristian Soldi, pelo conhecimento repassado e orientações para o desenvolvimento desta pesquisa.

À Juliana Aparecida Teixeira Stanck Bireahls, pela amizade, apoio e incentivo durante a graduação e mestrado.

Aos técnicos do laboratório de Biologia Celular e laboratório de Química, sempre gentis e prontos para auxiliar nas atividades necessárias.

À Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Campus de Curitibanos e ao Programa de Pós-graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais – PPGEAN, pela estrutura e oportunidade de aprendizado e qualificação.

À UNIEDU (Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina) e a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nivel Superior) pela concessão de bolsa de estudos, que sem dúvidas, foi crucial para o andamento e desenvolvimento desta pesquisa.

A todos, muito obrigado.

RESUMO

A presente pesquisa teve por objetivo verificar a atividade antifúngica de três óleos essenciais a três espécies de fungos apodrecedores de madeira e a eficiência dos óleos essenciais como preservantes naturais de madeira. Óleos essenciais, extraídos por meio de hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger, foram a partir de folhas das plantas de: capim limão (*Cymbopogon citratus*), cupressus (*Cupressus lusitanica*), e cataia (*Drimys brasiliensis*), coletadas na região de Curitiba (SC). A composição química dos óleos essenciais foi determinada através de cromatografia gasosa e espectrometria de massas (CGMS). Para a atividade antifúngica realizou-se ensaios *in vitro*, para avaliar a inibição do crescimento micelial de diferentes espécies de fungos. Testou-se diferentes concentrações dos óleos essenciais de capim limão (0, 50, 100, 150, 250, 500 e 1000 ppm) cupressus e cataia (0, 250, 500, 1000 e 2000 ppm). Com os valores dos diâmetros das colônias fúngicas determinou-se o Índice de crescimento micelial (ICM) em mm e a porcentagem de inibição do crescimento micelial (PIC). A dose com melhor resultado *in vitro*, de cada tratamento, foi utilizada no tratamento da madeira de *P. taeda* através do método de imersão a frio, avaliando a eficiência do tratamento preservante através do ensaio de apodrecimento em laboratório, de acordo com a norma ASTM D 2017 (1994). O teste consistiu na exposição de corpos de prova de madeira sob fungos apodrecedores por 16 semanas, e posteriormente avaliada a perda de massa. Com base na análise química dos óleos essenciais, dos componentes presentes no óleo essencial de *C. lusitanica*, os que apresentaram maiores proporções foram Isobornyl-acetato (22,8%), δ -2-careno (12,7%), limoneno (10,4%) e α -pineno (6,3%). Para o óleo essencial de *D. brasiliensis* os componentes majoritários foram biciclogermacreno (16,0%), limoneno (15,6%), Terpinen-4-ol (7,1%) e sabineno (6,2%) e para o óleo essencial de *C. citratus* os componentes majoritários foram α -citral (44,9%), β -citral (36,2%) e Mirceno (11,5%). Os resultados aferem que todos os óleos essenciais possuem potencial antifúngico *in vitro*, contra todos os fungos apodrecedores testados. O óleo essencial de *D. brasiliensis* na concentração de 2000 ppm inibiu 72,5% do crescimento micelial do fungo *G. trabeum*, 73,0% do fungo *T. versicolor* e 70,1% do fungo *P. sanguineus*. Já o óleo essencial de *C. lusitanica* na concentração de 2000 ppm inibiu 100% do crescimento micelial para os três fungos apodrecedores testados. Para o óleo essencial de *C. citratus*, a partir da dose de 250 ppm para os fungos *G. trabeum* e *T. versicolor* e a partir da concentração de 100 ppm para o fungo *P. sanguineus*, houve 100% de inibição do crescimento micelial. Com relação à perda de massa da madeira de *P. taeda*, o tratamento preservante com óleo essencial de *C. citratus* obteve maior proteção à madeira, sendo a madeira enquadrada após tratamento, como altamente resistente, tendo menor perda de massa, causada pelo fungo de podridão branca *T. versicolor*. Os demais óleos essenciais empregados como preservantes não diferiram estatisticamente entre si.

Palavras-chave: Fungos xilófagos. Preservação da madeira. Preservantes naturais. Biocidas naturais.

ABSTRACT

This research aimed to verify the antifungal activity of three essential oils to three species of wood rotting fungi and the efficiency of essential oils as natural wood preservatives. Essential oils, extracted by means of hydrodistillation in a Clevenger-type apparatus, were from the leaves of the following plants: lemongrass (*Cymbopogon citratus*), cupressus (*Cupressus lusitanica*), and cataia (*Drimys brasiliensis*), collected in the region of Curitibanos (SC). The chemical composition of essential oils was determined using gas chromatography and mass spectrometry (CGMS). For antifungal activity, in vitro assays were performed to evaluate the inhibition of mycelial growth of different species of fungi. Different concentrations of essential oils of lemongrass (0, 50, 100, 150, 250, 500 and 1000 ppm) cupressus and cataia (0, 250, 500, 1000 and 2000 ppm) were tested. With the values of the diameters of the fungal colonies, the mycelial growth index (ICM) in mm and the percentage of mycelial growth inhibition (PIC) were determined. The dose with the best in vitro result, of each treatment, was used in the treatment of *P. taeda* wood through the cold immersion method, evaluating the efficiency of the preservative treatment through the laboratory decay test, according to the ASTM standard D 2017 (1994). The test consisted of exposing wooden specimens to rotting fungus for 16 weeks, and subsequently assessing weight loss. Based on the chemical analysis of the essential oils, of the components present in the essential oil of *C. lusitanica*, those with the highest proportions were Isobornyl-acetate (22.8%), δ -2-carene (12.7%), limonene (10.4%) and α -pinene (6.3%). For the essential oil of *D. brasiliensis* the major components were bicyclogermacrene (16.0%), limonene (15.6%), Terpinen-4-ol (7.1%) and sabinene (6.2%) and for the essential oil of *C. citratus* the major components were α -citral (44.9%), β -citral (36.2%) and Myrcene (11.5%). The results show that all essential oils have in vitro antifungal potential against all rotting fungi tested. The essential oil of *D. brasiliensis* at a concentration of 2000 ppm inhibited 72.5% of the mycelial growth of the fungus *G. trabeum*, 73.0% of the fungus *T. versicolor* and 70.1% of the fungus *P. sanguineus*. The essential oil of *C. lusitanica* at a concentration of 2000 ppm inhibited 100% of mycelial growth for the three rot fungi tested. For the essential oil of *C. citratus*, from the dose of 250 ppm for the fungi *G. trabeum* and *T. versicolor* and from the concentration of 100 ppm for the fungus *P. sanguineus*, there was 100% inhibition of mycelial growth. Regarding the loss of mass of *P. taeda* wood, the preservative treatment with essential oil of *C. citratus* obtained greater protection for the wood, with the wood classified after treatment as highly resistant, with less loss of mass caused by the fungus of *P. taeda*. white rot *T. versicolor*. The other essential oils used as preservatives did not differ statistically from each other.

Keywords: Xylophagous fungi. Preservation of wood. Natural preservatives. Natural biocides.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Plantio de Pinus no Brasil, distribuição e concentração por estados.	20
Figura 2 – Aspecto da madeira acometida por podridão parda.....	23
Figura 3 –Aspecto da madeira acometida por podridão branca.	25
Figura 4 - Imagem representativa do capim-limão (<i>Cymbopogon citratus</i>),Curitibanos, SC.	31
Figura 5 – Imagem representativa de <i>Cupressus lusitanica</i> . Curitibanos, SC.....	32
Figura 6 - Imagem representativa de <i>Drimys brasiliensis</i> . UFSC, Campus de Curitibanos, Curitibanos, SC.	33
Figura 7 – Fungos decompositores de madeira cultivados em meio de cultura BDA, utilizados como fonte de inóculos para os ensaios.	38
Figura 8 – Tratamento da madeira de <i>P. taeda</i> com óleos essenciais de <i>C. citratus</i> , <i>C. lusitanica</i> e <i>D. brasiliensis</i>	41
Figura 9 - Frascos com placa suporte.	43
Figura 10 - Corpos de prova sob a placa suporte já colonizada pelos fungos apodrecedores de madeira.....	44
Figura 11 - Estruturas dos compostos majoritários identificados no óleo essencial de <i>Cupressus lusitanica</i>	48
Figura 12 - Cromatograma de íons totais do óleo essencial das folhas frescas de <i>C. lusitanica</i>	49
Figura 13 - Estruturas dos compostos majoritários identificados no óleo essencial de <i>Drimys brasiliensis</i>	51
Figura 14 - Cromatograma de íons totais do óleo essencial das folhas frescas de <i>D. brasiliensis</i>	52
Figura 15 - Estruturas dos compostos majoritários identificados no óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i>	53
Figura 16 - Cromatograma de íons totais do óleo essencial das folhas frescas de <i>C. citratus</i>	53
Figura 17 - Evolução do índice de crescimento micelial (ICM) em mm, dos fungos <i>Gloeophyllum trabeum</i> , <i>Trametes versicolor</i> e <i>Pycnoporus sanguineus</i> em relação as diferentes doses do óleo essencial de <i>D. brasiliensis</i>	55

Figura 18 - Crescimento micelial dos fungos <i>Gloeophyllum trabeum</i> , <i>Trametes versicolor</i> e <i>Pycnoporus sanguineus</i> em relação às diferentes concentrações do óleo essencial de <i>Drimys brasiliensis</i>	56
Figura 19 - Evolução do índice de crescimento micelial (ICM) em mm, dos fungos <i>Gloeophyllum trabeum</i> , <i>Trametes versicolor</i> e <i>Pycnoporus sanguineus</i> em relação as diferentes doses do óleo essencial de <i>C. lusitanica</i>	57
Figura 20 - Crescimento micelial dos fungos apodrecedores <i>Gloeophyllum trabeum</i> , <i>Trametes versicolor</i> e <i>Pycnoporus sanguineus</i> em relação às diferentes concentrações do óleo essencial de <i>Cupressus lusitanica</i>	59
Figura 21 - Evolução do índice de crescimento micelial (ICM) em mm, dos fungos <i>Gloeophyllum trabeum</i> , <i>Trametes versicolor</i> em relação as submetidos a diferentes doses do óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i>	60
Figura 22 - Crescimento micelial dos fungos apodrecedores <i>Gloeophyllum trabeum</i> , <i>Trametes versicolor</i> e <i>Pycnoporus sanguineus</i> em relação às diferentes concentrações do óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i>	61
Figura 23 - Comparação entre as perdas de massa da madeira de <i>P. taeda</i> com os respectivos tratamentos com óleos essenciais	64
Figura 24 - Análise visual dos corpos de prova da madeira de <i>P. taeda</i> após o ataque fúngico e de acordo com cada tratamento preservante com óleos essenciais	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lista de espécies fúngicas causadoras de podridão parda em madeiras e descrita na literatura.....	23
Tabela 2 – Lista de espécies fúngicas causadoras de podridão branca em madeiras e descrita na literatura.....	25
Tabela 3 – Doses (ppm) dos óleos essenciais utilizados no tratamento preservante da madeira de <i>P. taeda</i>	40
Tabela 4 - Classificação da resistência natural da madeira em função da perda de massa, de acordo com a norma de ASTM D 2017.....	45
Tabela 5 - Rendimento médio do óleo essencial das folhas frescas de <i>C. lusitanica</i> , <i>D. brasiliensis</i> e <i>C. citratus</i> , coletado na região de Curitiba, SC.....	46
Tabela 6 - Composição química de óleos essenciais das folhas de <i>Cupressus lusitanica</i>	47
Tabela 7 - Composição química de óleos essenciais das folhas de <i>Drimys brasiliensis</i>	50
Tabela 8 - Composição química de óleos essenciais das folhas de <i>Cymbopogon citratus</i>	52
Tabela 9 – Índice de crescimento micelial (ICM) em mm e porcentagem (%) de inibição de crescimento (PIC) micelial para os fungos apodrecedores de madeira, <i>Gloeophyllum trabeum</i> , <i>Trametes versicolor</i> e <i>Pycnoporus sanguineus</i> , submetidos a diferentes doses (em ppm) do óleo essencial de <i>Drimys brasiliensis</i>	54
Tabela 10 - Índice de crescimento micelial (ICM) em mm e porcentagem (%) de inibição de crescimento (PIC) micelial para os fungos apodrecedores de madeira, <i>Gloeophyllum trabeum</i> , <i>Trametes versicolor</i> e <i>Pycnoporus sanguineus</i> , submetidos a diferentes doses (em ppm) do óleo essencial de <i>Cupressus lusitanica</i>	57
Tabela 11 – Índice de crescimento micelial (ICM) em mm e porcentagem (%) de inibição de crescimento (PIC) micelial para os fungos apodrecedores de madeira, <i>Gloeophyllum trabeum</i> , <i>Trametes versicolor</i> e <i>Pycnoporus sanguineus</i> , submetidos a diferentes doses (em ppm) do óleo essencial de <i>Cymbopogon citratus</i>	60
Tabela 12 – Perda de massa (%) da madeira de <i>P. taeda</i> submetida a tratamento preservante com óleos essenciais e classificação de sua resistência de acordo com a norma ASTM D 2017 (1994).	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAF	Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
ACR	Associação Catarinense de Empresas Florestais
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BOD	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>
CCA	Arseniato de Cobre Cromatado
CCB	Borato de Cobre Cromatado
FAO	Food and Agriculture Organization of United Nations
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
OE	Óleo essencial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo geral	18
1.1.2	Objetivos específicos	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	GÊNERO <i>PINUS</i>	19
2.2	DETERIORAÇÃO DE MADEIRAS.....	20
2.2.1	Fungos apodrecedores	21
2.2.1.1	<i>Podridão parda</i>	22
2.2.1.2	<i>Podridão branca</i>	24
2.3	PRESERVAÇÃO DA MADEIRA.....	26
2.3.1	Preservantes naturais	28
2.3.1.1	<i>Óleos essenciais</i>	29
2.3.1.2	<i>Óleo de Cymbopogon citratus</i> (DC) Stapf.....	30
2.3.1.3	<i>Óleo de Cupressus lusitanica</i> Mill.	32
2.3.1.4	<i>Óleo de Drimys brasiliensis</i> Miers.	33
3	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1	LOCAL DE COLETA E DE REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	35
3.2	EXTRAÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS.....	35
3.3	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS.....	36
3.4	OBTENÇÃO DOS FUNGOS APODRECEDORES	37
3.5	ENSAIO ANTIFÚNGICO <i>IN VITRO</i> DOS ÓLEOS ESSENCIAIS	38
3.6	CONFECÇÃO DE CORPOS DE PROVA PARA TRATAMENTO PRESERVANTE E ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO	39
3.7	DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE	40
3.8	ENSAIO ANTIFÚNGICO <i>IN VIVO</i> DOS ÓLEOS ESSENCIAIS	40
3.8.1	Seleção de preservante de madeira	40
3.8.2	Eficiência do tratamento	41
3.8.2.1	<i>Ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório</i>	41
3.9	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1	CONSTITUINTES QUÍMICOS	47

4.1.1	<i>Cupressus lusitanica</i>	47
4.1.2	<i>Drimys brasiliensis</i>	49
4.1.3	<i>Cymbopogon citratus</i>	52
4.2	ATIVIDADE ANTIFÚNGICA <i>IN VITRO</i>	54
4.2.1	Atividade antifúngica <i>in vitro</i> de <i>D. brasiliensis</i>	54
4.2.2	Atividade antifúngica de <i>C. lusitanica</i>	56
4.2.3	Atividade antifúngica <i>in vitro</i> do óleo essencial de <i>C. citratus</i>	59
4.3	DENSIDADE APARENTE	62
4.4	ATIVIDADE ANTIFÚNGICA <i>IN VIVO</i>	62
4.4.1	Tratamento preservante e ensaio de apodrecimento em laboratório ..	62
4.4.1.1	<i>Perda de massa</i>	62
5	CONCLUSÃO	67
	REFERÊNCIAS	68

1 INTRODUÇÃO

Desde que madeiras de espécies nativas de alta durabilidade começaram a se tornar escassas, o homem passou a utilizar espécies oriundas de povoamentos homogêneos que apresentam menor durabilidade natural, tal como, as espécies de pinus e eucalipto (PAES *et al.*, 2005). No Brasil, o pinus e o eucalipto são muito importantes para o setor florestal, sendo empregadas como matéria prima em diversos setores industriais como na indústria de celulose e papel, painéis reconstituídos, carvão vegetal, na construção civil e fabricação de móveis (VALLE *et al.*, 2013).

As principais características da madeira, que a torna um dos produtos mais utilizados pela indústria são as propriedades físico-mecânicas, químicas e anatômicas, além da baixa extensão térmica, alta resistência mecânica e baixa densidade, quando comparada a outros materiais (SCHUBERT *et al.*, 2012). No entanto, a madeira pode sofrer alterações indesejadas nas suas propriedades, principalmente, quando utilizadas diretamente em contato com o solo ou água, essas alterações são causadas por agentes químicos, físicos e biológicos, que podem atuar juntos ou separadamente, apressando o processo de deterioração da madeira (VALLE *et al.*, 2013.; SCHUBERT *et al.*, 2012).

Historicamente essa problemática foi amenizada através do tratamento da madeira por meio de produtos químicos, (IBACH, LEBOW, 2012), sendo este o método mais utilizado na atualidade para tratar madeiras de baixa durabilidade (LIIBERT *et al.*, 2011). O processo de preservação prolonga a vida útil da madeira, e assim promove a redução do consumo deste material e também do impacto causado pela exploração de madeira em florestas remanescentes (PAES *et al.*, 2005).

Os tradicionais métodos de preservação da madeira envolvem a utilização de produtos químicos (SINGH, SINGH, 2011), “[...] a base de cobre, cromo, zinco, arsênio, boro e flúor e de compostos como creosoto e aminas” (MACHADO *et al.*, 2006, p. 2). Estes conservantes apresentam [...] “resposta rápida, eficiente e sistema de cura eficaz” no tratamento de preservação da madeira (PRAYITNO; WIDYORINI, 2016, p. 198), porém, alguns podem ser tóxicos para a saúde e meio ambiente (NAKAYAMA, 2001; SINGH, SINGH, 2011) quando utilizados de forma errada, sem as devidas precauções.

A eficiência dos tradicionais métodos de preservação ocorre em função da ação biocida dos produtos químicos empregados no tratamento preservante, ocasionando morte dos microrganismos xilófagos (BOSSARDI, BARREIROS, 2011). Segundo Brand *et al.*, (2006), com a crescente demanda do uso de biocidas, alguns países desenvolvidos do mundo, estão impondo maiores restrições em relação ao uso destes produtos, até mesmo proibindo a utilização de alguns que são tradicionalmente utilizados na preservação de madeiras.

Para Yang (2009), a criação de novas tecnologias para o tratamento da madeira que sejam eficazes e de baixo impacto ambiental são indispensáveis. Segundo Woźniak *et al.*, (2020), nos últimos anos, estudos voltados a produtos de origem natural para tratamento da madeira, estão crescendo na literatura. Neste contexto, Militão *et al.*, (2021) comentam que atualmente há uma demanda pelo desenvolvimento de produtos alternativos para preservar a madeira, que sejam viáveis economicamente e ecológicos, os autores ainda citam que uma alternativa, pode ser preservantes a base de extratos e óleos essenciais, que podem ser obtidos de distintas partes de plantas.

De acordo com Teaca *et al.*, (2019, p. 4873), a tendência para a área de preservação de madeiras “incluem o uso de produtos naturais de base biológica - extrativos, óleos, ceras, resinas, biopolímeros, agentes de controle biológico [...]”. As plantas por apresentarem metabólitos secundários (compostos orgânicos) que servem como proteção e sobrevivência a condições desencadeadas pelo ambiente, podem auxiliar na ação contra fungos e assim tornar-se uma alternativa no controle de agentes fitopatogênicos (HULLER *et al.*, 2019).

Para Woźniak *et al.*, (2022), substâncias oriundas de plantas, como por exemplo, óleos essenciais e extratos, podem ser uma alternativa para o desenvolvimento de preservantes ecológicos para proteger madeiras contra o ataque de fungos e outros biodeterioradores. Os óleos essenciais estão entre os produtos oriundos do metabolismo de plantas, são promissores e de fácil acesso para estudos de seus componentes ativos (SOUZA, 2007). Os óleos essenciais são comumente utilizados na indústria de perfumaria, alimentícia, farmacêutica e cosmética (BAKKALI *et al.*, 2008; REGNAULT-ROGER *et al.*, 2012), principalmente pelo seu potencial antimicrobiano, no entanto, sua utilização como preservantes de madeiras ainda não foi totalmente estudada (MOHAREB;BADAWY; ABDELGALEIL, 2013).

Perante o exposto, o principal objetivo do presente trabalho foi avaliar óleos essenciais e sua potencialidade contra fungos apodrecedores em teste *in vitro* e posteriormente, diretamente em madeira. Os resultados desta pesquisa podem servir para que substâncias alternativas ecologicamente corretas possam ser empregadas quanto ao uso, em métodos caseiros e em pequenas indústrias de tratamento de madeira, o que proporcionará também maior segurança aos trabalhadores, principalmente aqueles que possuem contato direto com a madeira tratada.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Verificar a atividade antifúngica dos óleos essenciais de *Cymbopogon citratus*, *Cupressus lusitanica* e *Drimys brasiliensis*, contra ação de fungos apodrecedores e sua eficiência como preservantes naturais de madeira.

1.1.2 Objetivos específicos

Determinar a composição química dos óleos essenciais de três espécies: capim limão, cupressus e cataia.

Avaliar por meio de ensaio *in vitro* o efeito inibidor de três óleos essenciais sobre o crescimento micelial de três fungos apodrecedores: *Trametes versicolor*, *Pycnoporus sanguineus* e *Gloeophyllum trabeum*.

Verificar a eficiência do tratamento preservante utilizando três óleos essenciais contra a ação dos fungos apodrecedores *T. versicolor*, *P. sanguineus* e *G. trabeum*, através de ensaio de apodrecimento acelerado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GÊNERO *PINUS*

O gênero *Pinus*, compreende mais de 100 espécies que possuem grande potencial (AGUIAR *et al.*, 2011a). No Brasil, a ocorrência do plantio de espécies do gênero *Pinus*, começou a mais de um século, sendo as primeiras espécies introduzidas por imigrantes europeus com a finalidade de utilização ornamental (SHIMIZU, 2008; AGUIAR *et al.*, 2011b) e produção de madeira (SHIMIZU, 2008).

Ainda segundo Shimizu (2008), no Rio Grande do sul ocorreu a inserção das primeiras espécies de *Pinus*, por volta de 1880. Entretanto, o plantio destinado para abastecer indústrias madeira, de papel e celulose e de resina, aconteceu em 1960 (SHIMIZU, 2008; AGUIAR *et al.*, 2011b).

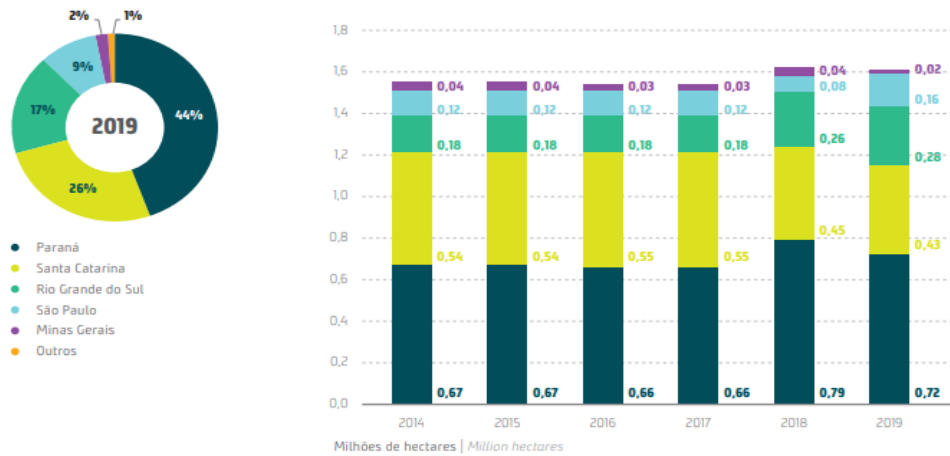
A utilização da madeira do gênero *Pinus*, cresceu consideravelmente nas últimas três décadas, sendo considerada uma matéria-prima essencial para mover a economia brasileira em vários setores de produção (VASQUES *et al.*, 2007). Conforme o anuário da Associação Catarinense de Empresas Florestais – ACR, (2016), o Brasil se destaca na alta produtividade florestal de espécies como o *Pinus* e *Eucalyptus*, tornando-se referência mundial.

De acordo com o relatório anual da Indústria brasileira de árvores (IBÁ, 2020a), no Brasil, o gênero *Pinus* é responsável por 1,64 milhão de hectares plantados, sendo que destes, 44% estão concentrados no Paraná, 26% em Santa Catarina, 17% no Rio Grande do Sul, 9% em São Paulo e 2% em Minas Gerais (Figura 1). Em Santa Catarina, a adaptação do *Pinus* ocorreu principalmente pelas condições edafoclimáticas apropriadas para seu desenvolvimento (IBÁ, 2020b), possuindo uma produtividade que pode atingir 44 m³/ha.ano (ACR, 2016).

A espécie *Pinus taeda* L. é a mais plantada no Brasil, especialmente no Sul do País, sendo uma importante matéria prima para abastecer o setor industrial brasileiro, além de ter alto índice de produtividade em regiões com clima mais frio (baixas temperaturas e com predomínio de geadas) e com solos mais ácidos, fraco em nutrientes e relevos acidentados (BOGNOLA *et al.*, 2007).

Figura 1 - Plantio de Pinus no Brasil, distribuição e concentração por estados.

Elaboração: FGV e Iba. | Source: FGV and Iba.



Fonte: Adaptado de IBÁ (2020a)

<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>

A madeira de *P. taeda* possui anéis largos e com boa estética, apresenta pouco teor de resina, boa trabalhabilidade, baixa retratibilidade (STUMPP, 2007, SHIMIZU, 2008) e rápido crescimento, o que facilita a sua industrialização e proporciona maior qualidade nos produtos (SHIMIZU, 2008). Aguiar *et al.*, (2011b) relatam que a espécie é utilizada principalmente na indústria de papel e celulose, madeira serrada, chapas e madeira reconstituída.

2.2 DETERIORAÇÃO DE MADEIRAS

Muitas das espécies de madeira mais utilizadas em diversos setores e usos em geral podem sofrer deterioração, principalmente quando expostas em condições que facilitem o desenvolvimento de organismos deterioradores (LEBOW, 2010). A deterioração da madeira está relacionada à destruição das propriedades deste material, que podem ser causadas por agentes químicos, físicos, mecânicos e bióticos (MENDES, ALVES, 1988; CASTRO, GUIMARÃES, 2018).

Uma grande quantidade de madeira e de produtos derivados desse material, são destruídos pelo processo de decomposição e podridão (SRIVASTAVA *et al.*, 2013), acarretando prejuízos a produtores e consumidores, na questão de material e mão de obra gastos para substituir a madeira deteriorada (MORESCHI, 2013).

Quando a degradação ocorre pela ação de agentes bióticos, chamamos de biodeterioração, onde as mudanças indesejadas nas propriedades da madeira são causadas pela ação de microrganismos vivos (CASTRO, GUIMARÃES, 2018). Os

principais agentes biológicos que destroem a madeira são os fungos, insetos, bactérias e brocas marinhas (HIGHLEY, 1999; SINGH, SINGH, 2011; MORESCHI, 2013). Os constituintes da madeira são degradados parcial ou totalmente, por estes organismos como fonte de alimento (MORESCHI, 2013).

Os principais componentes da madeira de interesse para os agentes biológicos são: celulose, hemicelulose e lignina, e em sequência os materiais nitrogenados, amido, açúcares, pectina entre outros, que estão presentes na madeira em menor quantidade (REVISTA DA MADEIRA, 2013), e assim torna-se uma fonte de alimento para organismos xilófagos (MACHADO *et al.*, 2006).

2.2.1 Fungos apodrecedores

Dentre os agentes biológicos deterioradores de madeira, os fungos são os mais relevantes, isso em função da frequência com que estes organismos atacam este tipo de material, decompondo totalmente ou somente causando manchas, por esta razão são classificados em emboloradores, manchadores e apodrecedores (MOTTA *et al.*, 2013; MORESCHI, 2013; SRIVASTAVA, *et al.*, 2013; STANGERLIN *et al.*, 2013; SOUZA, DEMENIGHI, 2017).

Os fungos deterioradores podem ocasionar efeitos profundos em relação às propriedades da madeira, principalmente nos estágios iniciais de deterioração (XU *et al.*, 2019). Estes fungos pertencem às espécies filamentosas de Ascomycota e Basidiomycota (ARNSTADT *et al.* 2016), e necessitam de quatro requisitos básicos para seu desenvolvimento, sendo: umidade, oxigênio, temperatura (35°C) e a própria madeira que serve como alimento para este tipo de organismo (SHUPE *et al.*, 2008; CLAUSEN, 2010). Entretanto, Silva *et al.*, (2019), comentam que a capacidade de degradar os componentes da madeira, é variável entre o tipo de hospedeiro e o tipo de espécie fúngica.

Quando uma madeira se encontra já apodrecida, comumente é possível notar a presença de “orelhas de pau”, as quais são corpos de frutificação de macrofungos que da madeira retiram seu alimento (GALVÃO *et al.*, 2004). Dos corpos de frutificação são produzidos os esporos que podem ser carregados pelo ar e em contato com a madeira em condições que favoreçam o desenvolvimento destes fungos (FAO, 1986; GALVÃO *et al.*, 2004), a colonização certamente ocorrerá em um curto período de tempo, sendo que com a germinação, os esporos

originam fios bem finos, também chamados de hifas, que penetram a madeira e podem ser visualizados através de microscópio (FAO, 1986).

Os fungos xilófagos apodrecedores são considerados os mais incidentes no ataque a madeiras, principalmente pelas características que a madeira apresenta em determinadas situações de uso, como por exemplo, em condições de umidade, a madeira torna-se um local apropriado para o crescimento destes organismos, que ao atacar a madeira ocasionam perda de resistência, desintegração, amolecimento e descoloração (CALIL JUNIOR, 2006). Highley (1999) comenta que nessas condições, os fungos apodrecedores podem deteriorar o cerne e o alburno de muitas espécies de madeiras.

Na construção rural e na civil, vários elementos estruturais que são produzidos com madeira, acabam sendo destruídos principalmente por fungos apodrecedores, sendo necessária a substituição das peças atacadas, acarretando prejuízos econômicos (STANGERLIN *et al.*, 2013). Geralmente em função dos resíduos de madeira deixada pelos fungos xilófagos, a deterioração da madeira é dividida em dois principais grupos, sendo: podridão parda e podridão branca (SRIVASTAVA, *et al.*, 2013). Segundo Oliveira *et al.*, (2005), estes fungos apresentam características enzimáticas próprias que decompõem os constituintes primários da madeira.

2.2.1.1 *Podridão parda*

A podridão parda é causada por fungos do filo Basidiomicetos (SCHMIDT, 2006; RILEY *et al.*, 2014; ARNSTADT *et al.* 2016). A madeira acometida pela podridão parda (Figura 2) apresenta aspecto escurecido com coloração marrom-avermelhada em forma cúbica, resultado da degradação dos carboidratos (WILLIAMS, 2004) e sobra da lignina, que fica praticamente intacta (WILLIAMS, 2004; MORESCHI, 2013). Mendes e Alves (1988) discutem que o aspecto escurecido na madeira com podridão parda é resultado da maior quantidade de lignina deixada pelos fungos apodrecedores.

Figura 2 – Aspecto da madeira acometida por podridão parda.



Fonte: Imagem (Adaptada) de Alcântara (2015), Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131775/1/2015-EdsonL-CFP-Efeitos.pdf>.

De acordo com Schmidt (2006) apesar dos fungos de podridão parda (Tabela 1) não produzirem enzimas que degradam a lignina, existem evidências de que alguns destes fungos podem acarretar a metabolização de lignina, principalmente quando a madeira já se encontra em um estágio de podridão mais avançada. Na podridão parda ocorre a ação enzimática entre o micélio dos fungos biodeterioradores e as paredes celulares (MENDES; ALVES, 1988).

Tabela 1 - Lista de espécies fúngicas causadoras de podridão parda em madeiras e descrita na literatura.

Espécies fúngicas causadoras de podridão parda
<i>Antrodia taxa</i>
<i>Caniophora puteana</i>
<i>Fomitopsis palustris</i>
<i>Fomitopsis pinicola</i>
<i>Gloeophyllum sepiarium</i>
<i>Gloeophyllum trabeum</i>
<i>Laetiporus sulphureus</i>
<i>Lentinus lepideus</i>
<i>Mucor cicinelloides</i>
<i>Neolentinus lepideus</i>
<i>Phaeolus schweinitzii</i>
<i>Phellinus noxius</i>
<i>Piptoporus betulinus</i>
<i>Polyporus meliae</i>
<i>Postia placenta</i>
<i>Sclerotium rolfsii</i>
<i>Serpula lacrymans</i>

Fonte: Adaptado de (WOŻNIAK, 2022, p. 2).

Os fungos responsáveis pela podridão parda atacam a estrutura da madeira através de tecidos axiais que rapidamente ocasionam diferentes furos na parede

celular e posteriormente também pode ocorrer o rompimento das paredes celulares (WILLIAMS, 2004). *Gloeophyllum trabeum*, é um dos responsáveis pela podridão parda (AGUIAR *et al.*, 2013), é um fungo filamentosos que quando ataca madeira, acaba decompondo rapidamente a lignocelulose (OH *et al.*, 2019). De acordo com Green III *et al.*, (1996), a deterioração causada por este tipo de fungo é a mais destrutiva em madeiras de coníferas.

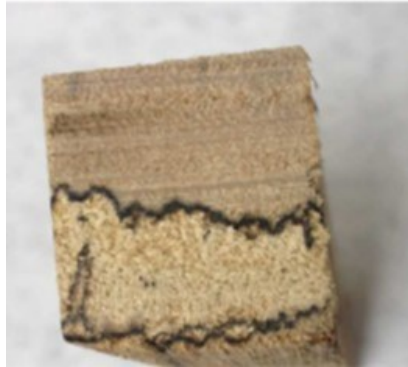
2.2.1.2 Podridão branca

A podridão branca se caracteriza como sendo a degradação da celulose, hemicelulose e lignina causada geralmente por basidiomicetos e raramente por ascomicetos (SCHMIDT, 2006). O sistema enzimático dos fungos causadores de podridão branca proporciona a formação de orifícios que possibilitam com que os fungos se assentem na madeira e no decorrer da deterioração, estes orifícios acabam se juntando formando uma grande erosão da parede celular (MENDES; ALVES, 1988). Portanto, a degradação da parede celular possui a tendência de avançar da superfície do lúmen celular por meio das camadas S3, S2, e S1 e por fim degradar a parede primária e a lamela média, resultando na separação das fibras da madeira (WILLIAMS, 2004).

Segundo Srivastava *et al.*, (2013), fungos de podridão branca possuem a característica de apresentar enzimas celulolíticas e degradadoras de lignina, portanto estes fungos podem destruir toda a estrutura da madeira. Moreschi (2013), relata que além do aspecto que a madeira (Figura 3) atacada apresenta, ocorre também a perda de massa e resistência, devido ao consumo de celulose, hemicelulose e da lignina.

A deterioração da madeira causada por fungos de podridão branca pode alcançar diferentes formas, pois a madeira quando atacada, apresenta aparência esbranquiçada com aspecto esponjoso (SRIVASTAVA *et al.*, 2013), e perda de suas propriedades mecânicas em função da maior quantidade de holocelulose existente na madeira (MENDES; ALVES, 1988).

Figura 3 –Aspecto da madeira acometida por podridão branca.



Fonte: Imagem (Adaptada) de Alcântara (2015), Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131775/1/2015-EdsonL-CFP-Efeitos.pdf>.

O fungo *P. sanguineus* é um deteriorador de materiais lignocelulósicos, causador da podridão branca (ROHR et al., 2013; TÉLLEZ-TÉLLEZ *et al.*, 2016). Este fungo possui coloração laranja-avermelhada do basidioma e microscopicamente pelo sistema hifal trimítico e basidiosporos cilíndricos (RECK; SILVEIRA, 2008; TÉLLEZ-TÉLLEZ *et al.*, 2016).

Outro fungo também responsável pela podridão branca é o *T. versicolor*, cujo corpo de frutificação possui até 10 cm de largura, com coloração castanha, amarela ou azulada (Schmidt, 2006). Além destes fungos, Woźniak (2022, p. 2) lista uma série de espécies fúngicas que também são responsáveis pela podridão branca (Tabela 2).

Tabela 2 – Lista de espécies fúngicas causadoras de podridão branca em madeiras e descrita na literatura.

Fungos de podridão branca
<i>Antronadia vaillanti</i>
<i>Ganoderma applanatum</i>
<i>Ganoderma lucidum</i>
<i>Hexagonia apiaria</i>
<i>Hypocrea lixii</i>
<i>Irpex lacteus</i>
<i>Lenzites betulina</i>
<i>Oligoporus lowei</i>
<i>Pleurotus ostreatus</i>
<i>Pycnoporus coccineus</i>
<i>Pycnoporus sanguineus</i>
<i>Schizophyllum commune</i>
<i>Trametes (Lenzites) elegans</i>
<i>Trametes (corioulus) versicolor</i>
<i>Trichaptum abietinum</i>

Fonte: Adaptado de (WOŹNIAK, 2022. p. 2)

2.3 PRESERVAÇÃO DA MADEIRA

A madeira representa um importante papel na economia mundial, principalmente nas áreas de construção civil e movelaria (GONZÁLEZ-LAREDO *et al.*, 2015). As propriedades físico-mecânicas e anatômicas da madeira as tornam um material bastante utilizado e com muitas vantagens em relação a outros materiais como o concreto, alumínio, plástico e aço além de possuírem algumas outras vantagens tais como a beleza, resistência mecânica, isolamento térmico, fácil trabalhabilidade e baixo consumo de energia para o seu processamento (VIDAL *et al.*, 2015). De acordo com Calil Júnior e Dias (1997), a madeira possui resistência/densidade aproximadamente três vezes maior quando comparada ao aço e dez vezes maior em relação ao concreto.

Segundo Vidal *et al.*, (2015), com a expansão industrial, ocorreu a necessidade da utilização de madeiras naturalmente pouco duráveis e que por consequência disso necessitam de tratamento preservante. Os mesmos autores ainda comentam que o uso de tratamento de madeira teve início desencadeado no final do século XIX, cujo objetivo foi atender a demanda de dormentes para a ferrovia e somente no final da década de 1960 este método teve aumento significativo nas unidades industriais de preservação.

A utilização de preservantes não está restrita apenas a beneficiar a durabilidade da madeira, mas também está atrelada na possibilidade de reduzir os custos e a pressão de exploração sobre florestas naturais e consequentemente também a diminuição da necessidade de substituição de produtos à base de madeira (KHADEMIBAMI; BOBADILHA, 2022).

De acordo com Thomasson *et al.* (2015), preservante de madeira é qualquer substância que seja eficaz contra a ação de fungos apodrecedores, insetos, brocas e outros tipos de organismos xilófagos durante um período razoável de tempo. Ainda segundo Thomasson *et al.*, (2015) a eficiência de um tratamento preservante de madeiras vai depender de alguns fatores, tais como: formulação do preservante utilizado, método de aplicação, teor de umidade da madeira, proporção de alburno quando comparado ao cerne, retenção e penetração. Os referidos autores complementam que há uma diferença na uniformidade do tratamento dependendo do tipo de madeira, geralmente o alburno aceita mais os preservantes em

comparação ao cerne, madeira de coníferas, por exemplo, tendem a ser tratadas mais uniformemente em relação a madeiras de folhosas.

De acordo com Medeiros (2014) para determinação da eficiência de um determinado composto na preservação de madeiras, é necessário adotar alguns procedimentos de forma ordenada, sendo que primeiramente realizam-se testes em meio de cultura em ambiente controlado, com intuito de verificar seu efeito antifúngico frente a agentes xilófagos. Ainda de acordo com o mesmo autor, depois disso se comprovado a potencialidade do produto testado, são realizados ensaios testando o produto em blocos de madeira simulando condições mais semelhantes com a realidade do uso da madeira e por fim, para que um produto preservante seja colocado no mercado é necessária a realização de ensaios a campo, que consiste em colocar estacas de madeira tratada em contato com o solo e expostas a intempéries naturais do ambiente, sendo este ensaio mais longo e demorado.

A preservação de madeiras com baixa durabilidade natural possui grande relevância, pois estas espécies são degradadas rapidamente (BARBOSA *et al.*, 2007). Quando não tratadas, madeiras com baixa durabilidade natural, ao serem expostas a ambientes externos principalmente, tornam-se facilmente suscetíveis à degradação causada por agentes bióticos e abióticos (LIIBERT *et al.*, 2011). Portanto, o tratamento preservante da madeira possibilita o aumento da vida útil deste material, reduzindo custos relacionados à reposição, além de aumentar a eficácia dos recursos florestais (LEBOW, 2010).

No Brasil, nas regiões Sul e Sudeste do país, encontram-se as principais indústrias de preservação de madeira, onde se encontram as maiores áreas de reflorestamento (ABRAF, 2013). Ainda segundo a mesma fonte, no ano de 2012, a estimativa é que a produção de madeira tratada chegou a 1,6 milhão de m³ e que esse aumento da procura pela madeira tratada ocorre em função da maior clareza que os compradores estão tendo em relação a qualidade do produto e suas várias utilizações.

Na história da indústria de preservação, os compostos químicos mais utilizados no tratamento preservante sobre pressão da madeira foram os seguintes: Creosoto, cromato de cobre, pentaclorofenol, arseniato de cobre cromatado (CCA), arseniato de cobre amoniacal e boratos inorgânicos (JORGE *et al.*, 2019). Atualmente, alguns dos preservantes utilizados na história da indústria de preservação da madeira foram descartados e não mais utilizados devido a sua

toxicidade como, por exemplo, o lindane e o pentaclorofenol (VIDAL *et al.*, 2015). No Brasil, para a preservação da madeira, os compostos químicos que são mais utilizados são o CCA, CCB (Borado de cobre cromatado) e o Creosoto (SOUZA, DEMENIGHI, 2017). No entanto, apesar de serem muito eficientes, algumas formulações podem apresentar risco para a saúde dos operadores além de impactos ambientais (JORGE *et al.*, 2019), principalmente se manuseados de forma errada. Com base nisso, Ibach e Lebow (2012), comentam que há grande importância e necessidade de desenvolver novos produtos para conservar a madeira.

2.3.1 Preservantes naturais

Os investimentos na área de preservação da madeira representam um campo promissor, em virtude da necessidade de produzir produtos eficientes, de alto desempenho e que sejam ambientalmente corretos (TEACA *et al.*, 2019). Broda (2020) ainda complementa que atualmente, estudos voltados para esta temática estão em constante crescimento e envolve diferentes abordagens.

As pesquisas relacionadas a produtos alternativos envolvem o uso de substâncias naturais quanto a sua origem, que possam ser tóxicos a agentes xilófagos e até mesmo sistemas que sejam eficientes na inibição de fatores como o oxigênio e água, que estão diretamente relacionados ao desenvolvimento de organismos deterioradores de madeira (BOSSARDI; BARREIROS, 2011).

Um dos métodos utilizados para controle de umidade é a utilização de agentes hidrofobizantes naturais, como por exemplo, ceras e resinas ou óleos vegetais (HUMAR; LESAR, 2013; TERZIEV; PANOV, 2011). Teaca *et al.*, (2019), observaram que óleos essenciais e cera de abelha, por exemplo, quando aplicadas na madeira podem conferir proteção e eficiência na superfície e por consequência trazem melhorias na resistência à água, influenciando positivamente na estabilidade dimensional deste material.

Uma técnica mais inovadora, a respeito de alternativas para se prolongar a vida útil de madeira é a utilização de agentes de controle biológico, onde organismos (fungos ou bactérias) agem como antagonistas de fungos que degradam madeira (GONZÁLEZ-LAREDO, *et al.*, 2015; SUSI *et al.*, 2011). Outro método alternativo para aumentar a durabilidade da madeira em serviço é a utilização de compostos

naturais que possuem atividade biocida e que tenham fixação no interior da estrutura da madeira (TEACA *et al.*, 2019; SINGH; SINGH, 2011).

As plantas apresentam metabólitos secundários (compostos orgânicos) que servem como proteção e sobrevivência a condições impostas pelo ambiente, tais substâncias podem auxiliar contra a ação de fungos, neste sentido podem ser uma alternativa no controle de patógenos (HULLER *et al.*, 2019). Batish *et al* (2008) relatam que o uso de óleos essenciais para proteger a madeira é um método interessante, em vista de que já há conhecimento de que seus compostos possuem efeitos antibacteriano, antifúngico e inseticida.

De acordo com Oliveira *et al.*, (2005), a durabilidade em madeiras é resultado da existência dos componentes secundários, que na maioria das vezes podem estar em pequenas quantidades, porém em determinadas espécies podem atingir valores mais altos. Esses componentes são chamados de extrativos e podem ser extraídos da madeira através da utilização de solventes orgânicos [...] ou por volatilização (OLIVEIRA *et al.*, 2005). Segundo Rowell *et al.* (2013), os extrativos estão presentes em maiores quantidades em madeiras de coníferas, quando comparado com madeiras de folhosas, e estes são responsáveis por algumas propriedades, tais como, cheiro, cor e durabilidade natural (KLOCK; ANDRADE, 2013; ROWELL *et al.* 2013), gosto e propriedades abrasivas (KLOCK; ANDRADE, (2013).

2.3.1.1 Óleos essenciais

Os óleos essenciais são classificados como compostos naturais, os quais são obtidos a partir de partes não lenhosas de plantas, mais comumente das folhas, e através do método de hidrodestilação ou vapor (BATISH *et al.*, 2008). São uma mistura composta principalmente de terpenóides (monoterpenos e sesquiterpenos) e também de cetonas, álcoois, aldeídos, ácidos carboxílicos, lactonas e ésteres (BATISH *et al.*, 2008.; VODAL *et al.*, 2003), que dão as características de aroma e odor a planta (BATISH *et al.*, 2008).

Neste contexto, Montanari (2010) descreve que os óleos essenciais estão relacionados à sobrevivência e defesa das plantas contra predadores, microrganismos e insetos. Por razão de suas propriedades antibactericidas e

antifúngicas, o uso dos óleos essenciais está cada vez mais em evidência como produto alternativo a químicos sintéticos (BAKKALI *et al.*, 2008).

As atividades antifúngicas de vários extratos de plantas e óleos essenciais contra muitas variedades de fungos xilófagos de madeiras foram relacionadas aos compostos presentes, como os taninos, terpenos, flavonóides e terpenóides (TASCIOGLU *et al.*, 2013). Estudos avaliando extratos de plantas e óleos essenciais demonstraram resultados promissores na eficiência contra fungos decompositores de madeira, onde ao avaliar algumas espécies constataram que os óleos essenciais de lavanda (BAHMANI; SCHMIDT, 2018), capim limão e tomilho (BAHMANI; SCHMIDT, 2018, XIE *et al.*, 2017), tiveram resultados significativos na ação antifúngica contra espécies de fungos decompositores de madeira.

As principais vantagens da utilização de óleos essenciais como método para proteção da madeira são:

“1) As plantas podem ser produzidas em grandes quantidades como produtos agrícolas (recurso renovável); (2) Alguns óleos podem combinar efeitos antifúngicos, inseticidas e antibacterianos; (3) Os óleos essenciais são amigos da saúde (muitos deles são usados em medicina, aromaterapia e cosméticos) e causam apenas pequenos problemas em termos de liquidação de produtos tratados após sua vida útil.” (PÁNEK; REINPRECHT; HULLA, 2014, p. 5590).

Com base nisso, os óleos essenciais se tornam muito relevantes, pois podem gerar preservantes seguros e ecológicos (BAHMANI; SCHMIDT, 2018).

2.3.1.2 Óleo de *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf

Originária da Índia e pertencente à família Poaceae, a espécie *Cymbopogon citratus* (Figura 4) possui grande distribuição em países tropicais, sendo que no Brasil é conhecida por diferentes nomenclaturas como capim-limão, erva-cidreira, capim-santo (MACHADO *et al.*, 2015), capim-cidrão, capim-cidró, citronela-de-java e capim-cheiroso (LUCENA *et al.*, 2015). “Essa espécie é uma erva perene, ereta, que forma touceiras compactas, com caule rizomatoso, muito ramificado, semissubterrâneo e com nós bem demarcados” (SILVA *et al.*, 2010, p. 67).

De acordo com Ortiz *et al.*, (2002), os rendimentos agrícolas de *C. citratus* são influenciados pela qualidade, quantidade e duração de luz e a posição vertical das folhas proporciona maior área foliar por unidade de superfície de solo e conseqüentemente melhor utilização da luz. Ainda segundo os mesmos autores,

este fator aliado ao aumento da temperatura e também da duração do dia, provoca um rápido crescimento da massa verde experimentada, alcançando maturidade em um tempo mais curto.

Segundo Guimarães *et al.*, (2008), o capim limão é uma planta aromática utilizada comercialmente para a produção de óleo essencial que internacionalmente é conhecido como “Lemongrass”. A produção comercial de capim limão no Brasil possui grande importância principalmente nos estados do sul e sudeste, especialmente no estado do Paraná, pois este é considerado o maior produtor de plantas medicinais aromáticas do país (GOMES *et al.*, 2007).

O óleo essencial de *C. citratus* possui como constituinte majoritário o citral (GUIMARÃES *et al.*, (2008), que é “composto pela mistura dos isômeros geranial e neral (65-80%), além de limoneno, citronelal, mirceno e geraniol” (CORTEZ *et al.*, 2015, p. 434-435). Segundo Guimarães *et al.*, (2008) o citral é o constituinte presente no óleo essencial usado como germicida, repelente a insetos e também em indústrias farmacêuticas.

Figura 4 - Imagem representativa do capim-limão (*Cymbopogon citratus*), Curitiba, SC.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

2.3.1.3 Óleo de *Cupressus lusitanica* Mill.

Os gêneros que mais se destacam na família Cupressaceae são *Cupressus* e *Juniperus*, sendo que as espécies do gênero *Juniperus* ocorrem na América do Norte, Europa, Ásia e Oriente Médio e correspondem a mais de 70 espécies. (OKINO *et al.* 2010). Já o gênero *Cupressus* possui cerca de 20 espécies as quais estão distribuídas no Hemisfério Norte nas regiões temperadas e subtropicais, sul da Europa, na Ásia e norte da África (ZAMUDIO; CARRANZA, 1994).

Dentre as espécies do gênero *Cupressus*, destaca-se *C. lusitanica* (Figura 5) sendo esta mais indicada para plantios no Brasil (DOBNER JÚNIOR *et al.*, 2018). De acordo com Teke *et al.*, (2013), as folhas desta espécie são utilizadas tradicionalmente para curar algumas doenças de pele e também para repelir insetos nos estoques de grãos. De acordo com Zhao e Sakai (2003) a maior parte dos componentes químicos encontrados no óleo essencial de *C. lusitanica* são diterpenos como, por exemplo, labdanos, abietanos, pimaranos e kaurenos, os quais possuem atividade antidermatófica.

Figura 5 – Imagem representativa de *Cupressus lusitanica*. Curitiba, SC.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Shimizu *et al.*, (1995) comentam que *C. lusitanica* possui potencial de utilização mais ampla, sua madeira possui boa qualidade para uso em construções, marcenaria, celulose e embalagens.

2.3.1.4 Óleo de *Drimys brasiliensis* Miers.

A espécie *Drimys brasiliensis* Miers (Figura 6), também “conhecida popularmente como cataia ou casca-d’anta” (MAGGIONI *et al.*, 2020, p. 1195), pertence à família Winteraceae (ABREU *et al.*, 2005; MAGGIONI *et al.*, 2020), é nativa do bioma Mata atlântica e de ocorrência no Brasil em vegetações como a Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Densa e Floresta Estacional Semidecidual (ABREU *et al.*, 2005, RADOMSKI *et al.*, 2013).

Figura 6 - Imagem representativa de *Drimys brasiliensis*. UFSC, Campus de Curitibanos, Curitibanos, SC.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Tradicionalmente a espécie é utilizada para tratar alguns tipos de problemas como diarreias, náuseas, disenterias, cólicas, febre e prisão de ventre (MAGGIONI, 2017). Segundo Mariot *et al.*, (2011), a *D. brasiliensis* contém diversas substâncias com potencial para uso medicinal, tanto nas folhas, quanto nas cascas foram encontradas: óleos essenciais aromáticos, pectina, tanino, resinas, monoterpenos, drimina, flavonoides entre outros.

Principalmente devido à presença de monoterpenos e sesquiterpenos, o óleo essencial de cascas e folhas de *D. brasiliensis* apresentam atividades antibacteriana, antialérgica, anti-inflamatória e antifúngica (LAGO *et al.*, 2010; LIMBERGER *et al.*, 2007; MALHEIROS *et al.*, 2005; ZEM *et al.*, 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCAL DE COLETA E DE REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

O material vegetal das espécies capim limão (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf.), cupressus (*Cupressus lusitanica* Mill.), e cataia (*Drimys brasiliensis* Miers), foram coletadas no município de Curitiba (SC). O clima da região, conforme a classificação de Köppen é do tipo Cfb - subtropical úmido, com temperatura mínima média de 12,4 °C e máxima média de 22 °C e com precipitação média anual de 1.479,7 mm (EMBRAPA, 2012).

Foram coletadas folhas de *C. lusitanica* e *C. citratus* durante o mês Junho de 2021, em uma propriedade rural do município de Curitiba (27°21'22'S e 50°33'32W). Já a coleta das folhas de *D. Brasiliensis*, ocorreram no mês de novembro de 2021 em área de Floresta Ombrófila Mista (IBGE, 1992), na trilha do pessegueirinho (27°17'13'S e 50°31'58W), situada nas dependências da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitiba.

As coletas ocorreram no período da manhã e em seguida levadas ao laboratório de Química, para posterior extração dos óleos essenciais.

3.2 EXTRAÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Após a realização da coleta, folhas frescas das espécies foram fragmentadas em pequenos pedaços e os óleos essenciais extraídos por meio de hidrodestilação em aparelho tipo Clevenger (adaptado), onde aproximadamente 200 g das folhas frescas, foram imersas em água destilada em balão de fundo redondo (2 L) (PINTO *et al.*, 2014).

O tempo de extração foi de 1h30min. para a espécie *C. citratus* (LIMA *et al.*, 2016; PINTO *et al.*, 2014), 3h para *D. brasiliensis* (GRAF JUNIOR *et al.*, 2021) e 4h para *C. lusitanica* (BETT *et al.*, 2016).

Após a finalização da extração, com o intuito de separar o óleo essencial do meio aquoso, adicionou-se sulfato de sódio anidro, para cada extração (Lima *et al.*, 2016). Posteriormente, os óleos essenciais foram pesados em balança analítica para determinação de rendimento das folhas frescas (Equação 1), na sequência vedados

e mantidos no freezer (-18°C ±2) até o momento de realização dos ensaios (MARTINAZZO *et al.*, 2013).

$$R\% = \frac{M_{oe}}{M_{planta}} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde: R% = rendimento do óleo essencial; M_{oe} = massa de óleo (g); M_{planta} = massa das folhas (g).

3.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

A composição química dos óleos essenciais foi determinada por meio de cromatografia gasosa acoplada em espectrometria de massas (CGMS). Para dar início às análises, diluiu-se 10 µL de óleo essencial em 0,490 µL de hexano, que em sequência foram injetados em CGMS (Agilent 7890A). Todos os óleos foram avaliados sob as mesmas condições cromatográficas.

A separação dos componentes foi realizada em coluna capilar de sílica fundida HP-5ms (5% fenil-polidimetilsiloxano; 30 m x 25 µm x 0,25 µm) utilizando rampa de aquecimento entre 60 e 280 °C a uma taxa de 8 °C min⁻¹. A temperatura do injetor e detector foi configurada para 300°C e gás hélio foi utilizado como gás de arraste a um fluxo de 1 mL min⁻¹. O detector de massas foi operado por impacto de elétrons de 70 eV e os dados foram coletados em uma faixa de 35-450 m/z (GRAF JUNIOR *et al.*, 2021).

Para a caracterização dos componentes foram selecionados automaticamente (software G1701EA GC/MSD Chemstation) os picos com área mínima acima de 1% do maior pico. A identificação dos componentes químicos presentes nos óleos essenciais ocorreu por meio da comparação do espectro de massas e do índice de Kovats experimental (K_{iexp}) e espectro de massas e Índices de Kovats ($K_{iteórico}$) já reportados em Adams (2007).

Para a determinação do Índice de Kovats experimental (K_{iexp}) 1 µL de solução contendo uma série de n-alcenos (C7-C32, Sigma Aldrich) à 1000 µg L⁻¹ foi injetada no CGMS sob as mesmas condições que as amostras de óleo essencial.

O índice de Kovats Experimental foi calculado conforme equação 2:

$$Ik_{exp} = \frac{t_{rX} - t_{rN}}{t_{rN+1} - t_{rN}} + 100.n \quad (2)$$

Onde: Ik_{exp} : índice de Kovats experimental; t_{rX} : tempo de retenção (tr) do componente X; t_{rN} : tempo de retenção do alcano N com tr anterior ao componente X.; t_{rN+1} : tempo de retenção do alcano N com tr posterior ao componente X.; n: número de átomos de carbono do alcano N.

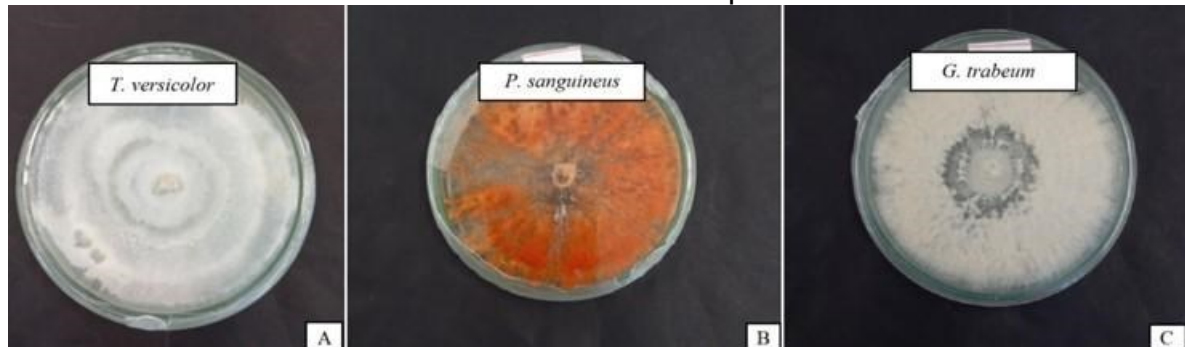
Para a obtenção da área de cada componente, os picos foram integrados manualmente utilizando software G1701EA GC/MSD Chemstation.

3.4 OBTENÇÃO DOS FUNGOS APODRECEDORES

Foram utilizados os fungos apodrecedores das espécies: *T. versicolor* (Linnaeus ex Fries), (Figura 7A) e *P. sanguineus* (L) Murril. (Figura 7B), ambas responsáveis pela podridão branca e *G. trabeum* (Persoon. Ex Fries) Murr., (Figura 7C) causador da podridão parda. Estes fungos foram cedidos pelo Laboratório de Produtos Florestais (LPF), do Serviço Florestal Brasileiro (SFB), situado em Brasília – DF.

Os fungos foram cultivados em meio de cultura BDA (Batata, Dextrose, Ágar), rotineiramente para que se mantivessem puros, ou seja, sem contaminantes. Em seguida, foram mantidos em incubadora BOD, até início dos experimentos, em condição de temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12 horas.

Figura 7 – Fungos decompositores de madeira cultivados em meio de cultura BDA, utilizados como fonte de inóculos para os ensaios.



Legenda: A) *Trametes versicolor.*, B) *Pycnoporus sanguineus.*, C) *Gloeophyllum trabeum.*
Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

3.5 ENSAIO ANTIFÚNGICO *IN VITRO* DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Para avaliar a atividade antifúngica *in vitro* dos óleos essenciais, através da inibição do crescimento micelial dos fungos *T. versicolor*, *P. sanguineus* e *G. trabeum*, foram realizados três ensaios distintos com diferentes concentrações de óleos essenciais, testados previamente, e três espécies de plantas.

O desenho experimental utilizado foi um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco tratamentos: cinco concentrações dos óleos essenciais de: *C. lusitanica* e *D. brasiliensis* (0, 250, 500, 1000 e 2000 ppm) e do óleo essencial de *C. citratus* (0, 50, 100, 150, 250, 500, 1000 ppm). O tratamento controle foi sem a utilização de óleo essencial (0 ppm). Cada unidade experimental foi constituída de uma placa de Petri, contendo 20 mL de meio de cultura BDA. Em cada tratamento foram utilizadas cinco repetições.

A autoclavagem do meio de cultura foi a 121 °C por 20 min a 1,3 atm. Em câmara de fluxo laminar, após o resfriamento, adicionou-se ao meio BDA fundente, antibiótico (estreptomicina e penicilina) 300 mg L⁻¹ e 0,5% (v/v) de Tween20® para facilitar a diluição de cada um dos óleos essenciais testados que também foram incorporadas ao meio. Após a solidificação do meio, de acordo com cada tratamento, no centro de cada placa de Petri, previamente esterilizada, foi inoculado um disco de micélio de 5 mm, de acordo com o método de Grigoletti Júnior e Lau (1999). Em seguida, as placas foram vedadas e incubadas à temperatura de 25°C e fotoperíodo de 12h, de acordo com o método de Souza Junior *et al.* (2009).

Decorrido o período de 24h da instalação do experimento, realizou-se a primeira avaliação do diâmetro das colônias, sendo realizadas duas medições

perpendiculares em cada placa de Petri com o auxílio de uma régua milimétrica (SOUSA *et al.*, 2012), sendo as medições realizadas a cada dois dias e até que os fungos cobrisse totalmente as placas testemunhas de acordo com o método de Bianchini *et al.*(2022).

Para o cálculo do índice de crescimento micelial (ICM) utilizou-se a fórmula (2) relatada por Ferreira *et al.*(2009), sendo:

$$\text{ICM} = [(C1/N1)+(C2/N2)+\dots+(C n/Nn)] \quad (2)$$

Onde: ICM = índice de crescimento micelial; C1, C2, Cn = Desenvolvimento/crescimento micelial do fungo na primeira, segunda e última avaliação; N1, N2, Nn = número de dias após a inoculação.

A porcentagem de inibição de crescimento (PIC) micelial foi por meio da equação 3, descrito no estudo realizado por Talgatti *et al.*, (2020).

$$\text{PIC} = (\text{DTe} - \text{DTr}) / \text{DTe} * 100 \quad (3)$$

Onde: PIC = Porcentagem de Inibição de crescimento micelial; DTe = Diâmetro da testemunha; DTr = Diâmetro do tratamento.

3.6 CONFECÇÃO DE CORPOS DE PROVA PARA TRATAMENTO PRESERVANTE E ENSAIO DE APODRECIMENTO ACELERADO

A madeira utilizada foi da espécie *P. taeda*, oriunda de um plantio de aproximadamente 12 anos, a qual foi obtida em forma de tábuas em uma serraria no município de Curitibaanos - SC. Os corpos de prova foram confeccionados nas dimensões de 2,5 x 2,0 x 0,9 cm nos sentidos radial, tangencial e longitudinal, sendo estas dimensões baseadas na norma *American society for testing and materials* – ASTM D 2017 (1994), porém com uma das dimensões dos corpos de prova adaptada para este trabalho.

Confeccionou-se 84 corpos de prova, sendo que destes 63 corpos de prova foram utilizados para tratamento preservante com óleos essenciais e 21 serviram como amostras controle, sem preservante (testemunhas).

Ainda seguindo as instruções da norma ASTM D 2017 (1994), após a confecção, os corpos de prova seguiram para estufa de circulação forçada de ar, em temperatura de 50°C, onde permaneceram até atingir massa constante. Depois disso, determinou-se em balança analítica com precisão de 0,0001 g, a massa inicial (MI).

3.7 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE APARENTE

Para que fosse possível caracterizar a densidade aparente da madeira, com o auxílio de um paquímetro digital, determinou-se o volume de cada corpo de prova (após secagem a 50°C). Para determinação utilizou-se a equação 5.

$$Da = \frac{m}{v} \quad (5)$$

Onde: Da = densidade aparente da madeira (em g/cm³); m = massa (em g); v = volume (em cm³).

3.8 ENSAIO ANTIFÚNGICO *IN VIVO* DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

3.8.1 Seleção de preservante de madeira

Para tratar os corpos de prova de *P. taeda*, utilizou-se a dose mais eficiente de cada óleo essencial testado em ensaio de crescimento micelial, (descrito na seção 3.5) como tratamento preservante (Tabela 1).

Tabela 3 – Doses (ppm) dos óleos essenciais utilizados no tratamento preservante da madeira de *P. taeda*.

Tratamento preservante	Doses (ppm)
Testemunha (sem óleo essencial)	0
Óleo essencial de <i>C. citratus</i>	1000
Óleo essencial de <i>C. lusitânica</i>	2000
Óleo essencial de <i>D. brasiliensis</i>	2000

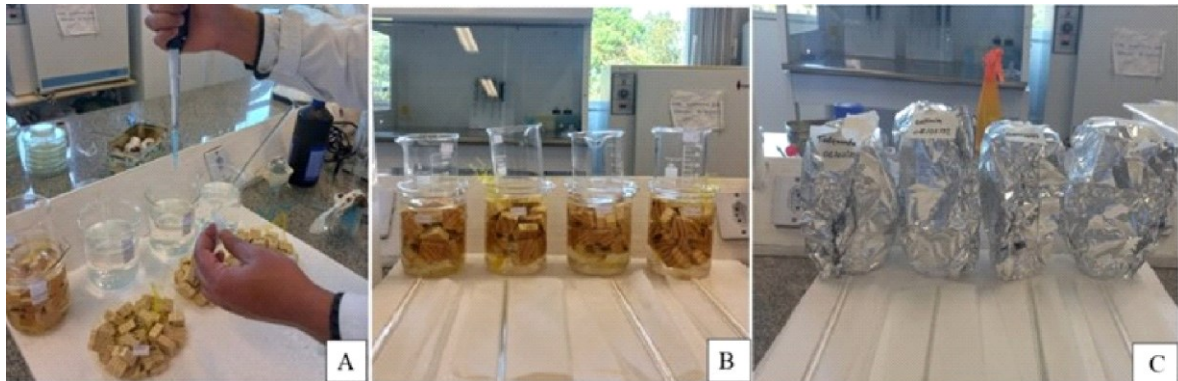
Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

O tratamento preservante da madeira de *P. taeda* (Figura 8), foi realizado de acordo com metodologia de Vivian *et al.*, (2019) adaptada. O método de tratamento

foi o método de imersão a frio, onde os corpos de prova permaneceram em contato com a solução contendo o óleo essencial por 3 dias, pois nesse período de tempo segundo Rocha (2001) a absorção é mais eficiente.

Para que houvesse melhor distribuição do óleo essencial, a solução preservante para cada óleo essencial foi diluída a 10% de etanol. Em seguida os Béqueres contendo 500 mL da solução preservante foram cobertos com papel alumínio, para evitar o contato direto com a luminosidade e preservar as propriedades químicas dos óleos essenciais durante o período em que os corpos de prova permaneceram em contato com a solução.

Figura 8 – Tratamento da madeira de *P. taeda* com óleos essenciais de *C. citratus*, *C. lusitanica* e *D. brasiliensis*.



Legenda: A) Adição de cada óleo essencial em seu respectivo tratamento.; B) Corpos de prova de *P. taeda* imersos na solução preservante.; C) Frascos cobertos para evitar luminosidade durante o tratamento preservante.

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Após o término do tratamento, os corpos de prova foram secos ao ar livre por dois dias em seguida em estufa na mesma temperatura pré-ensaio e em sequência esterilizados, para posterior ensaio de apodrecimento acelerado.

3.8.2 Eficiência do tratamento

3.8.2.1 Ensaio de apodrecimento acelerado em laboratório

Para determinar a eficiência do tratamento preservante, utilizou-se como método de avaliação ensaio de apodrecimento acelerado, descrito na norma ASTM D 2017 (1994), com adaptações para determinar a eficiência do tratamento, não a “durabilidade natural” da madeira, conforme prevê a norma.

O desenho experimental utilizado foi um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com três tratamentos (Óleos essenciais de: *C. lusitanica*, *D. brasiliensis* e *C. citratus*) compostos por sete repetições. Cada unidade experimental consistiu em um frasco de ensaio.

Antes de dar início ao ensaio de apodrecimento, os fungos utilizados (*T. Versicolor*, *P. sanguineus* e *G. trabeum*) foram repicados em placas de Petri contendo meio BDA, para que assim fosse possível obter placas puras que seriam utilizadas mais adiante.

Para cada espécie fúngica foram preparadas 25 placas de Petri. O inóculo consistiu em um disco de 1 cm, contendo o micélio do fungo. Após isso, as placas foram mantidas em incubadora por duas semanas para que ocorresse o crescimento do micélio, para posterior inoculação sobre os corpos de prova.

Para iniciar, 84 frascos de vidro com capacidade de 500 mL foram preenchidos com 100 g de solo de horizonte B e com pH de 5,8. O solo utilizado foi coletado da fazenda experimental florestal, da UFSC Curitibaanos, e posteriormente peneirado para padronização. Ajustou-se a capacidade de campo do solo a 130%, conforme a equação 6.

$$Qa = [1,30 * (A - B) * [D (100 + B)]] \quad (6)$$

Onde: Qa= Quantidade de água a ser adicionada (g); A = Capacidade de retenção de umidade do solo (%); B = Teor de umidade do solo seco ao ar (%); D = Massa de sol o seco ao ar utilizado nos frascos de vidro (g).

Após este procedimento cada frasco recebeu uma placa suporte (Figura 9) nas dimensões de 0,3 x 3,0 x 3,0 mm (radial, tangencial e longitudinal), sendo da espécie de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) para os frascos que receberam os fungos causadores de podridão branca e placas de Pinus (*Pinus* spp.) os frascos que receberam o fungo de podridão parda. Essas placas serviram como fonte de alimento para o desenvolvimento inicial dos fungos apodrecedores.

Figura 9 - Frascos com placa suporte.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Finalizada esta etapa os frascos foram esterilizados em autoclave por um período de 30 minutos em temperatura de 121°C, para posterior procedimento de inoculação dos fungos apodrecedores

A inoculação de cada fungo nos frascos de ensaio ocorreu por meio da transferência de discos de micélio adicionados próximo ao solo em contato com as placas suporte. Após este procedimento os fungos permaneceram em câmara tipo BOD em temperatura de 25°C, até que o micélio dos fungos colonizasse completamente a placa suporte.

Finalizado este período, os corpos de prova da madeira de *P. taeda* já tratados com os óleos essenciais foram introduzidos sobre a placa suporte já colonizados no interior de cada frasco de vidro com cada tipo de fungo (Figura 10), onde permaneceram nessa condição por um período de 16 semanas, de acordo com a metodologia descrita por Modes *et al.*(2012).

Figura 10 - Corpos de prova sob a placa suporte já colonizada pelos fungos apodrecedores de madeira.



Legenda: A) *T. versicolor* B) *G. trabeum* C) *P. sanguineus*
Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Com o auxílio de uma escova, os micélios aderidos aos corpos de prova foram removidos após 16 semanas de incubação. Em seguida os corpos de prova foram secos em estufa, em temperatura de 50°C até atingirem massa constante. Com a determinação da massa final (MF), calculou-se a perda de massa do corpo de prova. Com os dados da massa inicial (MI) e massa final (MF) por corpo de prova (PMcp), foi possível avaliar a eficiência do tratamento preservante através da equação 7.

$$PMcp \% = \frac{Mi - Mf}{Mi} * 100 \quad (7)$$

Onde: PMcp= Perda de massa do corpo de prova (%); Mi = Massa inicial após secagem em estufa (antes da exposição ao fungo) (g); Mf = Massa final após secagem em estufa (após exposição ao fungo),(g).

Para a classificação de resistência da madeira de *P. taeda* e a determinação da eficiência de cada tratamento preservante foi utilizado os critérios definidos na Tabela 4, para a definição da classe resistência.

Tabela 4 - Classificação da resistência natural da madeira em função da perda de massa, de acordo com a norma de ASTM D 2017.

Perda de massa (%)	Massa residual (%)	Classes de resistência
0 a 10	90 a 100	Altamente resistente
11 a 24	76 a 89	Resistente
25 a 44	56 a 75	Moderadamente resistente
45 ou mais	55 ou mais	Pouco ou não resistente

Fonte: Adaptado de ASTM D 2017 (1994)

3.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para o ensaio *in vitro*, adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC). Cada tratamento foi composto por 5 repetições, onde cada repetição consistiu em uma placa de Petri. Os dados obtidos, foram analisados no software *R studio*, e submetidos a análise de variância, Shapiro-wilk. Com base na análise de variância e valor F, seguiu-se com teste Tukey a 5% de probabilidade de erro. Os dados também foram analisados por meio de regressão, onde a escolha do melhor modelo ocorreu pela significância do modelo e pelo coeficiente de determinação (R^2).

No ensaio de deterioração acelerada, os dados foram submetidos ao teste Shapiro-Wilk e posteriormente foram avaliados através da análise de variância (ANOVA) e comparação de médias por meio do teste Tukey (5% de probabilidade).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os óleos essenciais de *C. citratus* e *C. lusitanica* apresentaram coloração amarelada mais proeminente, já o óleo essencial de *D. brasiliensis* apresentou coloração levemente amarelada. Ambos os óleos essenciais apresentaram odor bem expressivo. O melhor rendimento de óleo essencial foi obtido do capim-limão (*C. citratus*) com 0,36% do peso das folhas frescas (Tabela 5). Madi *et al.*, (2021), ao avaliarem o rendimento do óleo essencial das folhas frescas de *C. citratus*, obtiveram os valores de 0,15 a 0,46%, corroborando com o resultado da presente pesquisa. Hanna *et al.*, (2012) encontraram um rendimento de 0,67% para o óleo essencial de *C. citratus* com base no peso fresco, sendo superior ao valor obtido neste trabalho. Entretanto vale ressaltar que o rendimento do óleo essencial também pode ser afetado pelo manejo empregado na espécie em que o óleo essencial está sendo extraído (HANNA *et al.*, 2012).

Para o óleo essencial de *D. brasiliensis*, o rendimento foi de 0,30% (Tabela 5) Em estudo, Graf Junior *et al.*, (2021) ao avaliarem o rendimento das folhas frescas da espécie *D. brasiliensis* situada no mesmo local do presente estudo, observaram um rendimento de 67 mg de óleo por 100 g de material vegetal fresco. Entretanto, os autores realizaram a coleta em mês diferente do presente estudo, o que pode ter acarretado na diferença encontrada no rendimento. Limberger *et al.*, (2007), identificaram para o óleo essencial da espécie um rendimento de 1,4 a 1,5% para as folhas frescas e para as folhas secas um rendimento de 1%.

Enquanto que, o menor rendimento de óleo essencial foi de *C. lusitanica* (0,28%), também a partir de folhas frescas (Tabela 5). Resultados semelhantes foram encontrados por Nteziyaremye *et al.*, (2021) que ao avaliarem o rendimento do óleo essencial das folhas frescas da espécie, encontraram rendimentos de 0,27, 0,34 e 0,39 %, em diferentes zonas agroecológicas da Ruanda.

Tabela 5 - Rendimento médio do óleo essencial das folhas frescas de *C. lusitanica*, *D. brasiliensis* e *C. citratus*, coletado na região de Curitiba, SC

Óleo essencial	Rendimento (%)	Número de extrações	Desvio Padrão
<i>C. lusitanica</i>	0,28	04	0,04
<i>D. brasiliensis</i>	0,30	06	0,07
<i>C. citratus</i>	0,36	04	0,04

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

4.1 CONSTITUINTES QUÍMICOS

Através da análise da composição química, encontrou-se 26 componentes no óleo essencial de *C. lusitanica*, 40 componentes no óleo essencial de *D. brasiliensis* e 13 componentes no óleo essencial de *C. citratus*. Para as três espécies, no total, foram encontrados 64 componentes diferentes, sendo que destes, 53 foram identificados (Tabelas 6, 7 e 8).

4.1.1 *Cupressus lusitanica*

Todos os componentes identificados para o óleo essencial de *C. lusitanica* estão listados na Tabela 6.

Tabela 6 - Composição química de óleos essenciais das folhas de *Cupressus lusitanica*

	Componente	RT _{min}	KI _{exp}	KI _{teor}	%	Classe
1	Triciclono	5,012	928	927	1,2	MH
2	α-tujeno	5,085	933	930	0,6	MH
3	α-pineno	5,223	940	939	6,3	MH
4	Canfeno	5,499	956	954	2,6	MH
5	n.i	5,906	977	-	0,4	-
6	Sabineno	5,954	979	975	3,7	MH
7	β Pineno	6,027	983	979	0,3	MH
8	Mirceno	6,247	993	991	2,2	MH
9	δ-2-careno	6,661	1016	1002	12,7	MH
10	α terpineno	6,767	1022	1017	1,8	MH
11	O-Cymene	6,921	1030	1026	0,9	MH
12	Limoneno	7,010	1035	1029	10,4	MH
13	γ-Terpinene	7,579	1065	1060	2,2	MH
14	α-terpineol	8,156	1093	1089	2,4	MH
15	Cânfora	9,260	1153	1146	4,5	MH
16	n.i	9,642	1173	-	1,0	-
17	n.i	9,780	1180	-	6,8	-
18	Terpinen-4-ol	9,861	1184	1177	5,6	MH
19	α Terpineol	10,089	1195	1189	0,5	MH
20	Citronelol	10,706	1231	1226	0,3	MH
21	Isobornyl-acetato	11,827	1293	1286	22,8	Éster
22	n.i	12,867	1356	-	1,7	-
23	α-Humuleno	14,662	1467	1455	0,3	SH
24	α- Cadinol	17,448	1654	1640	1,8	SO
25	Abietadiene	23,159	2104	2088	0,9	SH
26	n.i	23,687	2151	-	1,2	-

Legenda: TR: tempo de retenção.; Índice de retenção de Kovats experimental.; IKteórico: Índice de retenção de Kovats teórico.; n.i: Não identificado.; MH: Monoterpeno hidrocarboneto; MO: monoterpeno oxigenado; SH: sesquiterpeno hidrocarboneto; SO: sesquiterpeno oxigenado; DH: diperteno hidrocarboneto. Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

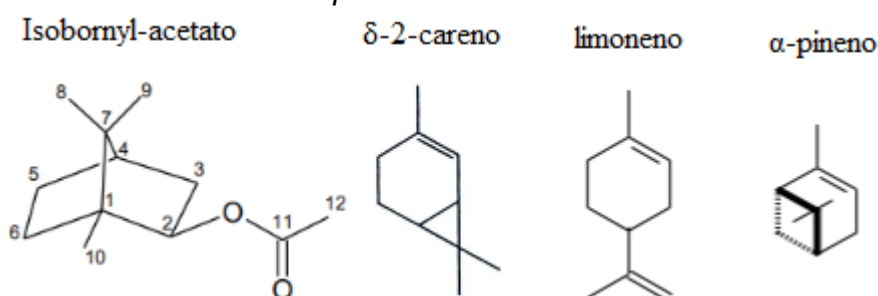
Dos componentes presentes no óleo essencial 58,6% pertencem a classe dos monoterpeno hidrocarboneto, 22,8% ésteres, 1,2% sesquiterpenos hidrocarboneto e 1,8% sesquiterpenos oxigenado.

Foram identificados como compostos majoritários: Isobornyl-acetato (22,8%), δ -2-careno (12,7%), limoneno (10,4%) e α -pineno (6,3%), representando 52,2% do total dos componentes presentes no óleo essencial (Figura 11).

Em comparativo com a literatura, os resultados encontrados se assemelham com os resultados obtidos por Hassanzadeh *et al.*, (2010), que ao avaliarem a composição química do óleo essencial das folhas de *C. lusitanica*, em Monteverde na Costa Rica, identificaram 49 compostos distintos no óleo essencial, tendo como componentes majoritários α -pineno, limoneno, acetato de isobornil e cis-muuro-la-4(14),5-dieno. Para a mesma espécie, Bett *et al.*, (2016), identificaram a presença de umbelulona, α -pineno, sabineno e limoneno, como componentes majoritários.

Outros estudos encontrados na literatura, mostram também, diferentes componentes majoritários para o óleo essencial de *C. lusitanica*, para a espécie situada na região oeste de Camarões, Teke *et al.*, (2013), encontraram entre os componentes majoritários germacreno, epi-zonareno, cis clameneno, terpen-4-ol.

Figura 11 - Estruturas dos compostos majoritários identificados no óleo essencial de *Cupressus lusitanica*.

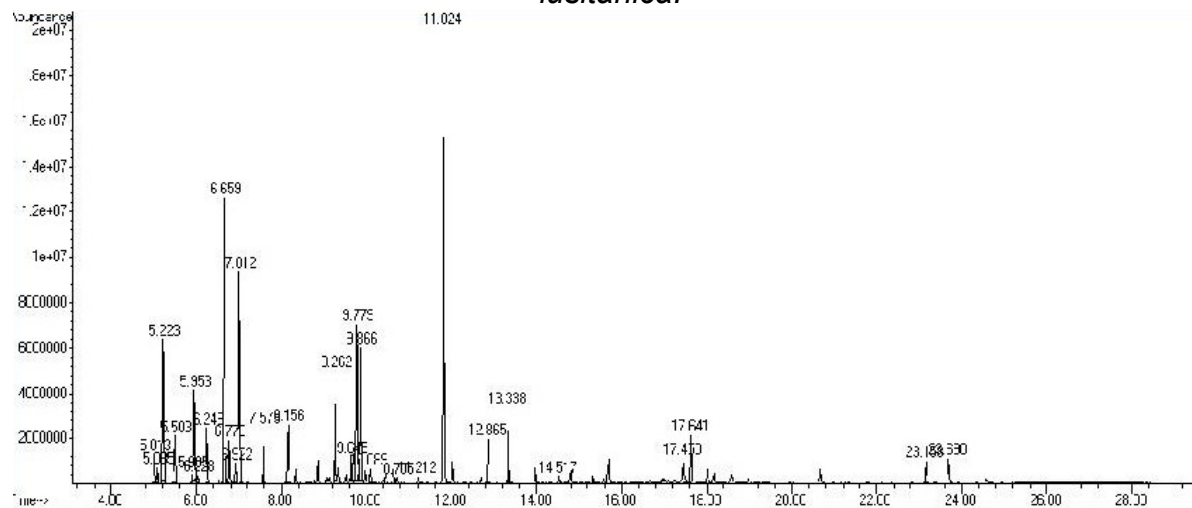


Fonte: adaptado de Santana (2011) e Meireles (2013)

Segundo Santos Filho *et al.*, (2011), existem muitas diferenças em relação à composição química dos óleos essenciais de *C. lusitanica*, obtidos em regiões e países diferentes. Uma explicação para que isso ocorra, é que as variações climáticas existentes entre regiões como, por exemplo, diferentes tipos de solo, altitude, pluviosidade, acabam tendo influência sobre o metabolismo das plantas e consequentemente na composição química dos óleos essenciais (CHÉRAIF *et al.*, 2007, DOUGLAS *et al.*, 2004).

Na Figura 12 é possível observar os picos correspondentes aos componentes observados e identificados no óleo essencial das folhas frescas de *C. lusitânica*.

Figura 12 - Cromatograma de íons totais do óleo essencial das folhas frescas de *C. lusitânica*.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

4.1.2 *Drimys brasiliensis*

Os componentes identificados no óleo essencial de *D. brasiliensis* estão descritos na Tabela 7. A maior parte dos componentes identificados pertence a classe dos monoterpenos hidrocarbonetos (40,9%), sesquiterpenos hidrocarboneto (21,7%), sesquiterpenos oxigenado (9,7%) seguido de Monoterpenos oxigenado (7,8%), Diterpeno (1,5%), Alcool (1,0%) e fenilpropanoides (0,4%).

Os componentes majoritários (Figura 13) identificados foram biclogermacreno (16,0%), limoneno (15,6%), Terpinen-4-ol (7,1%) e sabineno (6,2%), representando 44,9% do óleo essencial.

Tabela 7 - Composição química de óleos essenciais das folhas de *Drimys brasiliensis*

	Componente	RT_{min}	KI_{exp}	KI_{teor}	%	Classe
1	α -Thujene	5,085	933	930	0,2	MH
2	α -pineno	5,223	940	939	4,5	MH
3	Sabineno	5,954	979	975	6,2	MH
4	β Pineno	6,027	983	979	6,0	M H
5	Mirceno	6,247	993	991	1,3	MH
6	δ -2- careno	6,767	1022	1002	2,5	MH
7	O-Cymene	6,921	1030	1026	0,2	MH
8	Limoneno	7,018	1035	1029	15,6	MH
9	(Z)-beta-ocimeno	7,148	1042	1037	0,3	MH
10	γ -Terpinene	7,579	1065	1060	3,6	MH
11	Terpinoleno	8,156	1093	1089	0,8	SH
12	Terpinen-4-ol	9,861	1184	1177	7,1	MO
13	α Terpineol	10,089	1195	1189	0,7	MO
14	δ -Elemene	12,704	1346	1338	0,4	SH
15	α -Cubebene	12,908	1359	1351	0,2	SH
16	Eugenol	13,013	1365	1359	0,2	FP
17	α -Copaene	13,371	1386	1377	0,3	SH
18	β -Bourbonene	13,541	1395	1388	0,2	SH
19	β -Elemene	13,614	1399	1391	0,5	MH
20	Metileugenol	13,744	1408	1404	0,2	FP
21	(E)-cariofileno	14,118	1432	1419	0,8	SH
22	β capaene	14,248	1441	1432	0,2	SH
23	Aromadendreno	14,427	1452	1441	0,7	SH
24	α -Humuleno	14,662	1467	1455	0,3	SH
25	γ Muuroleno	14,987	1487	1480	0,3	SH
26	NI	15,093	1493	-	4,4	-
27	Cis β Guaieno	15,215	1501	1493	0,5	SH
28	Biciclogermacreno	15,344	1510	1500	16,0	SH
29	α Muurolene	15,466	1518	1500	0,3	SH
30	γ Cadieno	15,572	1526	1514	0,2	SH
31	Zonareno	15,694	1534	1530	1,3	SH
32	NI	16,076	1560	-	1,3	-
33	NI	16,555	1591	-	3,1	-
34	NI	16,66	1598	-	2,6	-
35	Guaiol	16,79	1606	1601	4,8	SO
36	γ Eudesmol	17,326	1646	1632	4,1	SO
37	α Muurulol	17,456	1655	1646	0,8	SO
38	NI	17,651	1669	-	4,4	-
39	Drimenol	19,187	1781	1767	1,0	Álcool
40	Kaurene	22,712	2065,7	2043	1,5	DP

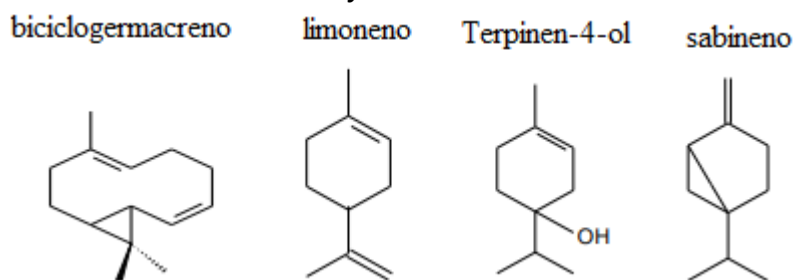
Legenda: TR: tempo de retenção.; Índice de retenção de Kovats experimental.; IKteórico: Índice de retenção de Kovats teórico.; n.i: Não identificado.; MH: Monoterpeno hidrocarboneto; MO: monoterpeno oxigenado; SH: sesquiterpeno hidrocarboneto; SO: sesquiterpeno oxigenado; DP: diperteno.

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Resultados semelhantes foram encontrados por Maggioni *et al.*, (2018), que ao avaliarem o óleo essencial da casca e das folhas de *D. brasiliensis*, detectaram a presença de α -pineno, limoneno, biciclogermacreno, sabineno, β -pineno e terpinen-4-ol, como componentes majoritários presentes no óleo essencial das folhas da espécie. Avaliando o óleo essencial da casca de *D. brasiliensis*, os mesmos autores citados anteriormente, identificaram a presença de α -pineno β -pineno, limoneno, terpinen-4-ol e canfeno, como compostos majoritários.

Corroborando com a presente pesquisa Limberger *et al.*, (2007) relataram que em estudo realizado, para o óleo essencial das folhas de *D. brasiliensis* houve a predominância de monoterpenos.

Figura 13 - Estruturas dos compostos majoritários identificados no óleo essencial de *Drimys brasiliensis*.



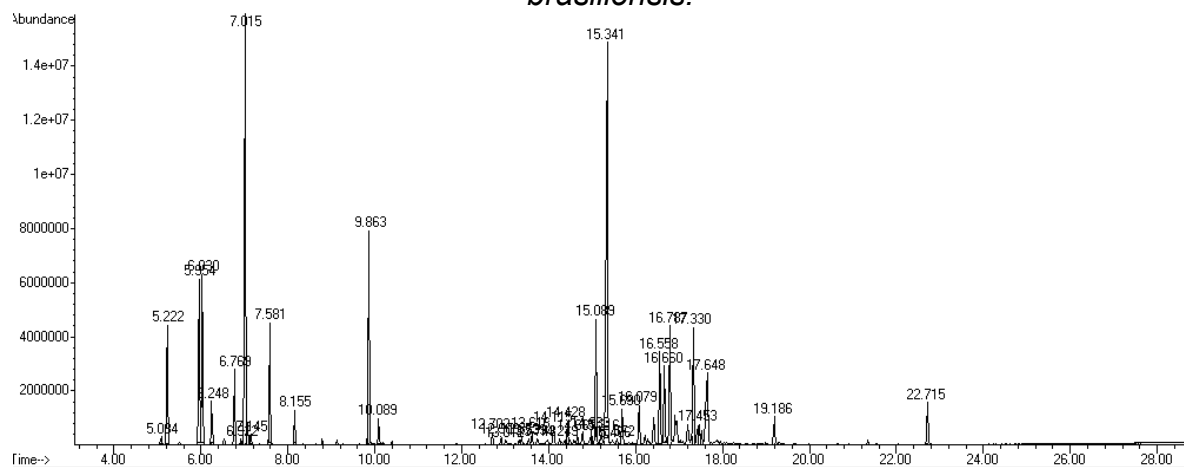
Fonte: adaptado de Santana (2011)

Lago *et al.*, (2010), identificaram como componentes em maior proporção no óleo essencial das folhas de *D. brasiliensis*, α -cedreno, biciclogermacreno, t-muurolol, e drimeno, sendo estes pertencentes a classe dos sesquiterpenos. Em outro estudo, realizado por Gomes *et al.*, (2014), analisando a composição química da mesma espécie, encontraram como componentes majoritários a presença de cicocolorenona, terpinen-4-ol e alfa-gurjuneno, demonstrando variações na composição química da espécie.

Essas variações podem estar atreladas a diversos fatores que acabam resultando na diferença entre a composição química do óleo essencial para uma mesma espécie, entre os fatores pode-se citar intensidade luminosa, temperatura, estresse hídrico, sazonalidade, estágio de desenvolvimento da planta, tipo de solo, poluição atmosférica, incidência de patógenos, entre outros (RAMOS *et al.*, 2020).

Na Figura 14, é possível observar os picos correspondentes aos componentes observados e identificados no óleo essencial das folhas frescas de *D. brasiliensis*.

Figura 14 - Cromatograma de íons totais do óleo essencial das folhas frescas de *D. brasiliensis*.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

4.1.3 *Cymbopogon citratus*

Os compostos químicos identificados para o óleo essencial de *C. citratus* estão descritos na Tabela 8. A maioria dos compostos presentes no óleo essencial pertence à classe dos monoterpenos oxigenado (82,5%), monoterpenos hidrocarboneto (13,1%) e cetona (1,9%). Os compostos que se destacaram em maiores proporções (Figura 15) foram α -citral (44,9%), β -citral (36,2%) e Mirceno (11,5%), correspondendo a 90,02% da constituição química do óleo.

Tabela 8 - Composição química de óleos essenciais das folhas de *Cymbopogon citratus*

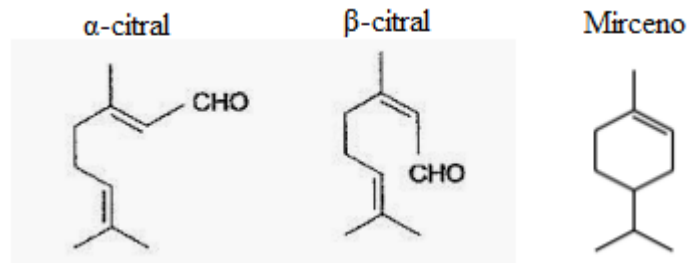
	Componente	RTmin	KI _{exp}	KI _{teor}	%	Classe
1	6-Metil-5-hepten-2-ona	6,165	989	986	0,3	Cetona
2	Mirceno	6,247	991	991	11,5	MH
3	trans-ocimeno	7,14	1042	1050	0,4	MH
4	Linalool	8,334	1101	1097	1,1	MO
5	Óxido de β Pineno	9,325	1157	1159	0,3	MO
6	Cis-Crisantenol	9,561	1169	1164	0,8	MH
7	NI	9,894	1186	-	1,2	-
8	Citronelol	10,723	1232	1226	0,4	MH
9	β -citral	11,015	1249	1238	36,2	MO
10	NI	11,186	1259	-	1,3	-
11	α -citral	11,543	1278	1267	44,9	MO
12	2-undecanone	11,868	1295	1294	1,1	Cetona
13	2-tridecanone	15,166	1498	1496	0,5	Cetona

Legenda: TR: tempo de retenção.; Índice de retenção de Kovats experimental.; IK_{teórico}: Índice de retenção de Kovats teórico.; n.i: Não identificado.; MH: Monoterpeno hidrocarboneto; MO: monoterpeno oxigenado; SH: sesquiterpeno hidrocarboneto; SO: sesquiterpeno oxigenado; DH: diperteno hidrocarboneto.

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

O resultado se assemelha ao obtido em estudo realizado por Al-Sagheer *et al.* (2017), que encontrou entre os componentes químicos presentes no óleo essencial de *C. citratus*, o α -citral como componente majoritário. Corroborando com o presente estudo, Matasyoh *et al.*, (2011) e Bassolé *et al.*, (2011) ao avaliarem a composição química do óleo essencial de *C. citratus*, identificaram como componentes majoritários geranial, neral e mirceno respectivamente. Além desses componentes Larmem *et al.*, (2015) identificou também óxido de linalol como componente majoritário no óleo essencial de *C. citratus*.

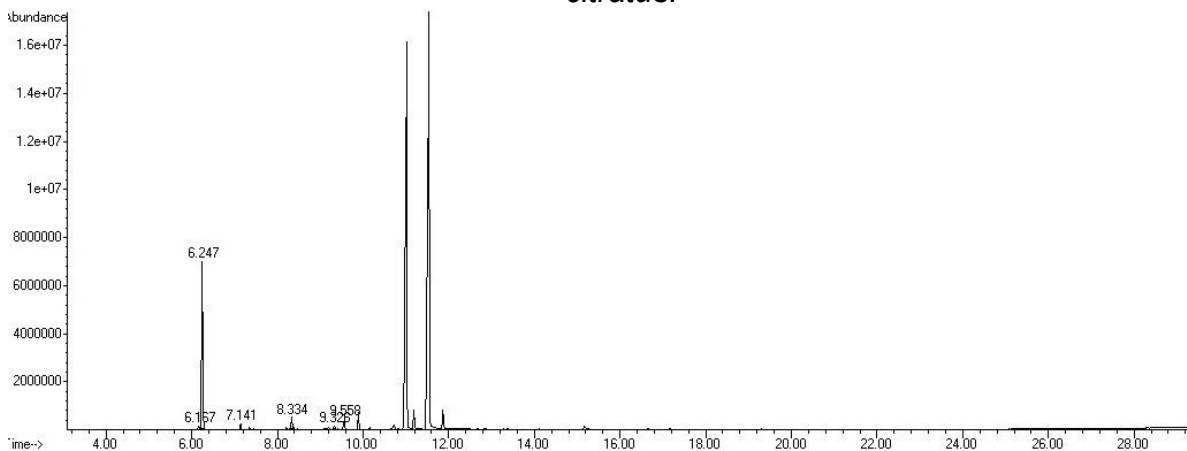
Figura 15 - Estruturas dos compostos majoritários identificados no óleo essencial de *Cymbopogon citratus*.



Fonte: adaptado de Santana (2011) e Martins (2010)

Na figura 16, é possível observar os picos correspondentes aos componentes observados e identificados no óleo essencial das folhas frescas de *C. citratus*.

Figura 16 - Cromatograma de íons totais do óleo essencial das folhas frescas de *C. citratus*.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

4.2 ATIVIDADE ANTIFÚNGICA *IN VITRO*

Os testes antifúngicos *in vitro* demonstraram que os três óleos essenciais, sendo de *C. lusitanica*, *D. brasiliensis* e *C. citratus*, inibiram o crescimento micelial dos fungos apodrecedores de madeira testados (*G. trabeum*, *T. versicolor* e *P. sanguineus*) (Tabelas 9, 10 e 11).

Foi notório o fato de que todos os óleos essenciais testados obtiveram maior controle no crescimento micelial dos fungos apodrecedores, conforme seguiu-se com o aumento das doses.

4.2.1 Atividade antifúngica *in vitro* do óleo essencial de *D. brasiliensis*

O óleo essencial de *D. brasiliensis* inibiu o crescimento micelial para as três espécies fúngicas testadas como pode ser observado na Tabela 9. Conforme o aumento das doses dos óleos o ICM de cada fungo decresceu. Isso indica que o óleo essencial apresentou atividade antifúngica para os fungos testados.

A concentração que mais inibiu o crescimento micelial das três espécies fúngicas foi 2000 ppm. Para *G. trabeum* o ICM foi de 12,7 mm, isso também pode ser visualizado por meio da porcentagem de inibição do crescimento micelial (PIC) que foi de 72,5%. Os fungos *T. versicolor* e *P. sanguineus* obtiveram 73,0% e 70,1% de inibição do crescimento micelial, respectivamente, indicando maior sensibilidade do fungo *T. versicolor* ao óleo essencial de *D. brasiliensis*.

Tabela 9– Índice de crescimento micelial (ICM) em mm e porcentagem (%) de inibição de crescimento (PIC) micelial para os fungos apodrecedores de madeira, *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor* e *Pycnoporus sanguineus*, submetidos a diferentes doses (em ppm) do óleo essencial de *Drimys brasiliensis*.

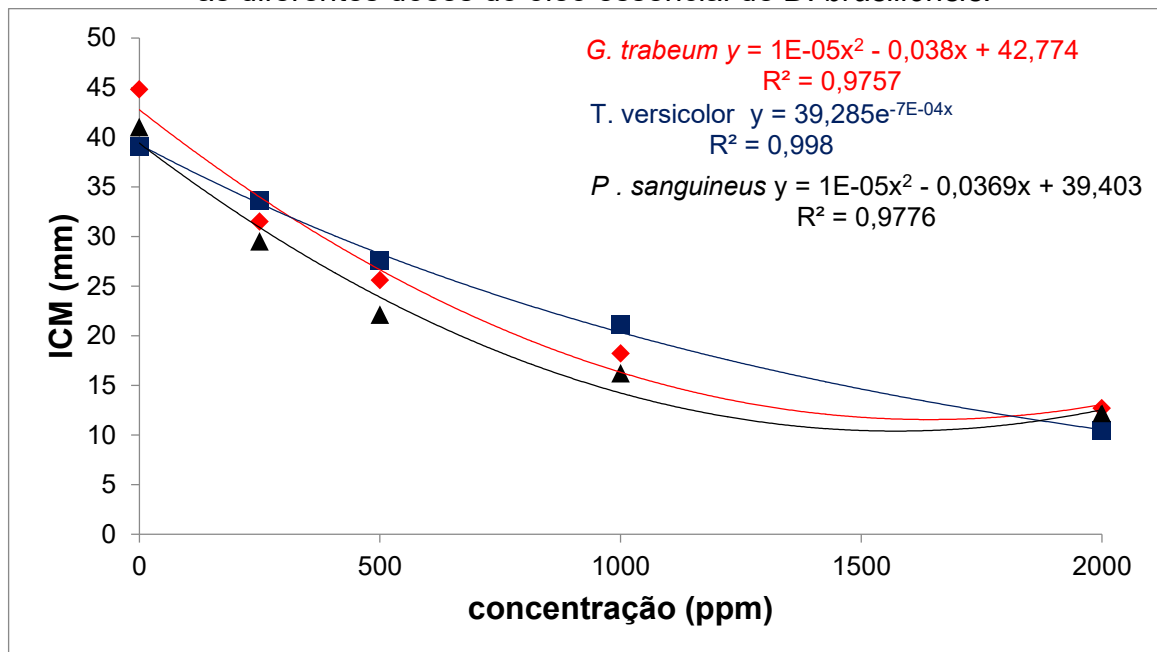
Óleo essencial	Dose	<i>G.trabeum</i>		<i>T.versicolor</i>		<i>P. sanguineus</i>	
		ICM (mm)	PIC (%)	ICM (mm)	PIC (%)	ICM (mm)	PIC (%)
<i>Drimys brasiliensis</i>	0	44,8a	0,0a	39,0a	0,0a	41,0a	0,0a
	250	31,5b	29,6b	33,6ab	19,9b	29,5b	27,8b
	500	25,6c	42,6c	27,6b	27,8c	22,1c	45,8c
	1000	18,2d	59,1d	21,1c	45,2d	16,2d	60,2d
	2000	12,3e	72,5e	10,4d	73,0e	12,2e	70,1e
CV(%)		9,7	14,6	12,0	27,3	6,5	9,8

*Médias de 5 repetições. Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Todas as doses e o respectivo ICM, para cada fungo separadamente, diferiram estatisticamente entre si (Tabela 9), de acordo com teste de Tukey (5%). O modelo de regressão que melhor se ajustou para o ICM dos fungos *G. trabeum* e *P. sanguineus* foi a quadrática, com R^2 de 0,9757 e $R^2 = 0,9776$, respectivamente (Figura 17). Já para o fungo *T. versicolor* o melhor ajuste ocorreu no modelo exponencial com R^2 de 0,998, indicando que conforme a concentração era elevada a resposta de inibição do ICM também foi afetada.

Figura 17 - Evolução do índice de crescimento micelial (ICM) em mm, dos fungos *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor* e *Pycnoporus sanguineus* em relação as diferentes doses do óleo essencial de *D. brasiliensis*.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

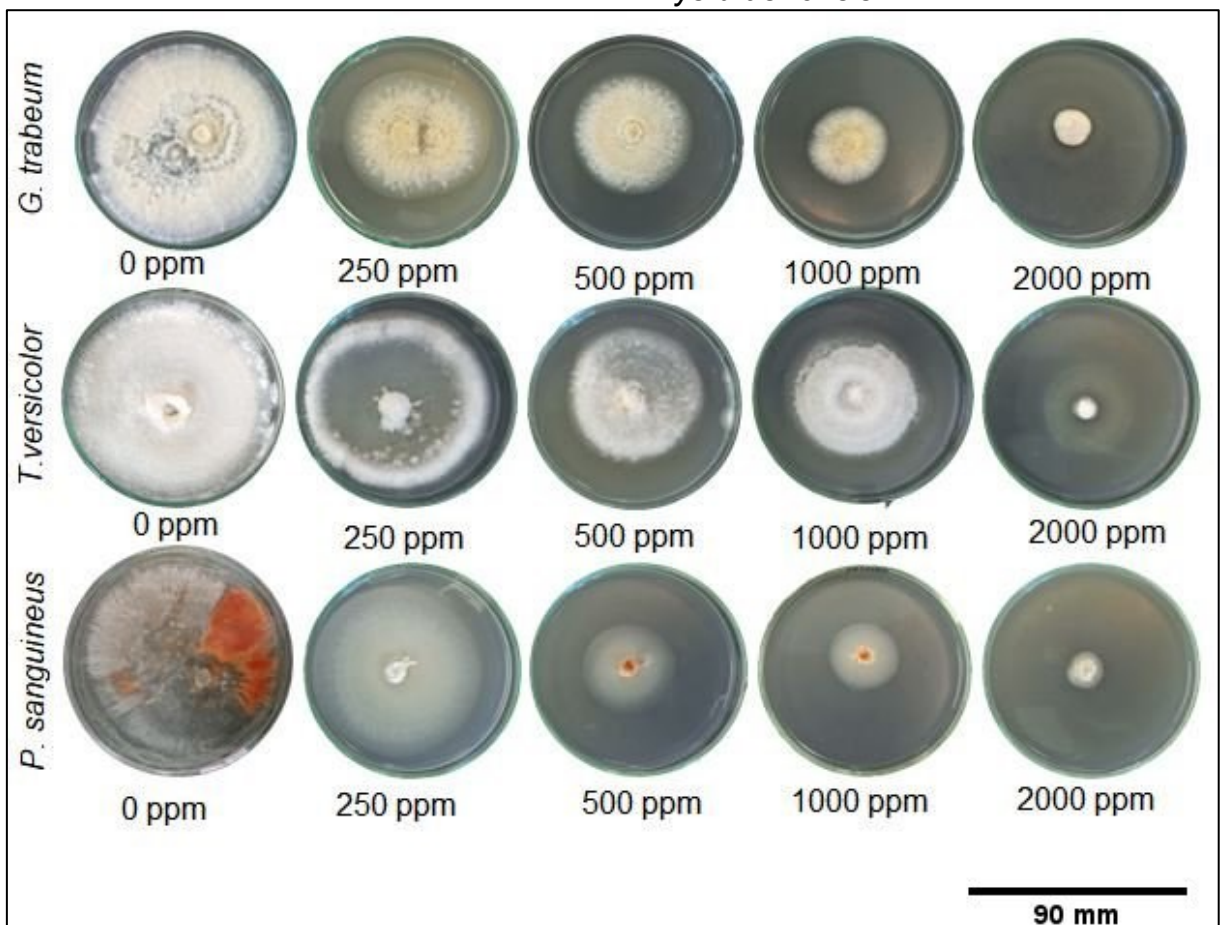
Na análise química (seção 4.1), o componente majoritário presente no óleo essencial de *D. brasiliensis* foi o biclogermacreno, responsável por 16% da composição do óleo. Esse componente possui atividades antibacterianas e antifúngicas (SILVA *et al.*, 2007). Desta maneira, este componente possivelmente pode estar associado à inibição do crescimento micelial dos fungos avaliados.

Até onde se sabe, não há relatos na literatura quanto a estudos anteriores, testando o óleo essencial de *D. brasiliensis* na inibição do crescimento micelial dos fungos apodrecedores *G. trabeum*, *T. versicolor* e *P. sanguineus*. No entanto, Gomes *et al.*, (2014), avaliaram o potencial repelente dos óleos essenciais de *D. angustifolia* e *D. brasiliensis* contra *Cryptotermes brevis*, sendo esta uma espécie de

cupim de madeira seca. Os autores constataram que ambos os óleos essenciais apresentaram capacidade de repelência para a espécie de cupim avaliada.

Na Figura 18, é possível observar a inibição do crescimento micelial dos fungos apodrecedores quando submetidos a diferentes concentrações do óleo essencial de *D. brasiliensis*.

Figura 18 - Crescimento micelial dos fungos *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor* e *Pycnoporus sanguineus* em relação às diferentes concentrações do óleo essencial de *Drimys brasiliensis*.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

4.2.2 Atividade antifúngica *in vitro* do óleo essencial de *C. lusitanica*

A partir do ICM e PIC é possível observar na Tabela 10, que para os três fungos, a dose 2000 ppm desencadeou inibição total dos fungos. A dose 1000 ppm do óleo essencial obteve bom desempenho para as três espécies demonstrando maior sensibilidade do fungo *G. trabeum*, com um percentual de inibição de 68,5%.

Tabela 10- Índice de crescimento micelial (ICM) em mm e porcentagem (%) de inibição de crescimento (PIC) micelial para os fungos apodrecedores de madeira, *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor* e *Pycnoporus sanguineus*, submetidos a diferentes doses (em ppm) do óleo essencial de *Cupressus lusitanica*

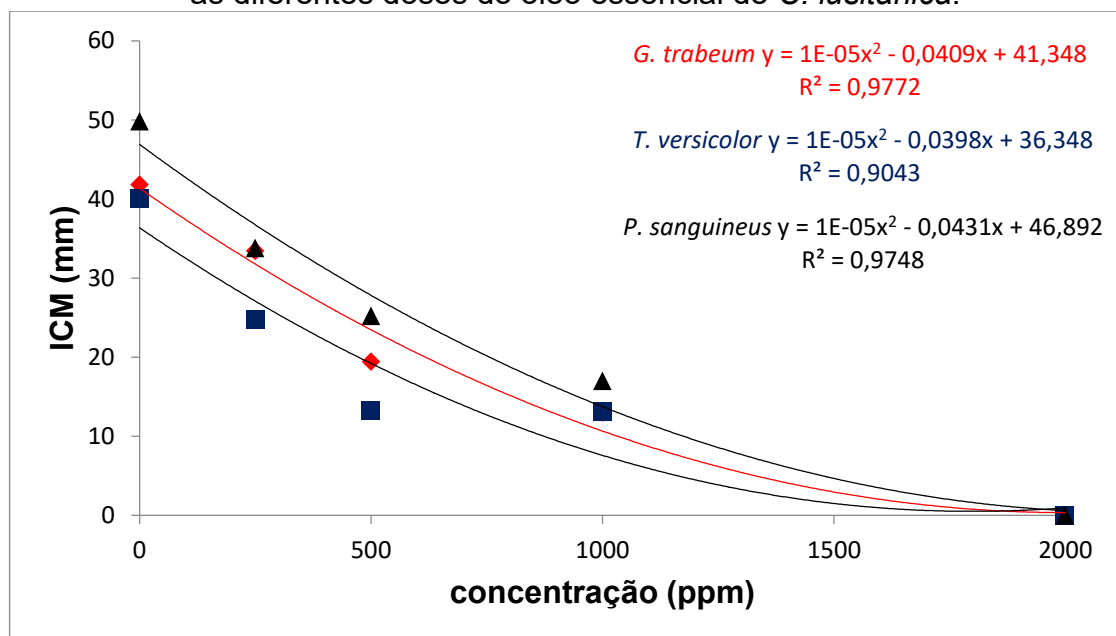
Óleo essencial	Dose	<i>G.trabeum</i>		<i>T.versicolor</i>		<i>P. sanguineus</i>	
		ICM (mm)	PIC (%)	ICM (mm)	PIC (%)	ICM (mm)	PIC (%)
<i>Cupressus lusitanica</i>	0	41,8a	0,0a	40,1 ^a	0,0a	49,8a	0,0a
	250	33,4b	25,9b	24,8b	38,1b	33,8b	32,1b
	500	19,4c	52,0bc	13,2c	67,0ab	25,2bc	49,3ab
	1000	13,0c	68,5cd	13,1c	67,4ab	17,0cd	65,9bc
	2000	0,0d	100,0d	00,0c	100,0c	00,0d	100,0d
CV(%)		23,6	29,0	9,0	8,0	17,6	21,8

*Médias de 5 repetições. Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Por meio da análise de regressão o modelo que melhor se ajustou para os ICM dos três fungos apodrecedores foi o modelo quadrático (Figura 19) com o R² mais próximo a 1.

Figura 19 - Evolução do índice de crescimento micelial (ICM) em mm, dos fungos *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor* e *Pycnoporus sanguineus* em relação as diferentes doses do óleo essencial de *C. lusitanica*.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Na literatura constam estudos sobre a atividade antifúngica desse óleo essencial contra fungos fitopatogênicos e fungos patogênicos de humanos. Como exemplo, Hassanzadeh *et al.*, (2010) ao avaliarem a ação antimicrobiana do óleo

essencial de *C. lusitanica* na Costa Rica, constataram que o óleo apresentou atividade antifúngica contra *Aspergillus niger* e atividade antibacteriana contra *Bacillus cereus*.

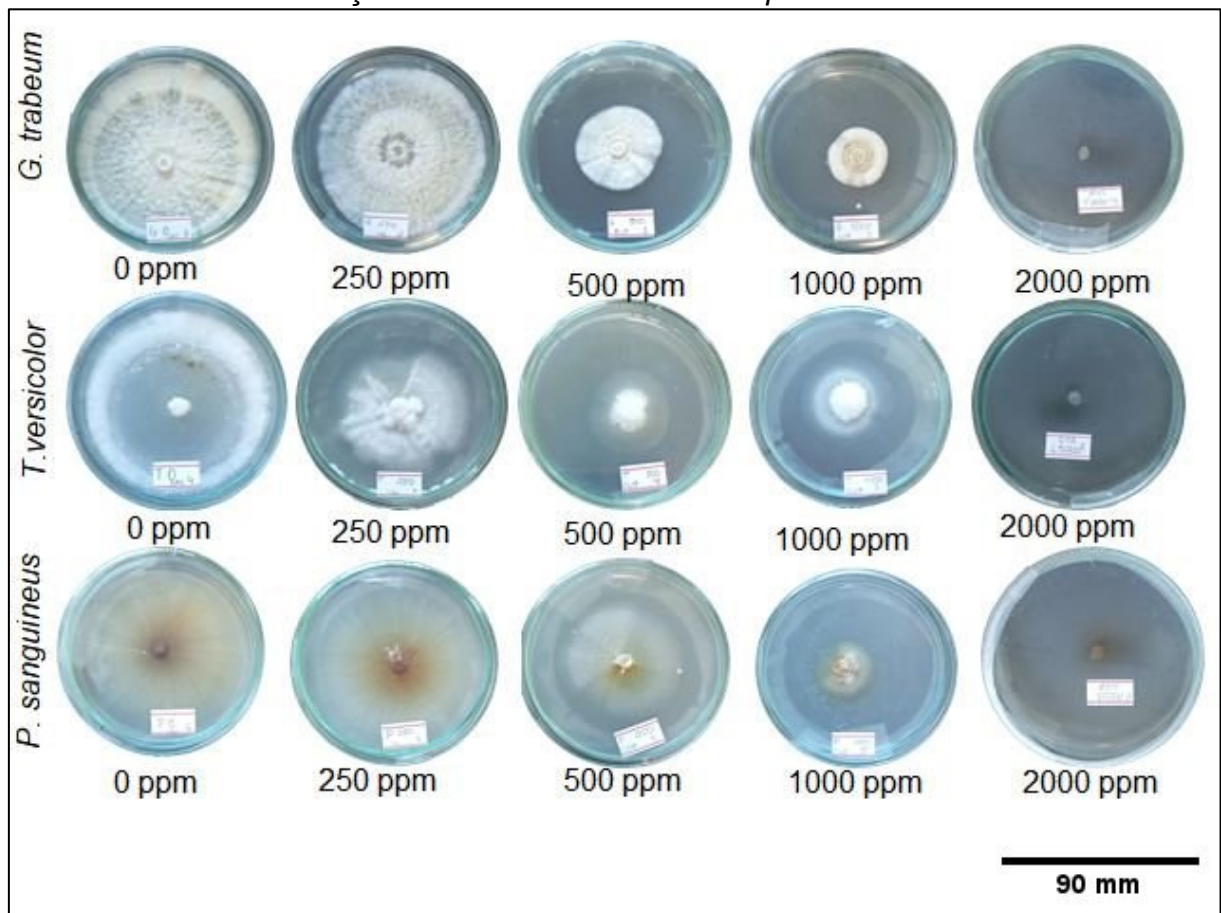
Em estudo realizado por Teke *et al.*, (2013), o óleo de *C. lusitanica* foi testado quanto a sua atividade antimicrobiana contra as espécies fúngicas *Candida albicans*, *C. glabrata*, *C. Krusei*, *C. lusitaniae*, *C. parapsilosis* e *C. Tropicalis* e espécies de bactérias Gram (+) (*Enterococcus faecalis* e *Staphylococcus aureus*), bactérias Gram (-) (*Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Proteus mirabilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhi* e *Shigella flexneri*). Os resultados obtidos pelos autores apontaram que o óleo essencial de *C. lusitanica* foi eficaz contra todas as espécies testadas, mas principalmente contra as espécies de bactérias.

Bett *et al.*, (2016), relataram em estudo, que o óleo essencial de *C. lusitanica* também possui efeito repelente a insetos, os autores ao avaliarem o efeito inseticida contra alguns insetos testados, constataram que dentre os insetos testados o óleo essencial de *C. lusitanica* apresentou efeito inseticida principalmente contra *Acanthoscelides obtectus* e *Sitotroga cerealella* ocasionando de 90,6 a 100% de mortalidade em 24 h após fumigação.

Diante dos resultados obtidos para o óleo essencial de *C. lusitanica* foi possível verificar a atividade antifúngica no controle dos fungos apodrecedores de madeira *G. trabeum*, *T. versicolor* e *P. sanguineus*.

Na Figura 20, é possível observar o efeito das diferentes concentrações do óleo essencial de *C. lusitanica* sob os fungos apodrecedores de madeira *G. trabeum*, *T. versicolor* e *P. sanguineus*.

Figura 20 - Crescimento micelial dos fungos apodrecedores *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor* e *Pycnoporus sanguineus* em relação às diferentes concentrações do óleo essencial de *Cupressus lusitanica*.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

4.2.3 Atividade antifúngica *in vitro* do óleo essencial de *C. citratus*

Para o óleo essencial de *C. citratus*, a ação antifúngica foi observada nas primeiras doses, é possível constatar através do PIC que a partir de 250 ppm, o crescimento micelial dos fungos *G. trabeum* e *T. versicolor* foi totalmente reduzido. Para o fungo *P. sanguineus* a inibição total do crescimento micelial ocorreu a partir da dose de 100 ppm (Tabela 11).

Na Figura 21, consta a análise gráfica de regressão onde para os fungos *G. trabeum* e *T. versicolor* o modelo quadrático foi o mais ajustado. Para o ICM do fungo *P. sanguineus* não foi possível ajustar modelo de regressão que expressasse melhor os resultados.

Tabela 11– Índice de crescimento micelial (ICM) em mm e porcentagem (%) de inibição de crescimento (PIC) micelial para os fungos apodrecedores de madeira, *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor* e *Pycnoporus sanguineus*, submetidos a diferentes doses (em ppm) do óleo essencial de *Cimbopogon citratus*.

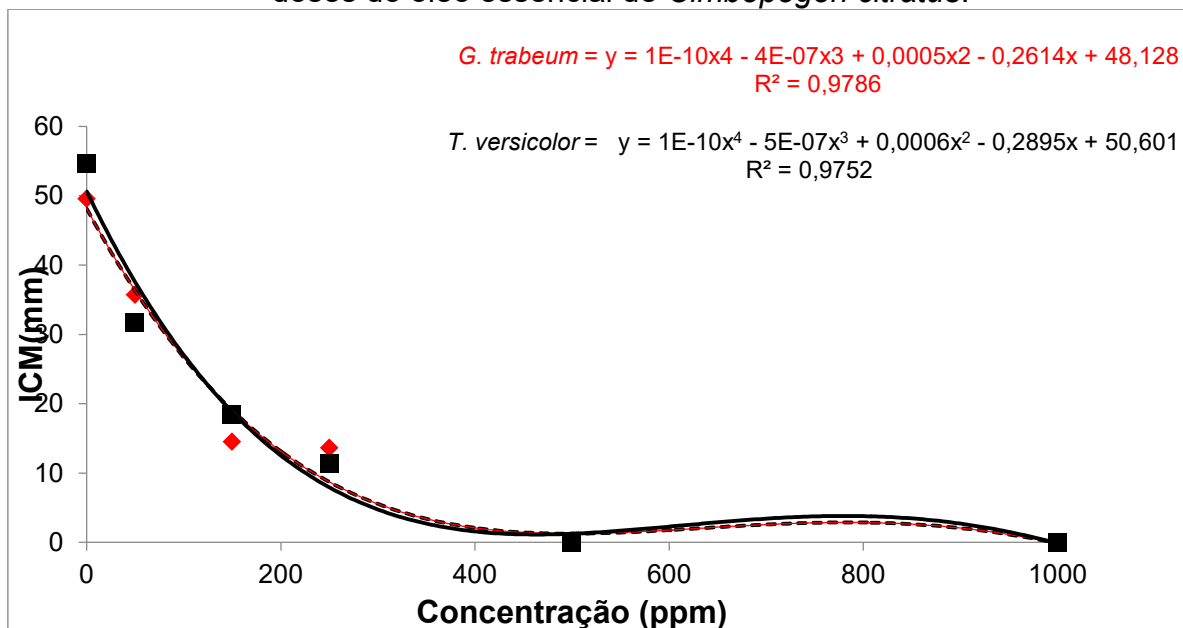
Óleo essencial	Dose	<i>G.trabeum</i>		<i>T.versicolor</i>		<i>P. sanguineus</i>	
		ICM (mm)	PIC (%)	ICM (mm)	PIC (%)	ICM (mm)	PIC (%)
<i>Cimbopogon citratus</i>	0	49,5a	0,0a	54,6a	0,0a	50,6a	0,0a
	50	35,7b	27,9b	31,7b	41,9b	11,6b	75,1b
	100	14,5c	72,4c	18,4c	79,2c	00,0c	100,0c
	150	13,6cd	73,1c	11,3c	81,6c	00,0c	100,0c
	250	00,0d	100,0d	00,0d	100,0d	00,0c	100,0c
	500	00,0d	100,0d	00,0d	100,0d	00,0c	100,0c
	1000	00,0d	100,0d	00,0d	100,0d	00,0c	100,0c
CV(%)		10,6	6,5	26,2	12,0	21,9	4,5

Médias de 5 repetições. Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Cortez *et al.*, (2015) ao avaliarem a atividade antifúngica dos óleos essenciais de cidreira brasileira (*L. alba*) e capim limão (*C. citratus*), constatou que ambos os óleos essenciais testados, obtiveram resultados eficazes contra as cepas de *Candida albicans*, porém o que mais se destacou na eficiência da atividade antifúngica foi o capim limão, mostrando melhor atividade.

Figura 21 - Evolução do índice de crescimento micelial (ICM) em mm, dos fungos *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor* em relação as submetidos a diferentes doses do óleo essencial de *Cimbopogon citratus*.

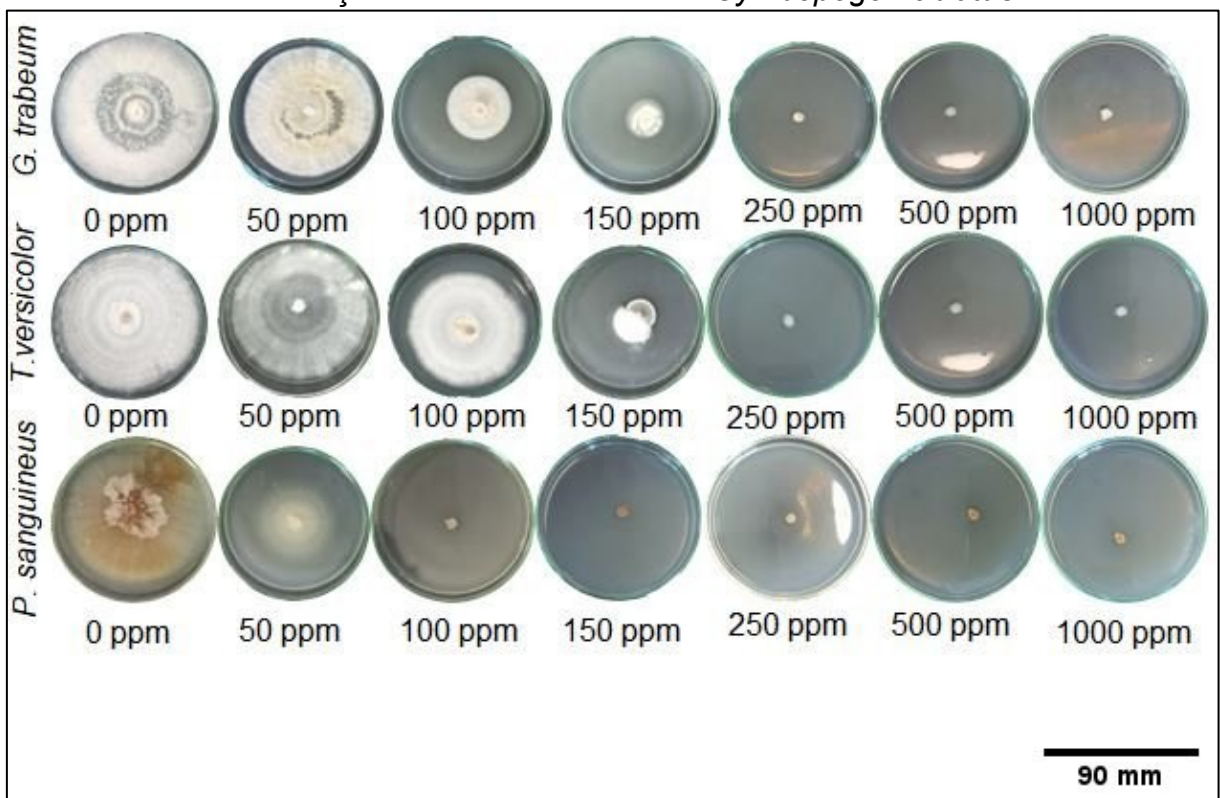


Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Em estudo realizado por Alves *et al.*, (2020), *C. citratus* mostrou atividade antifúngica sob os fungos do gênero *Fusarium*, *Colletrochium*, *Aspergillus* e *Penicillium* evidenciaram que o óleo essencial possui efeito antifúngico em testes *in vitro* contra os fungos avaliados. Além do potencial fungicida, os autores também verificaram o efeito inseticida do óleo essencial, contra o inseto praga *Callosobruchus maculatus*.

Estudos realizados evidenciam a eficiência do uso do óleo essencial de capim limão, na inibição do desenvolvimento de fungos, como trabalho realizado por Brum *et al.*, (2014), avaliando o potencial antifúngico de diferentes óleos essenciais sobre fungos fitopatogênicos o óleo essencial de capim limão foi o que mais se sobressaiu em relação a inibição do crescimento micelial do fungo avaliado. Em estudo realizado por Tico *et al.*, (2019) ao avaliarem o efeito de alguns óleos essenciais no controle de *Fusarium* spp. constataram uma inibição total do micélio deste fungo, quando aplicado óleo essencial de capim limão. Na Figura 22, é possível observar o efeito das diferentes concentrações do óleo essencial de *C. citratus* sob os fungos apodrecedores de madeira *G. trabeum*, *T. versicolor* e *P. sanguineus*.

Figura 22 - Crescimento micelial dos fungos apodrecedores *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor* e *Pycnoporus sanguineus* em relação às diferentes concentrações do óleo essencial de *Cymbopogon citratus*.



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

4.3 DENSIDADE APARENTE

A densidade aparente da madeira de *P. taeda* utilizada neste estudo foi de 0,515 g/cm³. Em comparativo com a literatura, estudo realizado por Trianoski *et al.*, (2014), encontraram uma densidade aparente de 0,527 g. cm³ para a espécie de *P. taeda* de 18 anos.

Os valores encontrados pelos autores são superiores aos do presente estudo, entretanto vale ressaltar a diferença de idade entre as espécies, neste sentido Rolim e Ferreira (1974) corroboram que a densidade da madeira é altamente influenciada pela idade.

Em estudo realizado por Ballarin e Palma (2003), ao avaliarem as propriedades de resistência e também de rigidez da espécie *P. taeda* de 37 anos de idade, os autores encontraram densidade aparente entre 0,439 g/cm³ a 0,699 g/cm³ para madeira juvenil e 0,586 g/cm³ a 0,674 g/cm³ para madeira adulta. Ladeira *et al.*, (2018), relatam que para a madeira do gênero *Pinus* o valor médio da densidade aparente é de 0,520 g/cm³, porém, sem citar a idade nem espécie.

4.4 ATIVIDADE ANTIFÚNGICA *IN VIVO*

4.4.1 Tratamento preservante e ensaio de apodrecimento em laboratório

4.4.1.1 *Perda de massa*

A perda de massa dos corpos de prova é apresentada na Tabela 12, onde é possível verificar também a classificação de resistência conforme a norma ASTM D 2017 (1994).

A madeira de *P. taeda* testemunha, ou seja, sem nenhum tratamento, exposta ao fungo *G. trabeum* apresentou perda de massa de 64,71% sendo classificada como de pouca ou nenhuma resistência ao fungo. Quando submetida aos tratamentos com os óleos essenciais de *C. lusitanica*, *D. brasiliensis* e *C. citratus*, a madeira também foi classificada como não resistente de acordo com a norma utilizada como parâmetro.

Tabela 12 – Perda de massa (%) da madeira de *P. taeda* submetida a tratamento preservante com óleos essenciais e classificação de sua resistência de acordo com a norma ASTM D 2017 (1994).

Fungo	Tratamento	Perda de massa(%)	Desvio padrão	Classe de resistência
<i>G. trabeum</i>	Testemunha	64,7	8,3	Não resistente
	OE <i>C. lusitanica</i>	64,2	13,9	Não resistente
	OE <i>D. brasiliensis</i>	56,1	14,5	Não resistente
	OE <i>C. citratus</i>	54,4	18,9	Não resistente
<i>T. versicolor</i>	Testemunha	14,4	2,0	Resistente
	OE <i>C. lusitanica</i>	13,6	3,9	Resistente
	OE <i>D. brasiliensis</i>	16,7	3,8	Resistente
	OE <i>C. citratus</i>	9,4	4,0	Altamente resistente
<i>P. sanguineus</i>	Testemunha	5,7	1,6	Altamente resistente
	OE <i>C. lusitanica</i>	5,3	1,7	Altamente resistente
	OE <i>D. brasiliensis</i>	5,4	1,4	Altamente resistente
	OE <i>C. citratus</i>	5,5	3,1	Altamente resistente

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

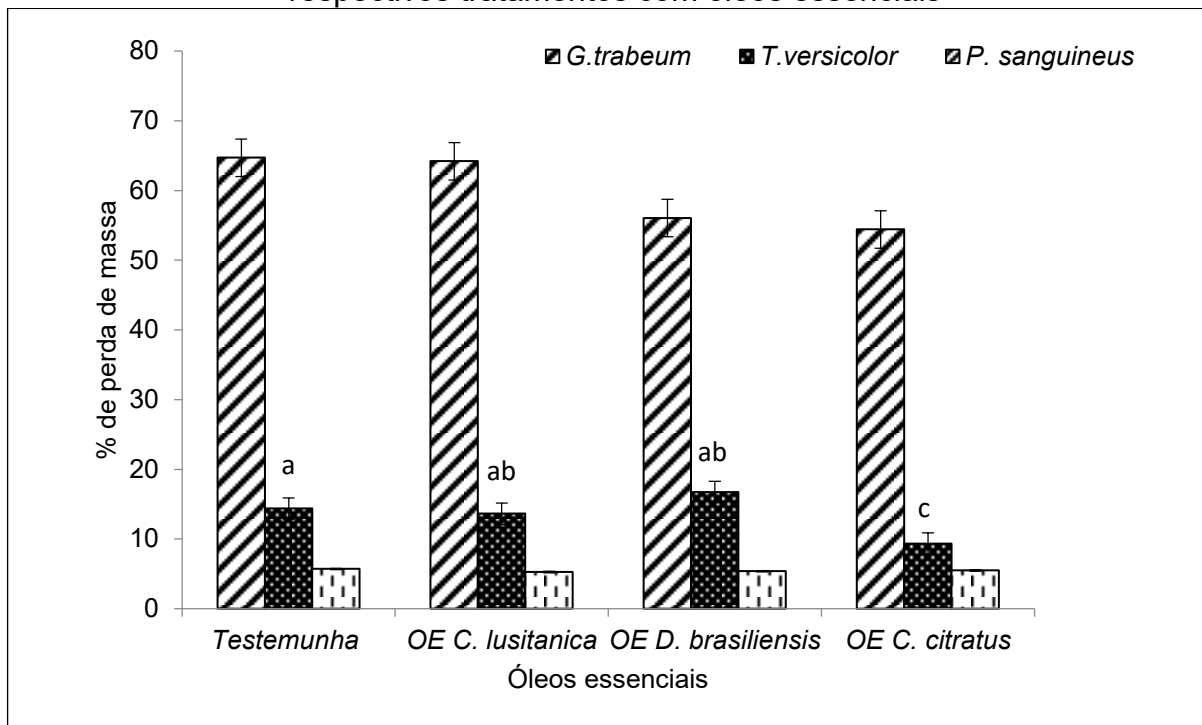
Em comparação com os demais fungos testados, *G. trabeum* foi o que mais degradou a madeira em todos os tratamentos. A maior perda de massa ocorrida, pode estar associada, principalmente pela preferência desse tipo de fungo por plantas gimnospermas (UMEZAWA *et al.*, 2020), como é o caso da espécie *P. taeda*. De acordo com Eriksson; Blanchette; Ander (1990), esse tipo de fungo acaba degradando a celulose e hemicelulose, ou seja, os polissacarídeos da parede celular da madeira, entretanto a lignina não é metabolizada. Além disso, Green III & Highley (1997), complementam que fungos de podridão parda são os mais destrutivos na madeira em serviço.

Para o fungo *T. versicolor*, o tratamento testemunha, obteve perda de massa de 14,38% sendo a madeira de *P. taeda* classificada como resistente. Os tratamentos com os óleos essenciais de *C. lusitanica* e *D. brasiliensis* apresentaram perda de massa de 13,64 e 16,73%, respectivamente, sendo assim, a madeira também foi considerada resistente ao fungo *T. versicolor*. No entanto, percebe-se que para o tratamento com óleo essencial de *D. brasiliensis*, a madeira mesmo sendo enquadrada na mesma classificação de resistência, a perda de massa foi superior, quando comparada à testemunha (Tabela 12).

Já o tratamento com o óleo essencial de *C. citratus* apresentou 9,35% de perda de massa causada por *T. versicolor*, classificando a madeira como de alta resistência, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos (Figura 23). Vale ressaltar que a concentração utilizada no tratamento preservante com o óleo

essencial de *C. citratus* foi de 1000 ppm, (dose testada em ensaio *in vitro*), ou seja, inferior aos demais tratamentos que foram de 2000 ppm. Mesmo sendo uma dose inferior, possibilitou maior proteção à madeira.

Figura 23 - Comparação entre as perdas de massa da madeira de *P. taeda* com os respectivos tratamentos com óleos essenciais



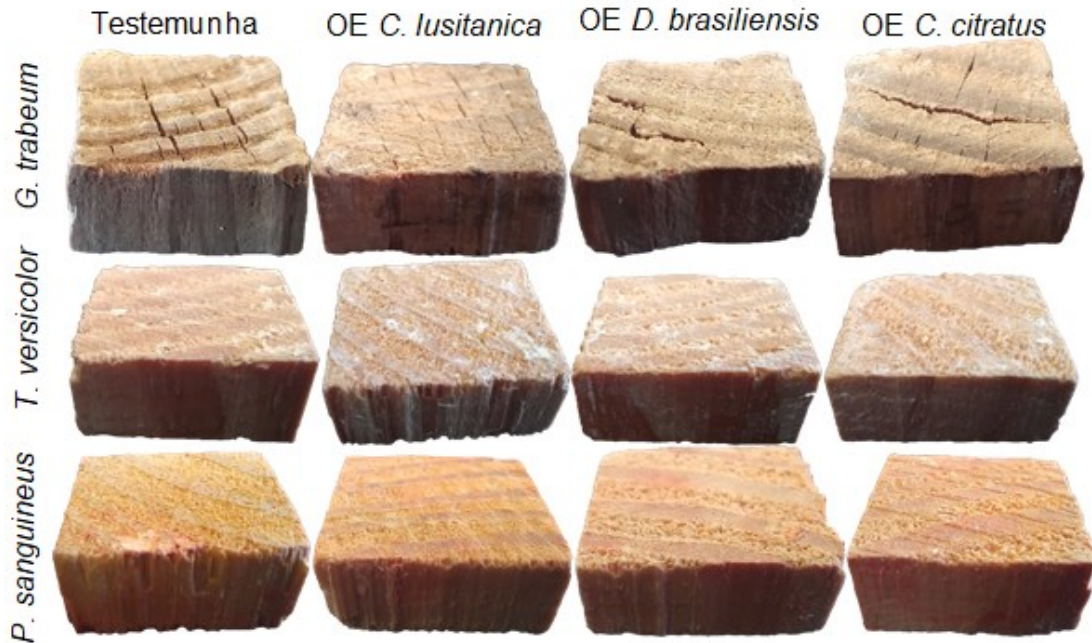
Legenda: letras diferentes indicam diferença estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

A madeira de *P. taeda* submetida somente ao fungo *P. sanguineus*, ou seja, sem nenhum tratamento preservante (testemunha), obteve perda de massa de 5,72%, sendo assim considerada de alta resistência ao ataque fúngico. Os demais tratamentos com os óleos essenciais de *C. lusitanica*, *D. brasiliensis* e *C. citratus*, também de acordo com a perda de massa foram enquadrados na mesma classificação de resistência do tratamento testemunha. Estatisticamente os tratamentos empregados para o fungo *P. sanguineus* não apresentaram diferença estatística entre si, como também pode ser visualizado na Figura 23.

A análise visual dos corpos de prova após o ataque fúngico e de acordo com cada tratamento preservante pode ser visualizada na Figura abaixo (Figura 24). Nas imagens é possível observar a maior degradação causada por *G. trabeum* em relação aos demais fungos para todos os tratamentos empregados.

Figura 24 - Análise visual dos corpos de prova da madeira de *P. taeda* após o ataque fúngico e de acordo com cada tratamento preservante com óleos essenciais



Fonte: elaborado pelo autor, 2023.

Através dos resultados foi possível observar que os óleos essenciais empregados em ensaio *in vitro* (seção 4.2) quando em contato com a madeira como fonte de alimento e submetidos a ensaio de apodrecimento, não apresentaram desempenho semelhante. Obviamente as condições e tipo de cada ensaio influenciaram na maior ou menor eficácia dos tratamentos, entretanto, além disso, Cai *et al.*, (2020) comentam que um dos desafios enfrentados com o uso de óleos vegetais na proteção de madeiras contra agentes deterioradores, é que esses óleos podem ser facilmente lixiviados, principalmente quando o uso da madeira se tratar de locais com incidência frequente de umidade, o que impede com que os óleos essenciais se liguem a parede celular da madeira, uma vez que estes são insolúveis em água.

Batich *et al.*, (2008) e Tascioglu *et al.*, (2013) complementam que, além disso, outros fatores como calor, luz e oxigênio, também podem interferir na estabilidade dos óleos essenciais quando utilizados sob a madeira. Neste sentido, alguns métodos já foram utilizados para reduzir a lixiviação, como por exemplo, a utilização de aditivos como o silício ou dextrinas (RATAJCZAK *et al.*, 2018., CAI *et al.*, 2020).

Óleos essenciais de diferentes espécies já foram testados quanto ao seu potencial e eficácia contra fungos deterioradores de madeira. A maioria dos testes

do efeito antifúngico de óleos essenciais com fungos apodrecedores de madeira são realizados *in vitro* e/ou diretamente sob a madeira. Bahmani e Schmidt (2018) testaram 16 óleos essenciais contra fungos emboloradores (*Aspergillus niger*, *Penicillium commune*) e apodrecedores de madeira (*Coniophora puteana*, *T. versicolor*, *Chaetomium globosum*). Os óleos essenciais foram testados nas espécies *Fagus orientalis* e *P. taeda* as quais foram tratadas via impregnação a vácuo. Os autores constataram que dentre os óleos testados, na proteção de madeira, os óleos essenciais de tomilho (*Thymus vulgaris*), lavanda (*Lavandula angustifolia*) e capim limão (*Cymbopogon winterianus*), foram os mais eficientes. Vale ressaltar que Bahmani e Schmidt (2018) citam também como capim limão a espécie *C. winterianus*, entretanto na literatura esta espécie também é conhecida popularmente como citronela, mas pertencente à mesma família que a espécie *C. citratus*, cujo óleo essencial foi utilizado no presente estudo e que obteve melhor desempenho na proteção da madeira de *P. taeda*.

Mohareb *et al* (2013) ao avaliar a eficiência do óleo essencial de dezoito espécies egípcias, sob a madeira de pinheiro silvestre, constataram que os óleos essenciais de *C. sempervirens*, *C. limon*, *T. occidentalis*, *S. molle*, *A. monosperma* e *P. Graveolens* foram os mais eficientes quanto a redução da perda de massa da madeira.

Além do efeito sobre a perda de massa ocasionada por fungos apodrecedores, alguns estudos também já foram relatados em relação ao efeito sobre fungos manchadores de madeira. Martínez-Pacheco *et al.*, (2022) em estudo constataram que alguns óleos essenciais de cítricos possuem efeito sobre o desenvolvimento de fungos manchadores que também acarretam prejuízos para o setor madeireiro.

Em estudo realizado por Salem *et al* (2016) óleos essenciais das folhas de *P. rigida* e folhas de *E. camaldulensis* foram testados quanto a sua eficiência contra os fungos de mofo de madeira *A. alternata*, *F. subglutinans*, *C. globosum*, *A. niger* e *Trichoderma viride*. No estudo os autores trataram amostras de madeira em diferentes concentrações (5000 ppm, 2500 ppm, 1250 ppm, 625 ppm, 312,5 ppm e 156,25 ppm) e constataram efeito mais significativo na proteção da madeira nas doses mais altas, indicando potencial antifúngico dos óleos essenciais avaliados

5 CONCLUSÃO

Identificou-se no óleo essencial de *D. brasiliensis* 41 componentes, 26 componentes no óleo essencial de *C. lusitanica* e 13 componentes no óleo essencial de *C. citratus*. De modo geral, a predominância dos componentes dos óleos essenciais foi da classe dos monoterpenos.

Nos ensaios *in vitro*, todos os óleos essenciais testados apresentaram atividade antifúngica. O uso da concentração a partir de 500 ppm, dos óleos essenciais de *D. brasiliensis* e *C. lusitanica*, resultou na maior inibição micelial para os três fungos testados e a máxima inibição ocorreu com a dose de 2000 ppm. No entanto, quando foi utilizado o óleo essencial de *C. citratus* a inibição ocorreu a partir de 50 ppm e uma completa inibição a partir de 150 ppm.

O óleo essencial de *C. citratus* apresentou maior eficiência no controle do fungo causador de podridão branca *T. versicolor*, resultando em menor perda de massa, conferindo potencial na proteção da madeira contra a deterioração.

Ressalta-se também que, alguns fatores inerentes ao comportamento natural dos óleos essenciais, como por exemplo, a volatilização pode ter influenciado na eficiência dos tratamentos. Este fator está relacionado à secagem da madeira, após o tratamento preservante, o que pode ter acarretado na volatilização dos óleos essenciais.

Dessa maneira, pode-se concluir que os óleos essenciais apresentaram atividade antifúngica contra os fungos avaliados. Em relação à proteção da madeira, recomenda-se estudos posteriores para verificar a influência da volatilização no desempenho dos óleos essenciais quando em contato com a madeira.

REFERÊNCIAS

ABREU, D. C. A *et al.* Caracterização morfológica de frutos e sementes de cataia (*Drimys brasiliensis* Miers. - Winteraceae). **Revista Brasileira de Sementes**, [s.l.], v. 27, n. 2, p.67-74, 2005. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29063/1/a10v27n2.pdf> . Acesso em: 30 Jan. 2022.

ADAMS, R. P. **Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry**. 4th ed. Carol Stream: Allured Publishing Corporation, 2007.

AGUIAR, A. V. *et al.* Cultivo de Pinus. Embrapa, 2011b. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_lifecycle=0&p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_col_count=1&p_p_col_id=column-2&p_p_state=normal&p_r_p_-76293187_sistemaProducaold=3715&p_r_p_-996514994_topicold=3228&p_p_mode=view . Acesso em: 19 Jun. 2020.

AGUIAR, A. V. *et al.*, Espécies de pinus mais plantadas no Brasil. Embrapa, 2011a. Disponível em: https://www.spo.cnptia.embrapa.br/conteudo?p_p_id=conteudoportlet_WAR_sistemasdeproducaolf6_1ga1ceportlet&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=1&p_r_p_76293187_sistemaProducaold=3715&p_r_p_-996514994_topicold=3228 . Acesso em: 27 Jun. 2020.

AGUIAR, A.; GAVIOLI, D.; FERRAZ, A. Extracellular activities and wood component losses during *Pinus taeda* biodegradation by the brown-rot fungus *Gloeophyllum trabeum*. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 82, p. 187-191, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.03.013> . Acesso em: 07 Ago. 2020.

ALCÂNTARA, M. C. *et al.* Efeitos do ataque de fungos de podridão nas características da madeira de eucalipto. *In*: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, Embrapa, 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/131775/1/2015-EdsonL-CFP-Efeitos> Acesso em: Jul. 2022.

AL-SAGHEER, A. A., MAHMOUD, H. K., REDA, F. M., MAHGOUB, S. A., & AYYAT, M. S. (2017). Supplementation of diets for *Oreochromis niloticus* with essential oil extracts from lemongrass (*Cymbopogon citratus*) and geranium (*Pelargonium graveolens*) and effects on growth, intestinal microbiota, antioxidant and immune activities. **Aquaculture Nutrition**, 24(3), 1006–1014, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.12637> Acesso em: Ago. 2022.

ALVES, M. S. *et al.* Óleo essencial de capim limão: estratégia para a proteção de sementes e grãos visando a agricultura orgânica. *In*: AZEVEDO, E. M. (Org). A química nas áreas natural, tecnológica e sustentável. Ponta Grossa: Atena, 2020, 32 p. DOI: <http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.84220170917> Acesso em Jul. 2022.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 2017: Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods. Philadelphia: ASTM, 1994.

ARNSTADT, T. *et al.* Dynamics of fungal community composition, decomposition and resulting deadwood properties in logs of *Fagus sylvatica*, *Picea abies* and *Pinus sylvestris*. *Forest Ecology and Management*, v. 382, n. 1, p. 129-142, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Anuário estatístico ABRAF 2013**: ano base 2012. Brasília, 2012, 146 p.

ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS – ACR. Anuário Estatístico de Base Florestal para o Estado de Santa Catarina 2016 (Ano Base 2015). Disponível em: http://www.acr.org.br/download/biblioteca/ACR_2016.pdf>. Acesso em: 19 Jun. 2020.

BAHMANI, M.; SCHMIDT, O. Plant essential oils for environment-friendly protection of wood objects against fungi. **Maderas, Ciencia y tecnologia**, [s.l.], v. 20, n.3, p. 325 - 332, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2018005003301> Acesso em: 05 Fev. 2022.

BAKKALI, F. *et al.* Biological effects of essential oils – a review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 46, n. 2, p. 446-475, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106> Acesso em Jan. 2022.

BALLARIN, A. W.; PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 27, n. 03, p. 371-380, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/nFCF6T6gwgCnxLBMpkhHjYD/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18 Nov. 2022.

BARBOSA, A. P.; NASCIMENTO, C. S.; MORAIS, J. W. Estudos de propriedades antitermílicas de extratos brutos de madeira e casca de espécies florestais da Amazônia Central, Brasil. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 213-218, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/sFGQnSyyqgZvtBhvf6ByGJD/?lang=pt>. Acesso em: 08 Out. 2020.

BASSOLÉ, I. H. N. *et al.* Chemical composition and antimicrobial activity of *Cymbopogon citratus* and *Cymbopogon giganteus* essential oils alone and in combination. **Phytomedicine**, v. 18, n. 12, p. 1070-1074, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2011.05.009> Acesso em Jun. 2022.

BATISH, C. D. R. *et al.* Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 12, p. 2166 – 2174, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.08.008>. Acesso em: Jul. 2022.

BETT, P. *et al.* Chemical composition of *Cupressus lusitanica* and *Eucalyptus saligna* leaf essential oils and bioactivity against major insect pests of stored food grains. **Industrial crops and products**, v. 82, p. 51,62, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.009> Acesso em: Ago. 2022.

BIANCHINI, N. H. *et al.* Antifungal activity of essential oils from native tree species in Southern Brazil. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 52, n. 2, p. 304 - 312, 2022.

DOI:<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v52i2.78343> Acesso em Jun. 2022.

BOGNOLA, I. A. **Unidades de manejo para *Pinus taeda* L. no planalto norte catarinense, com base em características do meio físico.** 2007. Tese (Ciências florestais) - Pós-graduação em engenharia florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. Disponível em:

https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/13674/Tese_ITAMAR_Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: Jul. 2021.

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

BRAND, M. A. B.; ANZALDO, J.; MORESCHI, J. C. Novos produtos para o tratamento preservante da madeira. “perspectivas da pesquisa e utilização”. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 36, n. 1, p. 129-138, 2006. DOI:

<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v36i1.5600> Acesso em: 05 Jun. 2020.

BRODA, M. Natural compounds for wood protection against fungi – A review. [s.], **Molecules**, n, 15, p. 1 – 24, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules25153538> Acesso em: Mar. 2022.

BRUM, R. B. C. S. *et al.* Atividade antifúngica de óleos essenciais sobre fungos fitopatogênicos. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 26, n.3, p. 361 – 371, 2014.

Disponível em:

<https://www3.ufrb.edu.br/magistra/index.php/magistra/article/view/471/183>. Acesso em: 16 Jul. 2020.

CALIL JÚNIOR, C. *et al.* **Manual de projeto e construção de pontes de madeira.** São Carlos: Departamento de Engenharia das Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2006. Disponível em:

<http://www.usp.br/agen/wp-content/uploads/Manual-de-Pontes-de-Madeira.pdf>.

Acesso em: 18 Jun. 2020.

CALIL JÚNIOR, C., DIAS, A. A. Utilização da madeira em construções rurais.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. I, p.71-77, 1997. DOI:<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v1n1p71-77> Acesso em: Ago. 2022.

CASTRO, V.G.; GUIMARÃES, P. P. **Agentes biodeterioradores abióticos.** In:

CASTRO, V.G.; GUIMARÃES, P. P. Deterioração e preservação da madeira.

Mossoró: EdUFERSA, 2018, p. 7-20. Disponível em: <https://livraria.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/165/2019/02/deterioracao-e-preservacao-da-madeira002.pdf>.

Acesso em: 22 Jul. 2021.

CAI, L. *et al.* Bio-based Preservative using Methyl- β -cyclodextrin- Essential oil complexes for wood protection. **International journal of biological**

macromolecules. v.147, p. 420-427, 2020. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.056> Acesso em Jun. 2022.

CHÉRAIF, H. *et al.* Chemical composition and antimicrobial activity of essential oils of *Cupressus arizonica* Greene. **Biochemical Systematics and Ecology**, v.35, n.12, p. 813-820, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bse.2007.05.009> Acesso em: Jul.2022.

CLAUSEN, C. A. Biodeterioration of wood. *In: Wood handbook : wood as an engineering material*. Centennial ed. General technical report FPL ; GTR-190. Madison, WI : U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010: p. 14.1-14.16. Disponível em:
https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgtr/fplgtr190/chapter_14.pdf Acesso em: Jan. 2022.

CORTEZ, L. E. R. *et al.* Avaliação da atividade antifúngica dos óleos essenciais de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Brown (Verbenaceae) e *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf (Poaceae). **O Mundo da Saúde**, São Paulo, v. 39, n. 4, p. 433-440, 2015. Disponível em:
http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/periodicos/mundo_saude_artigos/Avaliacao_atividade_antifungica_oleos.pdf. Acesso em: 15 Jul. 2020.

DOBNER JÚNIOR, M. *et al.* Propagação assexuada de *Cupressus lusitanica* e *Cryptomeria japonica*: o desafio do resgate genético de árvores adultas. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 46, n. 117, p. 53-63, 2018. DOI:
<https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr117/cap05.pdf> Acesso em: 31 Jan. 2022.

DOUGLAS, H. M. *et al.* Essential oils from New Zealand manuka: triketone and other chemotypes of *Leptospermum scoparium*. **Phytochemistry**, v. 65, p. 1255–1264, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2004.03.019> Acesso Nov. 2022.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Atlas climático da região Sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Ed. tec. WREGGE, M. S. *et al.* Brasília, Embrapa, 2012.

ERIKSSON– K. L, BLANCHETTE, R. A, ANDER, P. Microbial and Enzymatic Degradation of Wood and Wood Components. Berlin, Heidelberg, **Springer Berlin Heidelberg**; 1990, 407 p. Disponível em:
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-642-46687-8.pdf>. Acesso em: 28 Out. 2022.

FERREIRA, J.B *et al.* Sensibilidade de *Colletotrichum gloeosporioides* (mancha manteigosa do cafeeiro) a diferentes concentrações de fungicidas. **Ciência e agrotecnologia**. Lavras, v.33 n. 1, p. 2053-2058. 2009. DOI:
<https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000700059> Acesso em: Mar. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. Wood preservation manual. Rome, 1986, 159 p.

GALVÃO, A. P. M.; MAGALHÃES, W. L. E.; MATTOS, P. P. Processo práticos para preservar a madeira. 1. Ed. Colombo: EMBRAPA, 2004, 49 p. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/doc96ID-tVnhwU4YfZ.pdf>. Acesso em: 05 Ago. 2020.

GOMES, E. C.; NEGRELLE, R. R. B.; FILHO, L. D. Caracterização da produção de capim-limão no estado do Paraná, Brasil. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.8, n.4, p.385-390, 2007. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/9885/8060>. Acesso em: 28 Jul.2020.

GOMES, M. R. F. *et al.* Chemical composition of essential oils of *Drimys angustifolia* Miers and *Drimys brasiliensis* Miers and their repellency to drywood termite *Cryptotermes brevis* (Isoptera: Kalotermitidae). **Rev Ciênc Farm Básica Apl.** v. 35, n. 1, p. 41-46, 2014. DOI: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/230135> Acesso em: Jun.2022.

GONZÁLEZ-LAREDO, R. F. *et al.* Wood preservation: using natural products. **Madera y Bosques**, México, v. 21, p. 63-76, 2015. Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v21nspe/v21nspea5.pdf>. Acesso em 07 Jul. 2020.

GRAF JUNIOR, A. L.; *et al.* Óleo essencial das folhas de cataia (*Drimys brasiliensis*) sobre o crescimento micelial de *Alternaria porri*. **Revista Verde**, Pombal, v. 16, n.3, p. 245-252, 2021. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v16i3.8638> Acesso em Fev. 2021.

GREEN III, F.; KUSTER, T. A.; HIGHLEY, T. L. Pectin degradation during colonization of wood by brown-rot fungi. **Recent Res. Devel. in Plant Pathology** , Madison, p. 83-93, 1996. Disponível em: <https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/pdf1996/green96e.pdf> Acesso em: 20 Ago. 2020.

GREEN, F.; HIGHLEY, T. L. Mechanism of brown rot decay: paradigm or paradox. **Int. Biodeter. Biodegr.** n. 39, p.113-124, 1997. Disponível em: <https://www.midamericabasementsystems.com/wp-content/uploads/2019/10/green97b.pdf>. Acesso em: 25 Out. 2022.

GRIGOLETTI JÚNIOR, A.; LAU, D. Crescimento de isolados de *Cylindrocladium spathulatum* da erva mate de cinco regiões do estado do Paraná. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 38, p. 67-75, 1999. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/4965/1/agrigoletti.pdf> Acesso em Jul. 2022.

GUIMARÃES, L. G. L. *et al.* Influência da luz e da temperatura sobre a oxidação do óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf). **Química Nova**. São Paulo, v. 31, n. 6, p. 1476-1480, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/qn/v31n6/a37v31n6.pdf>. Acesso em: 15 Jul. 2020.

HANNA, A. R. *et al.* Lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oil as affected by drying methods. **Annals of Agricultural Science**, v. 57, n.2, p. 113-116, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aos.2012.08.004>. Acesso em: Nov. 2022.

HASSANZADEH, S. L. *et al.* The chemical composition and antimicrobial activity of the leaf oil *Cupressus lusitanica* from Monte Verde, Costa Rica. **Pharmacology Res.** V.1, n.19, 2010. DOI: <https://doi.org/10.4103%2F0974-8490.60585> Acesso em: Out. 2022.

HIGHLEY, T. L. Biodeterioration of Wood. *In:* HIGHLEY, T. L. Wood Handbook-Chapter 13. USDA, Forest Products Laboratory, 1999, 463 p.

HULLER, A. S. *et al.* Capacidade antifúngica do extrato vegetal de *Ruta graveolens* sobre o desenvolvimento dos fungos apodrecedores *Gloeophyllum trabeum* e *Pycnoporus sanguineus*. **Revista Brasileira de Iniciação Científica**, Itapetinga, v. 6, n.6, p. 31-43, 2019. Disponível em: <https://periodicos.itp.ifsp.edu.br/index.php/IC/article/view/1586/1134>. Acesso em: 06 Jul. 2020.

HUMAR, M.; LESAR, B. Efficacy of linseed-and tung-oil-treated wood against wood-decay fungi and water uptake. [s.], **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, n. 1, p. 223–227, 2013. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.07.011> Acesso em: Abr. 2022.

IBACH, R.; LEBOW, S. T. Wood preservative testing. *In:* IBACH, R.; LEBOW, S. T. McGraw-Hill Yearbook of Science & Technology. 2012, p.317-319. Disponível em: https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/pdf2012/fpl_2012_ibach001.pdf Acesso em: 10 Set. 2020.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ . Relatório 2020. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em: 04 Abr, 2020a.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBÁ. O pinus e sua importância em Santa Catarina. 2020. Disponível em: <https://iba.org/o-pinus-e-sua-importancia-em-santa-catarina>. Acesso em: 19 Jun. 2020b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICAS, IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. N.1, 1992, 92p.

INSTITUTO DE ECOLOGIA A, C. flora del bajío y de regiones adyacentes. *In:* ZAMUDIO, S.; CARRANZA, E. (Org.) **Cupressaceae**, México, p. 1-20, 1994. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/259799437_Cupressaceae. Acesso em: 29 Jan. 2022.

JORGE, F. C.; NUNES, L.; BOTELHO, C. Boron in wood preservation: problems, challenges and proposed solutions. an overview on recent research. **Journal of the Faculty Science Technology**, v.1, n.1, p. 3-15, 2004. Disponível em: <https://bdigital.ufp.pt/bitstream/10284/554/2/3-15FCT2004.pdf> . Acesso em: Jun. 2020.

KHADEMIBAMI, L.; BOBADILHA, G. S. Recent Developments Studies on Wood Protection Research in Academia: A Review. **Frontiers in forest and Global**

Change, v. 5, p. 1-18, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2022.793177> Acesso em: 28 Out. 2022.

KLOCK, U. ANDRADE, A. S. **Química da Madeira**. 4. ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/Química%20da%20Madeira%202013.pdf>. Acesso em: 23 Jul. 2020.

LADEIRA, L. A. Determinação das propriedades físicas da madeira de *Pinus sp.* **Brazilian applied Science Review**, Curitiba, v.2, n.7, p. 2244-2251, 2018. DOI: <https://doi.org/10.34115/basr.v2i7.637> Acesso em Out. 2022.

LARMEM, C. *et al.* Essential oil content and chemical composition of *Cymbopogon citratus* inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under different levels of lead. **Industrial Crops and Products**, v. 76, n.1, p. 734-738, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.07.009> Acesso em Ago. 2022.

LAGO, J. H. G. *et al.* Chemical composition and anti-inflammatory evaluation of essential oils from leaves and stem barks from *Drimys brasiliensis* Miers (Winteraceae). **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 21, n. 9, p. 1760-1765, 2010. DOI <https://doi.org/10.1590/S0103-50532010000900024>. Acesso em Jul. 2022.

LEBOW, S. T. Wood Preservation. *In*: LEBOW, S. T. **Wood Handbook: Wood as an Engineering Material**. Madison: USDA Forest Products Laboratory, 2010, p.328-355.

LIIBERT, L.; TREU, A.; MEIER, P. The Fixation of New Alternative Wood Protection Systems by Means of Oil Treatment. **Materials Science**, Lituânia, v. 17, n. 4, p. 402-406, 2011. DOI: <https://doi.org/10.5755/j01.ms.17.4.777> Acesso em: 09 Jul. 2020.

LIMA, A, E. F. *et al.* Rendimento, caracterização química e atividade antibacteriana do óleo essencial de capim limão coletado em diferentes horários. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 28, n.3/4, p.369-378, 2016. Disponível em: <https://www3.ufrb.edu.br/magistra/index.php/magistra/article/view/275/279> Acesso em Jun. 2021.

LIMBERGER, R. P. *et al.* Comparative analysis of volatiles from *Drimys brasiliensis* Miers and *D. angustifolia* Miers (Winteraceae) from Southern Brazil. **Biochemical Systematics and Ecology**, [s.l.], v. 35, n. 3, p. 130-137, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bse.2006.09.007> Acesso em Jul. 2022.

LUCENA, B. F. F. *et al.* Avaliação da atividade antibacteriana e moduladora de amino glicosídeos do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. **Acta Biológica Colombiana**, Bogotá, v. 20, n. 1. p. 39-45, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.15446/abc.v20n1.41673> Acesso em: 15 Jul. 2020.

MACHADO, G.O *et al.* Preservante natural de madeira para uso na construção civil – óleo de nem. **Minerva**, São Paulo, v. 3, n.1, p.1-8, 2006. Disponível em: [http://www.fipai.org.br/Minerva%2003\(01\)%2001.pdf](http://www.fipai.org.br/Minerva%2003(01)%2001.pdf). Acesso em: 09 Ago. 2020.

MACHADO, T. F. *et al.* Atividade antimicrobiana do óleo essencial do capim limão (*Cymbopogon citratus*) e sua interação com os componentes dos alimentos. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 33, n. 1, p. 30-38, 2015. Disponível em:

<https://revistas.ufpr.br/alimentos/article/view/43803/26549>. Acesso em: 15 Jul. 2020.

MADI, Y. F *et al.* Essential oil of *Cymbopogon citratus* cultivated in Egypt: seasonal variation in chemical composition and anticholinesterase activity. **Nat Prod Res.**, v.35, n. 21, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2020.1713125> Acesso em Set. 2022.

MAGGIONI, R. A. *et al.* Produção de óleo essencial de folhas e cascas de *Drimys brasiliensis* Miers (casca-d'anta). **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 23, n. 4, p. 1- 14, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1109387/producao-de-oleo-essencial-de-folhas-e-cascas-de-drimys-brasiliensis-miers-cascadanta> Acesso em: Jun. 2022.

MAGGIONI, R. A. *et al.* Viability of the mini-cutting technique in the production of *Drimys brasiliensis* Miers SEEDLINGS. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 50, n. 2, p. 1195 – 1202, 2020. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/62020/40637>. Acesso em: 30 Jan. 2022.

MAGGIONI, R. A. *Drimys brasiliensis* Miers: Miniestaquia, teor e composição do óleo essencial de folhas e cascas. Dissertação (Mestrado em agronomia), Universidade Federal do Paraná, 2017. Disponível em:

<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/51601/R%20-%20D%20-%20RENATA%20DE%20ALMEIDA%20MAGGIONI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Acesso em Jul. 2022.

MALHEIROS, A. *et al.* Anfungal activity of drimane sesquiterpenes from *Drimys brasiliensis* using bioassay-guided fractionation. **Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences**, Edmonton, v. 8, n. 2, p. 335- 339, 2005. Disponível em: [https://sites.ualberta.ca/~csp/JPPS8\(2\)/A.Malheiros/drimys.pdf](https://sites.ualberta.ca/~csp/JPPS8(2)/A.Malheiros/drimys.pdf) Acesso em Jun. 2022.

MARIOT, A. *et al.* *Drimys brasiliensis*. Casca-de-anta. In: CORADIN, L.; SIMINSKI, A.; REIS, A. (Ed.). Espécies nativas da Flora Brasileira de valor econômico atual e potencial: plantas para o futuro: Região Sul, 2011, p. 601- 607. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade/fauna-e-flora/Regiao_Sul.pdf . Acesso em: 30 Jan. 2022.

MARTINAZZO, A. P. *et al.* Avaliação do óleo essencial de folhas de *Cymbopogon citratus* (DC) Stapf após o processo de secagem. **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, Chile, v.12 n. 5, p. 523 – 536, 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/856/85628390009.pdf> Acesso em Jun. 2022.

MARTINS, A. G. L. A. Atividade antibacteriana dos óleos essenciais do manjeriço (*Ocimum basilicum* linnaeus) e do gengibre (*zingiber officinale* roscoe) frente a linhagens de *Escherichia coli* enteropatogênicas isoladas de hortaliças. Tese de

Doutorado, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/tede/4091/1/parte1.pdf>. Acesso em 01 Dez. 2022.

MATASYOH, J. C. et al. Chemical composition of *Cymbopogon citratus* essential oil and its effect on mycotoxigenic *Aspergillus* species. **African Journal of Food Science**, v. 5, n. 3, p. 138-142, 2011. Disponível em: <https://academicjournals.org/journal/AJFS/article-full-text-pdf/22D5CAA2993> Acesso em: Jun. 2022.

MEDEIROS, F. C. M. Caracterização química e atividade biológica de óleos essenciais de plantas do cerrado contra fungos xilófagos. Dissertação (Mestrado em Engenharia florestal), Pós-graduação em Ciências florestais, Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/17431/1/2014_FernandoCesarMagalhaesdeMedeiros.pdf. Acesso em, Mar. 2022.

MEIRELES, A. L. P. Valorização dos compostos terpênicos via catálise por ácidos: Esterificação e eterificação do canfeno, Isomerização do óxido de alfa-pineno. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/SFSA-9BDTTY/1/disserta_ao_augusto_final.pdf. Acesso em 01 Dez. 2022.

MENDES, A. S.; ALVES, M. V. S. **Degradação da madeira e sua preservação**. Brasília: IBDF/DPq-LPF, 1988. 56 p.

MILITÃO, L. V. et al. Compostos naturais extraídos de plantas na preservação de madeiras: Uma revisão narrativa. In: VANGELISTA, W. V. (Org.). **Madeiras nativas e plantadas do Brasil: Qualidade, pesquisas e atualidades**. editora científica digital V.1, n.1, p. 356-371, 2021. DOI: <https://dx.doi.org/10.37885/210504694> Acesso em 25 Out. 2022.

MODES, K. S. et al. Resistência natural das madeiras de sete espécies florestais ao fungo *Pycnoporus sanguineus* causador da podridão-branca. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 407-411, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/WHYH9GcNwLDPZMmHGnmWstw/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em Ago. 2021.

MOHAREB, A.S.O., BADAWY, M.E.I. & ABDELGALEIL, S.A.M. Antifungal activity of essential oils isolated from Egyptian plants against wood decay fungi. **J Wood Sci**, v. 59, n.1, p. 499–505, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10086-013-1361-3> Acesso em Set. 2021.

MONTANARI, R. M. **Composição química e atividades biológicas dos óleos essenciais de espécies de Anarcadiaceae, Siparunaceae e Verbenaceae**. Tese (Doutorado em Agroquímica), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

MORESCHI, J. C. Biodegradação e preservação da madeira: Biodegradação da madeira. 4. ed. Curitiba: Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. 2013. Disponível em:

<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/BIODETERIORACAO.pdf>. Acesso em: 16 Jun. 2020.

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

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cr/a/5qJwnbrPj3wDsMfz3SVLdyB/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 06 Jan. 2022.

NAKAYAMA, F. S. *et al.* Guayule as a wood preservative. Guayule as a wood preservative. **Industrial Crops and Products**, [s.l.], v.14, p. 105-111, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(00\)00093-5](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(00)00093-5) Acesso em: 17, Out. 2020.

NTEZIYAREMYE, P. Variation of Yield and Chemical Composition of Essential Oil from *Cupressus lusitanica* Growing in Different Agro-ecological Zones of Rwanda Papias. **Asian Journal of Applied Chemistry Research**, v.9, n.2, p. 42-56, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.9734/ajacr/2021/v9i230212> Acesso em Set. 2022.

OH, C. H. *et al.* Characterization of acidic endoglucanase Cel12A from *Gloeophyllum trabeum* and its synergistic effects on hydrogen peroxide–acetic acid (HPAC)-pretreated lignocellulose. **Journal of Wood Science**, v. 65, n. 24, p. 1-10, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1186/s10086-019-1803-7> Acesso em 06 Jan. 2022.

OKINO, E, Y, A. *et al.* Technological Characterization of Cupressus spp. Wood. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro; v. 17, n.1, p. 1-11, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2011.002> Acesso em: 28 Jan. 2022.

OLIVEIRA, J. T. S. *et al.* Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n5/a17v29n5.pdf>. Acesso em: 03 Jul. 2020.

ORTIZ, I, R. S.; MARRERO, L. G .V.; NAVARRO, A. L . T. Instructivo técnico del cultivo de *Cymbopogon citratus* (D.C) Stapf (caña santa). *Rev Cubana Plant Med*, Habana, v. 2002, n. 2, 2002. Disponível em: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1028-47962002000200007. Acesso em: 27 Jul. 2020.

PAES, J. B.; MORESCHI, J. C.; J. G. LELLES. Avaliação do tratamento preservativo de moirões de *Eucalyptus viminalis* Lab. e de bracinga (*Mimosa scabrella* Benth.) pelo método de substituição de seiva. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.15, n.1, p. 75-86, 2005. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050981825> Acesso em: 15 Jun. 2020.

MARTÍNEZ PACHECO, M. M. M. *et al.* Pinewood protection against sapstain using citrus essential oils. **Revista árvore**, v. 46 , n. 1-12, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/pZqv9k6B3sVzGv97hb5qLtB/?format=pdf&lang=en>. Acesso em 01 Dez. 2022.

PÁNEK, M.; REINPRECHT, L.; HULLA, M. Ten Essential Oils for Beech Wood Protection - Efficacy Against Wood-destroying Fungi and Moulds, and Effect on Wood Discoloration. **BioResources**, [s.], v.9, n.3, p. 5588-5603, 2014. Disponível em: https://bioresources.cnr.ncsu.edu/BioRes_09/Unsecured_BioRes_09/BioRes_09_3_5588_Panek_RH_Essential_Oils_Wood_Protection_5577.pdf. Acesso em: 17, Mar. 2022.

PINTO D. A. *et al.* Produtividade e qualidade do óleo essencial de capim-limão, *Cymbopogon citratus*, DC., submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista brasileira de Plantas Mediciniais**, Campinas, v.16, n.1, p.54-61, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722014000100008> Acesso em Mar. 2022.

PRAYITNO, T. A. WIDYORINI, R. The adhesion properties of wood preserved with natural preservatives. **Wood Research**, Indonésia, v.61, n.2, p.197-204, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303790127_The_adhesion_properties_of_wood_preserved_with_natural_preservatives. Acesso em: 28 Jun. 2020.

RADOMSKI, M. I. Cataia (*Drimys brasiliensis* Miers). Dados eletrônicos - Colombo: Embrapa Florestas, 2013. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/980007/1/Doc.246IzabelCataia.pdf>. Acesso em: 30 Jan. 2022.

RAMOS, Y. J. *et al.* Produção e variações químicas de óleos essenciais: uma breve revisão sobre os fatores que afetam a qualidade e a quantidade. In: FRANCISCO, A. L. O. (Org.). Avanços científicos, tecnológicos e de inovação da botânica. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020, 107 p. DOI: 10.22533/at.ed.8512014027. Acesso em: Nov. 2022.

RATAJCZAK, I. *et al.* Chemical characterization of wood treated with a formulation based on propolis, caffeine and organosilanes. **European Journal of Wood and Wood Products**. v. 76, p. 775–781, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1257-9>. Acesso em 02 Dez. 2022.

RECK, M. A.; SILVEIRA, R. M. Polyporales (Basidiomycota) no Parque Estadual de Itapuã, Viamão, Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 6, n. 3, p. 301-314, 2008. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/rbrasbioci/article/view/114778/62064>. Acesso em: Ago. 2020.

REGNAULT-ROGER, C.; VINCENT, C.; ARNASON, J. T. Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. **Annual Review of Entomology**, v. 57, p. 405-424, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120710-100554> Acesso em: 20 Mai. 2022.

REVISTA DA MADEIRA. Principais agentes deterioradores de madeiras, 2013. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1652&subject=Pr eservante&title=Principais%20agentes%20deterioradores%20de%20madeiras. Acesso em 10 Jun. 2020.

- RILEY, R. *et al.* Extensive sampling of basidiomycete genomes demonstrates inadequacy of the white-rot/brown-rot paradigm for wood decay fungi. [s.l.], **PNAS**, v. 111, n. 27, p. 9923–9928, 2014. DOI: <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1400592111> Acesso em: 14 Nov. 2020.
- ROCHA, M. P. **Biodegradação e preservação da madeira**. Curitiba: Fupef, 2001, 94 p.
- ROHR, C. *et al.* A First Insight into *Pycnoporus sanguineus* BAFC 2126 Transcriptome. [s.l.], PLOS ONE, v. 8, n. 12, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0081033> Acesso em: 12 Nov.2020.
- ROLIM, M. B.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira produzida pela *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. Kuntze em função dos anéis de crescimento. **IPEF**, São Paulo, n. 9, p. 47-55, fev. 1974. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr09/cap03.pdf>. Acesso em: 15 Nov.2022.
- ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; TSHABALALA, M. A. Cell wall chemistry. *In*: ROWELL, R. M (Ed). Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites, Nova York [?]: CRC Press, 2013, p. 33-72.
- SANTOS FILHO, F.C.; AMARAL, L. S.; RODRIGUES-FILHO, E. Composition of essential oils from *Cupressus lusitanica* and Xylariaceos fungus found on its leaves. **Biochemical systematics and ecology**, v.39, n.1, p.485-490, 2011. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.bse.2011.07.001> Acesso em: Jul. 2022.
- SANTANA, V, S. Estudo comparativo de óleos essenciais de espécies de Croton do estado de Sergipe. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, 2011. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/6164/1/VALERIA_SANTOS_SANTANA.pdf. Acesso em 02 Dez. 2022.
- SALEM, M. Z. M. *et al.* Antifungal activities of two essential oils used in the treatment of three commercial woods deteriorated by five common mold fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v.106, n.1, p. 88-96, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.10.010> . Acesso em 05 Dez. 2022.
- SCHMIDT, O. Wood and tree fungi. Biology: damage, protection and use. Berlin: Springer-Verlag; 2006, 336 p.
- SCHUBERT, M. *et al.* Protection of Wood from Microorganisms by Laccase-Catalyzed Iodination. *Applied and Environmental Microbiology*, [S.l.], v. 78, n. 20, p. 7267–7275, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.01856-12> Acesso em: 02 Jun. 2020.
- SHIMIZU, J. Y. (Ed.). Pínus na Silvicultura Brasileira. Colombo: **Embrapa Florestas**, 2008. 223 p..

SHIMIZU, J. Y.; PINTO JUNIOR, J. E.; RIBATSKI, G. Cipreste para madeira: alto incremento volumétrico com material genético apropriado. Embrapa Florestas. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 30/31, p.3-17, 1995.

SHUPE T. *et al.* Causes and control of wood decay, degradation and stain. Baton Rouge: LSU Ag Center, 2008, 27 p. Disponível em: https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/pdf2008/fpl_2008_shupe001.pdf . Acesso em: 05 Jun, 2020.

SILVA, B. N. S.; FERREIRA, M. A.; SANTOS, N. J. R. Biodegradação da madeira de eucalipto por fungos de podridão. **Revista Agrária Acadêmica**, [S.l], v.2, n.5, p. 41-54, 2019. Disponível em: <https://agrariacad.files.wordpress.com/2019/09/rev-agr-acad-v2-n5-2019-p41-54.pdf> Acesso em 25 Out. 2022,

SILVA, L. *et al.*.Biciclogermacreno, resveratrol e atividade antifúngica em extratos de folhas de *Cissus verticillata* (L.) Nicolson & Jarvis (Vitaceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, n. 17,v. 3, p. 361-367, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbfar/a/YnDRQzmYh7ZzF5jRPMcsbKs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 12 Jan. 2023.

SILVA, M. A. L. *et al.* Avaliação da composição química de *Cymbopogon citratus* Stapf cultivado em ambientes com diferentes níveis de poluição e a influência na composição do chá. **Acta Scientiarum. Health Sciences**, Maringá, v. 32, n. 1, p. 67-72, 2010. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciHealthSci/article/view/4543/4543>. Acesso em: 15 Jul. 2020.

SINGH, T.; SINGH, A. P. A review on natural products as wood protectant. **Wood Science Technology**, Rotorua, n. 1, v. 46, p. 852-870, 2011. DOI:<https://doi.org/10.1007/s00226-011-0448-5> Acesso em: 03 Jul. 2020.

SOUZA JÚNIOR, I. T.; SALES, N. L. P.; MARTINS, E. R. Efeito fungitóxico de óleos essenciais sobre *Colletotrichum gloeosporioides*, isolado do maracujazeiro amarelo. **Revista Biotemas**, v. 22, 2009. DOI:<https://doi.org/10.5007/2175-7925.2009v22n3p77> Acesso em Jun.2022.

SOUZA, T. J.T. **Derterminação da composição química e avaliação preliminar das atividades antioxidante e anticolinesterásica dos óleos voláteis de espécies de *Eupatorium* L. (Asteraceae)**. Dissertação (Mestrado em Ciências farmacêuticas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto alegre, 2007.

SOUZA, R. V.; DEMENIGH, A. L. Tratamentos preservantes naturais de madeiras de floresta plantada para a construção civil. **Mix Sustentável**, Florianópolis, v. 3, n.1, p. 84-92, 2017. Disponível em: <http://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/1824/1060>. Acesso em 26, Jun. 2020.

SOUZA, R. M. S.; SERRA, M. R. S.; MELO, T. A. Efeito de óleos essenciais como alternativa no controle de *Colletotrichum gloeosporioides*, em pimenta. *Summa phytopathol.* São Luis, v. 38, v.38, n.1, 2012. DOI:<https://doi.org/10.1590/S0100-54052012000100007> Acesso em: Fev. 2022.

SRIVASTAVA, S.; KUMAR, R.; SINGH, V. P. Wood decaying fungus. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013.

STANGERLIN, D. M *et al.* Resistência natural da madeira de três espécies Amazônicas submetidas ao ataque de fungos apodrecedores. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 15-32, 2013. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/4056/3200>. Acesso em: 23 Jul. 2021.

STUMPP, E. **Tratamentos preservantes naturais de madeiras de florestas plantadas no Rio Grande do Sul para o controle do cupim-de-madeira seca - *Cryptotermes brevis***. Tese (Doutorado em Engenharia, área construção) Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp061287.pdf>. Acesso em: 10 Ago. 2020.

SUSI, P. *et al.* Biological control of wood decay against fungal infection. **Jornal of Environmental Management**, [s.l.], v. 92, p. 1681–1689, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.03.004> Acesso em Jun. 2022.

TALGATTI, M. *et al.* Biocontrole dos extratos de *Hovenia dulcis* e *Ateleia glazioviana* frente a organismos xilófagos. **Scientia Forestalis**, v.48, n.125, p. 1-9, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n125.17> Acesso em: 29 Nov. 2022.

TASCIOGLU, C. *et al.* Antifungal properties of some plant extracts used as wood preservatives. *International Biodeterioration & Biodegradation*. V. 85, p. 23-28, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.06.004> Acesso em: 15 Jul. 2022.

TEACA, C. A. *et al.* Natural bio-based products for wood coating and protection against degradation: A Review. **BioResources**, [S.l.], v. 14, n.2, p. 4873-4901, 2019. Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/natural-bio-based-products-for-wood-coating-and-protection-against-degradation-a-review/>. Acesso em: 06 Jul. 2020.

TEKE, G. N.; ELISÉE, K. N.; ROGER, K. J. Chemical composition, antimicrobial properties and toxicity evaluation of the essential oil of *Cupressus lusitanica* Mill. leaves from Cameroon. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, p. 1-9, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1186/1472-6882-13-130> Acesso em: 01 Fev. 2022.

TÉLLEZ-TÉLLEZ, M. *et al.* Mycosphere Essay 11: Fungi of *Pycnoporus*: morphological and molecular identification, worldwide distribution and biotechnological potential. **Mycosphere** v. 7, n. 10, p. 1500-1525, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5943/mycosphere/si/3b/3> Acesso em: 08 Jul. 2020.

TERZIEV, N.; PANOV, D. Plant Oils as “Green” Substances for Wood Protection. **Minimising the Environmental Impact of the Forest Products Industries**, [s.l.], p. 143–149, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/258961010_PLANT_OILS_AS_GREEN_SUBSTANCES_FOR_WOOD_PROTECTION Acesso em Mar. 2022.

TICO, B. M. *et al.* Óleos essenciais no controle do *Fusarium sp.* da cana de açúcar in vitro. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, [S. l], v.7, n.3. p. 70 – 79, 2019.

Disponível em:

<https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/312/207>.

Acesso em: 16 Jul. 2020.

THOMASSON, G. *et al.* Wood Preservation and Wood Products Treatment: Training Manual. Oregon State University, 2015, 24 p. Disponível em:

<https://inspectapedia.com/structure/Wood-Preservation-Treatment-Thomasson.pdf>.

Acesso em: 08 Set. 2020.

TRIANOSKI, R. *et al.* Avaliação das propriedades mecânicas da madeira de espécies de pinus tropicais. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 21-28, 2014. Disponível em: <https://www.ipef.br/PUBLICACOES/scientia/nr101/cap02.pdf>.

Acesso em: 15 NOV. 2022.

UMEZAWA, K. *et al.* Transcriptome analysis of the brown rot fungus *Gloeophyllum trabeum* during lignocellulose degradation. PLoS One. v. 12, p. 1-19, 2020. DOI:

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243984> Acesso em 28 Out. 2022.

VALLE, M. L. A. *et al.* Retenção e penetração de CCA em madeira de primeira e segunda rotação de *Eucalyptus urophylla* S.T. blake. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 481-490, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050989292>

Acesso em: 09 Set 2020.

VASQUES, A. C. *et al.* Uma síntese da contribuição do gênero pinus para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, v. 37, n. 3, p. 445-450, 2007. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/328062678.pdf>. Acesso em: Mai. 2020.

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. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cflo/v25n1/0103-9954-cflo-25-01-00257.pdf>. Acesso em: 10 Jun. 2020.

VIVIAN, M. A.; GROSSKOPF, E. J.; NUNES, G. C.; ITAKO, A.T.; MODES, K. S. Qualidade e eficiência de produtos naturais no tratamento preservativo das madeiras de *Araucaria angustifolia*, *Eucalyptus viminalis* e *Pinus taeda*. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 19, n. 1, p. 35-47, 2019.

DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711912020035> Acesso em Mai. 2022.

VODAL, K. *et al.* Effect of the antifungal activity of oxygenated aromatic essential oil compounds on the white-rot *Trametes versicolor* and the brown-rot *Coniophora puteana*. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 51, p. 51 – 59, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(02\)00075-6](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(02)00075-6) Acesso em Ago. 2020.

WILLIAMS G. R. Industrial wood protection. In: PAULUS W. Directory of Microbicides for the Protection of Materials. Springer, Dordrecht, 2004, 788 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/1-4020-2818-0> Acesso em 04 Mar. 2022.

WOŹNIAK, M. *et al.* The Possibility of Propolis Extract Application in Wood Protection. **Forests**, v. 11, n. 4, p. 465, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11040465> Acesso em dez. 2022.

WOŹNIAK, M. Antifungal Agents in Wood Protection — A Review. **Molecules**, v.27, n.19, 2022. DOI:<https://doi.org/10.3390/molecules27196392>. Acesso em: Nov. 2022.

XIE, Y. *et al.* Antifungal activity of several essential oils and major components against wood-rot fungi. **Industrial crops and products**, [s.l.] v. 108, p. 278- 285, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.041> Acesso em: Fev. 2022.

XU, H. *et al.* Effect of brown rot degradation on mass loss and compressive strength of Chinese poplar (*Populus simonii*). **Maderas. Ciencia y tecnologia**, v. 21 n. 3, p. 341-346, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000306> Acesso em: Nov. 2021.

YANG, D. Q. Potential utilization of plant and fungal extracts for wood protection. 4. Ed. [s.l]: **Forest Products Journal**, 2009. Disponível em: https://go.gale.com/ps/i.do?v=2.1&it=r&sw=w&id=GALE%7CA201853564&prodId=AOONE&sid=googleScholarFullText&userGroupName=nysl_me_jfkens. Acesso em: 15 Ago. 2020.

ZHAO, J.; K. SAKAI. Multiple signalling pathways mediate fungal elicitor-induced β -thujaplicin biosynthesis in *Cupressus lusitanica* cell cultures. **Journal of Experimental Botany** v.54, n.383, p. 647-656, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erg062> Acesso em: Abr. 2022.

ZEM, L. M. *et al.* *Drimys brasiliensis* essential oil as a source of drimenol. **Holos**, [s.l.], v.2, n.1, p. 68 – 76, 2016. DOI: [10.15628/holos.2016.3192](https://doi.org/10.15628/holos.2016.3192). Acesso em: 30 Jan. 2022.