

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CAMPUS DE CURITIBANOS  
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS  
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Carla Ariane Pereira Santos Graf

**Efeito protetor do carvacrol sobre a  
deterioração da madeira de *Pinus taeda* em campo de apodrecimento**

Curitibanos, SC

2022

Carla Ariane Pereira Santos Graf

**Efeito protetor do carvacrol sobre a  
deterioração da madeira de *Pinus taeda* em campo de apodrecimento**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.  
Orientador: Prof. Dr. Cristian Soldi

Curitibanos, SC

2022

Graf, Carla Ariane Pereira Santos

Efeito protetor do carvacrol sobre a deterioração da madeira de Pinus taeda em campo de apodrecimento / Carla Ariane Pereira Santos Graf ; orientador, Cristian Soldi, 2022.

39 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal, Curitibanos, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Preservante natural. 3. Óleo essencial,. 4. Carvacrol. 5. Campo de apodrecimento.. I. Soldi, Cristian . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

Carla Ariane Pereira Santos Graf

**Efeito protetor do carvacrol sobre a  
deterioração da madeira de *Pinus taeda* em campo de apodrecimento**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal

Curitiba, 12 de Julho de 2022



Documento assinado digitalmente  
MARCELO BONAZZA  
Data: 20/07/2022 12:45:23-0300  
CPF: 047.641.899-25  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Dr. Marcelo Bonazza  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**



Documento assinado digitalmente  
Cristian Soldi  
Data: 20/07/2022 14:51:39-0300  
CPF: 032.833.289-51  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Dr. Cristian Soldi  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
Joni Stolberg  
Data: 20/07/2022 14:46:02-0300  
CPF: 683.796.929-34  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. Dr. Joni Stolberg  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
KARINA SOARES MODES  
Data: 20/07/2022 12:50:02-0300  
CPF: 003.082.240-86  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Karina Soares Modes  
Avaliadora  
Universidade Federal de Santa Catarina

*Dedico esse trabalho a Deus pela oportunidade e por me abençoar durante a caminhada.  
Em especial para meu pai que mesmo com a distância e a dificuldade em me manter morando  
em outro estado sempre foi meu maior incentivador.  
Ao meu marido que nunca mediu esforços para me amparar e me ajudar nessa jornada.  
Aos professores pelo fato de estarem dispostos a ensinar sem medir esforços.  
Ao meu orientador pela compreensão e paciência, sempre esteve disposto a ensinar e ajudar  
no decorrer de todos trabalhos executados.*

## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiramente a Deus, que me deu a oportunidade de alcançar meus objetivos e de viver e conquistar tudo que tenho sem que eu perdesse a esperança.

Aos meus pais Maria Lucia e Antônio Carlos, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Aos meus irmãos Tiago Tordin e Carlos Allan por me animar a cada visita de férias.

Ao meu marido Andre Luiz Graf Junior por todo amor, apoio e dedicação com nossa família.

Ao meu filho Emanuel Santos Graf por me fazer ver que a vida é mais colorida em cada sorriso.

Aos meus sogros Judite Koaski Graf e André Luiz Graf que me acolheram como filha.

Ao meu cunhado Paulo Cesar Graf (*in memoriam*) que me fez rir muitas vezes e me ajudou cheio de alegria a completar o insetário.

Agradeço à meu orientador Prof. Dr. Cristian Soldi, pela orientação e confiança.

Ao colega Leonardo Demarchi Schites dos Santos pelo apoio em algumas etapas desse trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina e todo o corpo docente do curso de Engenharia Florestal pelos ensinamentos técnicos de qualidade.

Aos servidores e técnicos–administrativos da Universidade Federal de Santa Catarina pela excelente prestação de serviços à comunidade acadêmica.

Aos meus amigos e colegas que de alguma maneira direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial Joyce Fernanda Viana dos Santos por me apresentar a Engenharia Florestal e Jacqueline Claudino da Silva pela parceria durante a graduação.

## RESUMO

Considerando que a demanda de madeira tem aumentado anualmente e que madeiras nobres estão sendo substituídas por madeiras de baixa durabilidade natural, tal como o *Pinus taeda*, há a necessidade de investigar alternativas para a preservação destes materiais. As técnicas utilizadas para tratar madeiras de baixa durabilidade envolvem substâncias químicas contendo arsênio e sais de cromo que são tóxicas ao meio ambiente, animais e seres humanos. Neste sentido, é importante avaliar novas substâncias quanto ao potencial antifúngico contra fungos apodrecedores de madeira. O carvacrol é uma substância aromática volátil que foi encontrada como componente majoritário (76,4%) do óleo essencial da madeira seca de *Cupressus lusitanica*. Nosso grupo de pesquisa investigou a atividade antifúngica in vitro contra fungos apodrecedores de madeira e encontrou significativa atividade antifúngica em baixas concentrações do óleo (250 ppm). Estes resultados anteriores indicam que há forte evidência de que o carvacrol seja o responsável pela durabilidade natural da madeira de *C. lusitanica*. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito protetor do carvacrol em ensaio de apodrecimento à campo para a madeira de *Pinus taeda*. Para tanto os corpos de prova de pinus nas dimensões 20x20x300mm (largura, espessura, comprimento) foram impregnados com as soluções de trabalho, a saber: T1 – Madeira de *P. taeda* sem tratamento; T2 – madeira de *P. taeda* tratada com carvacrol a 1000 ppm (em solução aquosa com 7% de etanol); T3 – madeira de *P. taeda* tratada com tribromofenato de sódio (TBP90<sup>®</sup>) a 1000 ppm (em solução aquosa com 7% de etanol). Também foi incluído no experimento corpos de prova de cupressus sem tratamento (T4). T1 e T4 foram imersos em solução aquosa com 7% de etanol pelo mesmo período de tempo que T2 e T3 (48h). Após imersão dos corpos de prova nas soluções de trabalho, as concentrações da solução inicial (antes da imersão) e da final (após imersão) foram determinadas por espectrofotometria. As curvas de calibração do carvacrol (10–60 ppm, leitura em 272 nm) e do TBP90 (50–175 ppm, leitura em 306 nm) foram obtidas e utilizadas para cálculo das concentrações. A concentração da solução inicial e final para TBP90 foram 936,25 e 688,71 ppm para o carvacrol 828,37 e 662,42 ppm. O trabalho foi conduzido na área experimental florestal da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitiba, com coletas realizadas a cada 60 dias. Para avaliação da perda de massa foi utilizada a análise estatística Permanova em função dos dados não possuírem normalidade e por permitir a realização de ANOVA fatoriais com dados não normais. Entre os fatores tratamento, tempo e tratamento:tempo, o fator tratamento apresentou 19% de correlação, sendo o único fator com diferença significativa para perda de massa. Os fatores tempo e tempo:tratamento não apresentaram diferença significativa. O tratamento que promoveu menor perda de massa foi o *C. lusitanica* tratado com solução do trabalho. Apesar das potencialidades do carvacrol como agente preservante de madeira, não houve inibição do ataque fúngico em madeiras de pinus. Além disso, para todos os tratamentos em madeira de pinus foi observado ataque de cupins o que inviabilizou o uso de algumas amostras nos cálculos estatísticos. Estes resultados são preliminares e indicam que uma concentração maior de carvacrol deve ser utilizada para a impregnação na madeira de pinus ou outro método de impregnação.

**Palavras-chave:** Óleo de carvacrol. Preservantes naturais. Resistência natural. Tbp90<sup>®</sup>. Campo de apodrecimento.

## ABSTRACT

Considering that the demand for wood has increased annually and that noble woods are being replaced by woods of low natural durability, such as *Pinus taeda*, there is a need to investigate alternatives for the preservation of these materials. The techniques used to treat low-durability wood involve chemical substances containing arsenic and chromium salts that are toxic to the environment, animals and humans. In this sense, it is important to evaluate new substances regarding their antifungal potential against wood-rotting fungi. Carvacrol is a volatile aromatic substance that was found as a major component (76.4%) of the essential oil of the dry wood of *Cupressus lusitanica*. Our research group investigated *in vitro* antifungal activity against wood rotting fungi and found significant antifungal activity at low oil concentrations (250 ppm). These previous results indicate that there is strong evidence that carvacrol is responsible for the natural durability of *C. lusitanica* wood. Thus, the objective of this work was to evaluate the protective effect of carvacrol in a field rot test for *Pinus taeda* wood. For this purpose, the pine specimens in the dimensions 20x20x300mm (width, thickness, length) were impregnated with the working solutions, namely: T1 – *P. taeda* wood without treatment; T2 – *P. taeda* wood treated with carvacrol at 1000 ppm (in aqueous solution with 7% ethanol); T3 – *P. taeda* wood treated with sodium tribromophenate (TBP90®) at 1000 ppm (in aqueous solution with 7% ethanol). Untreated cupressus specimens (T4) were also included in the experiment. T1 and T4 were immersed in an aqueous solution with 7% ethanol for the same period of time as T2 and T3 (48h). After immersion of the specimens in the working solutions, the concentrations of the initial solution (before immersion) and of the final solution (after immersion) were determined by spectrophotometry. The calibration curves for carvacrol (10–60 ppm, reading at 272 nm) and TBP90 (50–175 ppm, reading at 306 nm) were obtained and used to calculate the concentrations. The initial and final solution concentrations for TBP90 were 936.25 and 688.71 ppm for carvacrol 828.37 and 662.42 ppm. The work was carried out in the experimental forest area of the Federal University of Santa Catarina, Campus de Curitiba, with collections carried out every 60 days. Permanova statistical analysis was used to assess mass loss because the data were not normal and for allowing factorial ANOVA to be performed with non-normal data. Among the treatment, time and treatment:time factors, the treatment factor presented a 19% correlation, being the only factor with a significant difference for mass loss. The time and time:treatment factors showed no significant difference. The treatment that promoted less mass loss was *C. lusitanica* treated with working solution. Despite the potential of carvacrol as a wood preservative agent, there was no inhibition of fungal attack on pine woods. In addition, for all pine wood treatments, termite attacks were observed, which made the use of some samples in the statistical calculations unfeasible. These results are preliminary and indicate that a higher concentration of carvacrol should be used for impregnation in pine wood or another impregnation method.

**Keywords:** Carvacrol essential oil. Natural preservatives. Natural resistance . Tbp90®. rot field



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura química do Carvacrol. ....	19
Figura 2 – Teste de absorção. ....	21
Figura 3 – Disposição das estacas para que haja uma melhor absorção da solução.....	22
Figura 4 – Período de absorção da solução com os tratamentos. ....	22
Figura 5 – Exposição dos corpos de prova em temperatura ambiente, para a secagem após tratamento. ....	22
Figura 6 – Croqui ensaio a campo .....	23
Figura 7 – Espectrofotômetro UV (BEL 2000).....	25
Figura 8 – Perda de massa média (%) por tratamento ao longo do tempo de exposição a campo. ....	29
Figura 9 – Corpos de prova de <i>Pinus taeda</i> com ataque de cupins.....	30
Figura 10 – Corpo de prova <i>Cupressus Lusitanica</i> , sem evidente ataque de fungos e cupins após 6 meses à campo. ....	31

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teste de absorção de solução padrão em estacas de <i>Pinus taeda</i> .....	27
Tabela 2 – Teste de absorção de solução padrão em estacas de <i>Cupressus lusitanica</i> . ....	27
Tabela 3 – Concentração do óleo de carvacrol e do fungicida Tribromofenato de sódio (TBP90®), lido a partir do espectrofotômetro. ....	28
Tabela 4 – Descrição dos valores de perda de massa de estacas de <i>Pinus taeda</i> tratadas com solução padrão, TBP90® e óleo de carvacrol e <i>Cupressus lusitanica</i> tratada com solução padrão, valores obtidos a partir do teste de Permanova ( $p>0,05$ ) .....	30

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
1.1	OBJETIVOS .....	12
1.1.1	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>12</b>
1.1.2	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
2.1	DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES.....	14
2.1.1	<i>Pinus taeda</i> L.....	14
2.1.2	<i>Cupressus lusitanica</i> Mill.....	14
2.2	AGENTES BIOLÓGICOS DETERIORADORES DA MADEIRA.....	15
2.3	ENSAIO NO CAMPO.....	16
2.4	PRESERVANTES QUÍMICO .....	17
2.5	PRESERVANTE NATURAL .....	18
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>20</b>
3.1	OBTENÇÃO E PREPARO DO MATERIAL.....	20
3.2	TESTE DE SOLUBILIDADE DO CARVACROL .....	20
3.3	ENSAIO DE ABSORÇÃO .....	20
3.4	TRATAMENTO DO MATERIAL .....	21
3.5	INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO A CAMPO.....	23
3.6	Determinação da quantidade de princípio ativo absorvida.....	24
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>26</b>
4.1	SOLUBILIDADE DO CARVACROL em solução hidroetanólica .....	26
4.2	ensaio de ABSORÇÃO DA SOLUÇÃO de trabalho .....	26
4.3	Imersão dos corpos de prova .....	27
4.4	EXPERIMENTO À CAMPO .....	28
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>33</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A indústria florestal possui relevância econômica para o Brasil, constituindo cerca de 9 milhões de hectares de florestas plantadas, além disso, representa 1,2% do PIB nacional, com receita bruta total de 97,4 bilhões (IBÁ, 2020).

Segundo a Indústria Brasileira de árvores (2020) o estado de Santa Catarina é responsável por 26% do plantio de *Pinus* em todo o país, e foi o principal estado exportador de madeira do gênero *Pinus* no ano de 2019, o que confirma o fato de o estado ser um dos principais alocadores de florestas plantadas de *Pinus*, com cerca de 553,6 mil hectares. O gênero *Pinus* adaptou-se ao estado devido às condições edafoclimáticas serem favoráveis para o seu desenvolvimento o que inclui Santa Catarina no ranking dos estados com maior área plantada com espécies deste gênero (ACR, 2019; ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE BASE FLORESTAL PARA O ESTADO DE SANTA CATARINA, 2019; IBÁ, 2020).

A madeira é um material de origem orgânica, sendo altamente suscetível a deterioração por agentes biológicos (fungos, bactérias, insetos e brocas marinhas), os quais podem atacar a celulose, hemicelulose e lignina. Estudos apontam que a madeira de *Pinus* apresenta aproximadamente uma perda de massa de 54,63% quando atacada pelo fungo *Gloeophyllum trabeum* e 43,46% em relação ao *Trametes versicolor* (PAES *et al.*, 2012; MODES *et al.*, 2017)

Nesse contexto, tratando especificamente da madeira de *Pinus taeda* L. esta apresenta baixa durabilidade natural, o que justifica seu tratamento preservante com produtos químicos tais como CCA (Chromated Copper Arsenate ou Arseniato de Cobre Cromatado) e CCB (Chromated Copper Boricou Borato de Cobre Cromatado) que, embora eficientes, possuem elevada toxicidade ao homem e ao meio ambiente. A presença de grandes quantidades de madeira tratada com CCA cria uma preocupação sob várias perspectivas. De acordo com Blassino *et al.* (2002) a liberação de resíduos de madeira tratada com CCA também é considerada um problema ambiental mundial, pois quantidades substanciais de CCA se acumulam em ambientes aquáticos resultando em aumento do conteúdo de metal pesado na água e no solo (KIM *et al.*, 2012). Além disso, o arsênio e cromo são considerados carcinógenos humanos e o Cobre pode ser tóxico para os organismos vivos (HASAN *et al.*, 2010).

Diante de uma maior preocupação ambiental há uma procura por produtos que sejam menos prejudiciais ao meio ambiente, tanto no tratamento de doenças, controle de praga e também para o tratamento da madeira. Os óleos essenciais de plantas, já vem sendo muito utilizados para o controle de doenças fúngicas, tanto *in vitro* como *in vivo*, devido aos resultados

positivos que esses trazem para o controle de fungos (SCHWAN-ESTRADA; STANGARLIN, 2005).

Os resultados de Voda *et al.* (2003) mostraram que os compostos mais eficazes na inibição do crescimento de fungos de podridão parda *Coniophora puteana* e podridão branca *Trametes versicolor* foram timol, carvacrol, trans-anetol, comprovando então a eficácia do uso de óleo de carvacrol para o tratamento de madeira de *P. taeda*.

Estudos conduzidos na Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitibanos, mas ainda não publicados revelaram que o óleo essencial da madeira seca de cupressus exibe significativa atividade antifúngica inibindo 100% do crescimento *in vitro* dos fungos *Trametes versicolor* e *Gloeophyllum trabeum*. Neste óleo, foi encontrado que o monoterpene fenólico carvacrol é o componente majoritário e pode ser o grande responsável pela atividade antifúngica. Dessa forma, o carvacrol comercial foi avaliado contra os mesmos fungos e apresentou atividade antifúngica ainda melhor contra os fungos *T. versicolor* e *G. trabeum*.

Diante do potencial do carvacrol em proteger a madeira serrada contra o ataque de fungos deterioradores, este trabalho reporta resultados obtidos em ensaio de apodrecimento a campo com o uso do carvacrol na proteção da madeira de *Pinus taeda*.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito protetor do carvacrol, sobre a madeira de pinus em ensaio de apodrecimento à campo.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Determinar a quantidade mínima de etanol em água para que possibilite a dissolução completa do carvacrol a 1000 ppm para a impregnação na madeira de *Pinus taeda*.

Determinar o volume mínimo de solução necessária para a imersão de todos os corpos de prova utilizados em cada tratamento.

Realizar as imersões dos corpos de prova para cada tratamento e determinar, com o uso de técnicas espectrofotométricas, a quantidade de carvacrol e TBP90 impregnadas na madeira de pinus.

Avaliar a perda de massa dos corpos de prova ao longo de 7 avaliações com intervalos de 60 dias.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 DESCRIÇÃO DAS ESPÉCIES

#### 2.1.1 *Pinus taeda* L.

Nativa dos Estados Unidos, onde apresenta ampla distribuição geográfica, o *Pinus taeda* L. é uma conífera (gimnosperma) pertencente à família Pinaceae (EVANGELISTA; WREGG, 2010; SHIMIZU, 2006). Essa espécie ocorre em regiões, onde a altitude varia entre 0 a 700 metros, com clima temperado e úmido (HURREL, 2007; SHIMIZU, 2006). Segundo Schultz (1997) o *P. taeda* é uma espécie que possui alta capacidade para se desenvolver em diversos tipos de solos e apresenta crescimento rápido fornecendo grandes rendimentos.

Morfologicamente, assim como as outras coníferas o *P. taeda* possui casca característica gretada, ramos acinzentados e acículas de coloração verde–escura, reunidas em grupos de três, em indivíduos adultos pode apresentar uma altura que varia de 20 a 30 metros e ter um diâmetro de até 1,6 m. Dispõe de sementes aladas muito pequenas, que possuem facilidade em se dispersar pelo vento, esta característica causa um dos problemas do cultivo da espécie, pois sua fácil disseminação pode acarretar a invasão de áreas onde é indesejada (HURREL; BAZZANO, 2007; PINUSLETTER, 2007).

Os plantios com finalidades econômicas de *P. taeda* começaram no Brasil em meados de 1948, pelo Serviço Florestal de São Paulo, compreendendo que a mesma é uma das espécies mais empregadas em reflorestamentos no Sul do Brasil. Em áreas de altitude e frio, apresenta um melhor crescimento que o gênero *Eucalyptus* por ser resistente às baixas temperaturas e dessa forma aponta um desenvolvimento mais rápido que para o *P. elliottii* (SHIMIZU, 2008).

Por muitos anos foram exploradas as espécies nativas e tropicais gerando então mais demanda do que se tinha disponível para consumo, sendo assim o setor florestal passou a investir em espécies exóticas que apresentavam crescimento rápido como as do gênero *Pinus* (VIVIAN, 2018).

#### 2.1.2 *Cupressus Lusitanica* Mill

Nativa das regiões montanhosas do México, Guatemala, El Salvador e Honduras o cipreste *C. lusitanica* Mill., é uma Gimnosperma pertencente à família Cupressaceae que se



caracteriza como uma planta monoica, perenifolia, resinosa e aromática que pode atingir mais de 30 m de altura e até 1 m de DAP (CHAVES; FONSECA, 1991). O cipreste deve, desde o início de seu desenvolvimento (por volta de 2 anos), passar por desrama artificial quando em plantios puros pois a madeira desenvolve muitos nós. A espécie então exibe um crescimento rápido, com produtividade média de até 30 m<sup>3</sup>/ha.ano, e pode ser cultivada mesmo em terrenos rasos e áreas de encosta (EMBRAPA, 1988).

Em relação a sua morfologia, o cipreste possui madeira de cor amarelada, às vezes marrom pálida ou ligeiramente rosada, a grã é reta e a textura, fina e uniforme, razoavelmente estável, seca rapidamente ao ar e empena pouco, rachaduras no topo corriqueiramente presente, produz madeira leve, de fácil manuseio com densidade de aproximadamente 0,44g/cm<sup>3</sup>. Seu cerne é resistente a fungos e insetos (PEREIRA; HIGA, 2003; SHIMIZU *et al.*, 2006). Na região sul do Brasil, o *C. lusitanica* mostra-se com bom desempenho para o cultivo, contudo, a mesma ainda é utilizada apenas como cerca-viva e quebra-vento (OKINO *et al.*, 2008; SHIMIZU *et al.*, 1995, SHIMIZU *et al.*, 2006).

A utilização de *C. lusitanica*, em plantios comerciais na região Sul do Brasil permite o abastecimento do mercado consumidor com materiais de qualidade diferenciada em relação a outros produtos disponíveis no mercado madeireiro, além de assegurar o desenvolvimento de processos mais eficientes de aproveitamento da matéria-prima, devido a diversificação e obtenção de subprodutos.

## 2.2 AGENTES BIOLÓGICOS DETERIORADORES DA MADEIRA

Os fungos, insetos, moluscos, crustáceos e bactérias, são os responsáveis pela degradação biológica da madeira, contudo, destaca-se como o grupo mais importantes os organismos xilófagos compreendidos por fungos e os insetos, responsáveis por grandes perdas nos vários tipos de produtos florestais (MENDES; ALVES, 1988). Os fungos são responsáveis por grandes perdas econômicas, com relação a degradação da madeira, que pode ocorrer em diferentes formas, sendo nos casos mais extremos a decomposição total da madeira ou somente manchá-la (KOLLMAN; CÔTE, 1968).

Os fungos xilófagos podem ser divididos em emboloradores, manchadores e apodrecedores. No caso de emboloradores e manchadores, os microrganismos não decompõe a parede celular da madeira, pois se alimentam principalmente de açúcares das células parenquimáticas e do amido desses materiais. Os fungos apodrecedores ocasionam perdas de

resistência mecânica da madeira pois são decompositores lignocelulósico (MAGALHÃES, 2005). Araújo *et al.* (2012) citam que a durabilidade natural das madeiras pode ser um dos fatores limitantes quanto ao seu uso em diversos segmentos do mercado. Os fatores físicos, químicos e biológicos, entre os quais a umidade, a temperatura, a presença de xilófagos e baixa resistência natural, são importantes no estabelecimento de uma determinada espécie em função da sua aplicação. Segundo Encinas e Mora (2002), cada espécie de árvore pode produzir madeiras quimicamente e estruturalmente diferentes, mas isso não interfere quanto ao processo de biodegradação e crescimento de fungos.

A partir do momento em que os fungos infectam a madeira acabam desenvolvendo seus próprios mecanismos de degradação, que não dependem apenas da sua capacidade de degradação individual e do tipo de apodrecimento, mas dependem das características e composição anatômica da madeira. Os fatores que influenciam como determinantes para a resistência natural da madeira, são: o local, taxa de crescimento, idade, quantidade de extrativos, parcela da madeira (cerne e alburno) e as condições do ambiente em que a madeira está sendo exposta (SUPRAPTI, 2010).

A resistência natural da madeira pode ser entendida como sua capacidade de resistir à ação de agentes deterioradores, sejam eles bióticos ou abióticos (VIVIAN *et al.*, 2018). A presença de extrativos (substâncias fenólicas, taninos, resinas, ceras, gorduras) também é importante para conferir maior grau de resistência para a madeira (PALA, 2007). As madeiras que não apresentam uma resistência natural necessitam de tratamento para que sua durabilidade no campo seja mais efetiva. Do mesmo modo que madeiras que apresentam alta resistência natural utilizam quantidades menores de químicos para tratamento preservante, que muitas vezes podem afetar o ambiente. A resistência natural da madeira é uma característica de muita importância para o seu uso (STALLBAUN *et al.*, 2016).

### 2.3 ENSAIO NO CAMPO

Para avaliação da resistência natural são utilizados ensaios em laboratório e ensaios de campo (STANGERLIN *et al.*, 2012). De acordo com Mattos *et al.* (2013), ensaios de campo caracterizam de melhor forma a resistência natural da madeira, devido as condições reais de deterioração, principalmente por estar em contato com o solo.

Testes em campo têm reproduzido com autenticidade situações de uso da madeira com ou sem tratamento químico. Madeiras nestas situações estão expostas a fatores abióticos e

bióticos que são: períodos irregulares de lixiviação, secagem, exposição à luz solar, além dos agentes químicos presentes no solo e diversos microrganismos xilófagos que podem atuar em conjunto (COSTA *et al.*, 2005).

O ensaio apresenta uma metodologia de soterramento parcial de amostras de madeira seguido de inspeções periódicas a ser determinadas pelo autor, para avaliar o seu estado de durabilidade, caracterizando no fim do projeto um período hábil de resistência a qual foi submetida (COSTA *et al.*, 2005).

## 2.4 PRESERVANTES QUÍMICO

A aplicação dos preservantes químicos se dá por imersão ou sob pressão, a qual pode ser realizada em autoclave. Esse processo é feito em usinas de preservação por meio de equipamento que produz de maneira alternada, vácuo e pressão, permitindo que o preservativo químico penetre profundamente e de maneira homogênea nas fibras de madeira (FAGUNDES, 2003). Dentre os principais preservantes químicos utilizados para o tratamento da madeira estão o creosoto e o Arseniato de Cobre Cromatado (CCA). A utilização do creosoto tem diminuído muito, em função do aspecto característico escuro e oleoso causado na madeira. Com relação ao uso do CCA, este é mais utilizado para fins estruturais, porém este produto vem gerando muita controvérsia em vários países que ainda o utilizam, pois, estudos mostram que a exposição aos componentes do CCA – Cobre, Cromo e Arsênico podem causar sérios problemas a saúde dos seres humanos e ao meio ambiente (FAGUNDES, 2003). Para tanto, muitos fabricantes de produtos preservantes da madeira, oferecem alternativas para CCA, como por exemplo, o Borato de Cobre Cromatado (CCB) e o composto chamado Cobre Alcalino/Arseniato de Cobre Amoniacal (ACA). Mas no Brasil, o CCA ainda é utilizado, pois existem normas técnicas que regulamentam sua utilização garantindo como um produto seguro e que fornece grande durabilidade. No entanto, o mercado para este produto vem sendo limitado, como ocorre na maioria dos países da Comunidade Européia, onde o mesmo já foi banido há algum tempo (FAGUNDES, 2003).

O tribromofenol pode ser transformado em tribromofenato de sódio quando misturado ao hidróxido de sódio. Este preservativo vem sendo usado para tentar substituir o pentaclorofenato de sódio, por ser economicamente mais viável e sofrer menor restrição ambiental, embora apresente menor eficiência contra os agentes biológicos (SILVA, 2007). Contudo, por ter valor de mercado baixo em comparação com os produtos alternativos para

preservação da madeira e pela baixa exigência do mercado interno sobre a qualidade dos produtos madeireiros, esse produto vem sendo utilizado de forma intensa (MORESCHI, 2005).

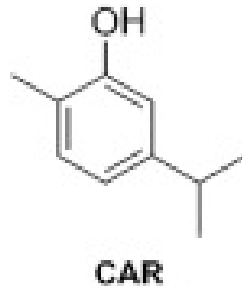
## 2.5 PRESERVANTE NATURAL

Os componentes extrativos das espécies de plantas vem sendo alvo de vários estudos nos últimos anos com olhares para os efeitos tóxicos sobre organismos xilófagos, o que pode explicar a alta resistência de algumas espécies madeireiras (SCHEFFER; COWLING, 1966; BARBOSA *et al.*, 2003; GOMES *et al.*, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 2005). Os extrativos podem ser retirados da madeira por água ou solventes orgânicos, como etanol, acetona, diclorometano, metanol e etanol, entre outros, além da volatilização. O teor da durabilidade da madeira se dá a partir de seus extrativos, que são normalmente formados durante a transformação do alburno em cerne, por caráter fenólico, que se acumulam nos lúmens e paredes das células, resultando, na maioria das vezes, numa coloração escura do cerne (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Um dos extrativos que pode ser utilizado é o óleo essencial, o qual é constituído por uma mistura complexa de substâncias voláteis (SERAFINI *et al.*, 2001). Entre esses componentes está o carvacrol, um monoterpene fenólico que pode ser encontrado e extraído de diferentes espécies de planta como o orégano (GOVINDARAJAN *et al.*, 2016) e até árvores de grande porte como *C. lusitanica*. Além disso, esse componente possui atividade antimicrobiana reconhecida contra fungos de importância como *Fusarium verticillioides*, *Penicillium expansum*, *Rhizopus oryzae*, *Alternaria alternaria*, *Cladosporium spp.* e *Aspergillus spp.* (ABBASZADEH *et al.*, 2014; BASSOLÉ *et al.*, 2010; LIMA *et al.*, 2013; MOTA *et al.*, 2012).

O carvacrol é um monoterpene (Figura 1) natural particularmente abundante em plantas pertencentes à Lamiaceae, tem atraído recentemente muita atenção por suas inúmeras propriedades biológicas (antioxidante, anti-inflamatória, neuroprotetora, antitumoral, antibacteriana e várias outras). Porém, o carvacrol pode apresentar propriedades físico-químicas ruins (baixa solubilidade em água e alta volatilidade), o que dificulta seus potenciais usos farmacológicos (MARINELLI *et al.*, 2019).

Figura 1 – Estrutura química do Carvacrol.



Fonte: Marinelli *et al.* (2019)

Além disso, estudos de Zhang *et al.*, 2016 apontam que o carvacrol foi um dos monoterpenos mais tóxico contra os diferentes fungos que atacam a madeira, os autores mostram quem a IC<sub>50</sub> (concentração inibitória de 50%) os valores contra *Trametes hirsuta*, *Schizophyhlis commune* e *Pycnoporus sanguineus*, foram 87,6, 53,6 e 71,7  $\mu\text{g mL}^{-1}$  respectivamente. Sendo assim, assume-se que os resultados desses estudos e complementando a outros atuais indicaram que o carvacrol tem potencial para ser desenvolvido como agentes fungicidas naturais, e ainda os autores sugerem que há necessidade de estudo mais aprofundado do tratamento de preservação da madeira para fins de aplicabilidade.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 OBTENÇÃO E PREPARO DO MATERIAL

No experimento foram utilizadas as madeiras de *P. taeda* e *C. lusitanica*. A madeira de *P. taeda* foi doada pela Madeireira Marisol Ltda, localizada no município de Curitiba, estado de Santa Catarina na forma de tábuas com dimensões de 20 x 2 x 150 cm (largura x espessura x comprimento), coletadas no pátio da empresa sem qualquer critério de seleção. A madeira de *C. lusitanica* foi obtida de plantio pertencente a empresa Florestal Guamirim Gateados Ltda, no município de Campo Belo do Sul. Os corpos de prova, livres de defeitos (medula, nós, bolsas de resina, rachaduras), foram confeccionados com dimensões 20x20x300mm (largura, espessura, comprimento) utilizando serra circular esquadrejadeira localizada no Laboratório de Recursos Florestais II da UFSC, Campus de Curitiba.

#### 3.2 TESTE DE SOLUBILIDADE DO CARVACROL

Para esse teste foram utilizadas diferentes porcentagens de álcool para avaliar a solubilidade do carvacrol adquirido comercialmente. Foram utilizadas soluções aquosas nas proporções de 5%, 7% e 10% de etanol em água destilada.

#### 3.3 ENSAIO DE ABSORÇÃO

Em provetas de 250 mL contendo solução aquosa com 7% de etanol foram mergulhados os corpos de provas de *P. taeda* e *C. lusitanica* os quais foram mantidos submersos por diferentes períodos: 6 horas, 12 horas, 24 horas e 48 horas. Ao final de cada período, foi determinado o volume de solução absorvida pelos corpos de prova (Figura 2) avaliando o volume restante na proveta após a remoção dos corpos de prova.

Figura 2 – Teste de absorção.



Fonte: Autor (2020).

### 3.4 TRATAMENTO DO MATERIAL

Os corpos de prova, 49 amostras de *C. lusitanica* e 147 de *P. taeda*, foram submetidos a secagem em estufa com circulação forçada de ar operando à temperatura de 55°C até atingirem massa constante (48 horas). O material foi resfriado por 24 horas em sala climatizada a 21°C equipada com desumidificador de ar. Os corpos de prova foram então pesados em uma balança semi analítica para obtenção da massa inicial.

Posteriormente as estacas de *P. taeda* foram submetidas a imersão nas soluções de estudo para impregnação pelos tratamentos antes de serem direcionadas a campo. Foram avaliados quatro tratamentos: T1 – Madeira de *P. taeda* sem tratamento; T2 – Madeira de *P. taeda* tratado com carvacrol a 1000 ppm; T3 – Madeira de *P. taeda* tratado com tribromofenato de sódio (TBP90<sup>®</sup>) a 1000 ppm e T4 – Madeira de *C. lusitanica* sem tratamento. A solução aquosa com 7% de etanol foi utilizada para todos os tratamentos.

Após o preparo das soluções os corpos de prova foram dispostos dentro de caixas plásticas com volume de 20 litros em camadas perpendiculares conforme apresentado na figura 3 e imersos nas soluções. O material foi mantido nessa condição por 48 horas com movimentação do material após 24. Após 48 horas, os corpos de prova foram removidos das caixas e deixados em local ventilado para secagem a temperatura ambiente por 7 dias (Figura 5).

Figura 3 – Disposição das estacas para que haja uma melhor absorção da solução.



Fonte: Autor (2020).

Figura 4 – Período de absorção da solução com os tratamentos.



Fonte: Autor (2020).

Figura 5 – Exposição dos corpos de prova em temperatura ambiente, para a secagem após tratamento.



Fonte: Autor (2020).



### 3.5 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO A CAMPO

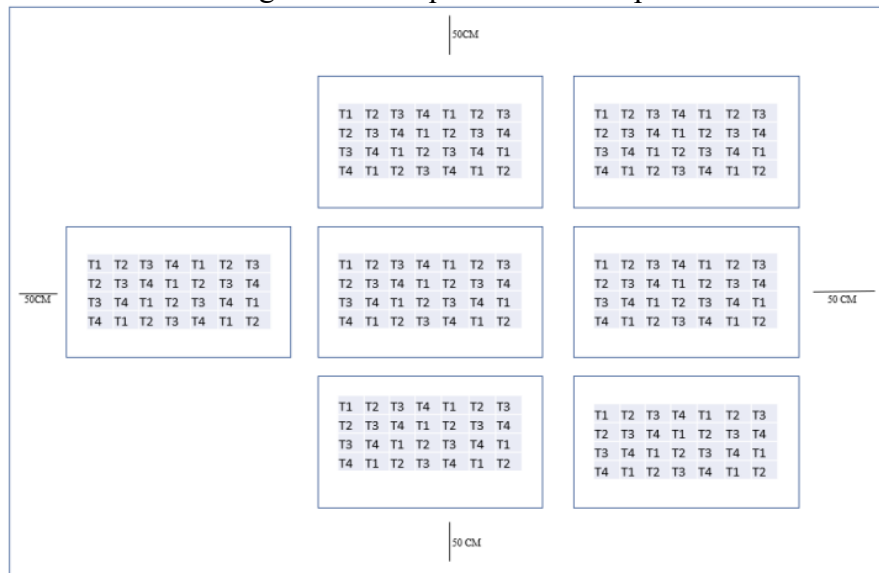
O experimento foi conduzido na área experimental florestal (AEF) da Universidade Federal de Santa Catarina, Campus de Curitibanos. O clima da região segundo Köppen é Cfb considerado temperado mesotérmico úmido (ALVARES, 2013) com verão ameno. O solo que predomina na região são os Argissolos Cambissolos e Neossolos (SOUZA, 2003).

O experimento foi implementado no dia 17/08/2020. Os corpos de prova foram enterrados no solo a uma profundidade de 15 cm, correspondente a metade do seu comprimento. Os orifícios no solo foram preparados com auxílio de talhadeira e marreta.

O experimento foi planejado com sete (07) blocos e sete (07) repetições para cada tratamento (28 corpos de prova por bloco) e cada bloco contendo sete (07) colunas e quatro (04) linhas cada, em um total de 196 corpos de prova sendo 147 destes compostos por madeira de *P. taeda* e 49 da espécie de *C. lusitanica*, distribuídos em quatro tratamentos (Figura 5),

O espaçamento entre os corpos de prova foi de 30 x 30 cm na linha e entrelinha e 50 cm entre blocos. Também foi dimensionada uma bordadura ao entorno do experimento de 50 cm, conforme apresentado no croqui da figura 6.

Figura 6 – Croqui ensaio a campo



Fonte: Autor (2020).

As coletas foram realizadas com intervalos de 60 dias com remoção de 1 estaca de cada tratamento por bloco, totalizando 7 repetições por tratamento em cada coleta. As estacas foram submetidas a secagem em estufa com circulação forçada de ar operando à temperatura

de 55°C por 48 horas. Após esse período as estacas foram deixadas em sala climatizada à temperatura de 21°C e umidade relativa mantida a 50% por um desumidificador (ARTEL, B-EA16MD19) por um período de 24 horas. Posteriormente, o material foi cuidadosamente escovado para remoção de partículas de solo e pesado em balança semi-analítica para obtenção da massa final. Os resultados para perda de massa das amostras foram calculados utilizando a equação 1.

$$PM_{cp} (\%) = (M_i - M_f) / M_i * 100 \quad (1)$$

Onde:  $PM_{cp}$ = perda de massa da estaca, %;  $M_i$ = massa inicial, g;  $M_f$ = massa final, g.

Para avaliar a eficiência do óleo de carvacrol nas estacas, foi necessário comparar as massas iniciais com as finais para que a diferença resultasse na porcentagem de eficiência do mesmo, para tanto foi utilizado a formula aos critérios da ASTM D2017-05.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de Permanova com fator para dados não-paramétricos, utilizando em software R<sup>®</sup> e Rstudio<sup>®</sup> com o pacote vegan.

### 3.6 DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE PRINCÍPIO ATIVO ABSORVIDA

Após a realização do tratamento dos corpos de prova, as concentrações de TBP90<sup>®</sup> e de óleo de carvacrol nas soluções iniciais e finais de cada tratamento foram determinadas através de ensaio espectrofotométrico (BEL 2000UV) (Figura 7). As curvas de calibração foram construídas na faixa de concentração de 10 a 60 ppm para o carvacrol com leituras em 272nm ( $y = 0,0129x - 0,0263$  e  $R^2 = 0,9999$ ) e para o TBP90<sup>®</sup> foram construídas na faixa de concentração de 50 a 175 ppm com leituras em 306nm ( $y = 0,008x - 0,03981$  e  $R^2 = 0,9861$ ). Ambas as curvas de calibração foram realizadas com dissolução dos princípios ativos em solução aquosa com 7% de etanol. A concentração inicial e final das soluções de tratamento foram determinadas utilizando as respectivas equações das retas.

Para determinar a quantidade absorvida de cada produto foi feito o cálculo através dos resultados do espectrômetro sendo assim o valor inicial lido foi multiplicado pela quantidade de solução necessária (11,2 litros), da mesma maneira foi feito a leitura com a solução final resultante (8,6 litros), a diferença dessas duas concentrações foi dividida pela quantidade de corpos de prova, conforme equação a seguir.

$$\text{massa impregnada} = \frac{(C_i \times V_i) - (C_f \times V_f)}{n \text{ corpos de prova}} \quad (2)$$

Figura 7 – Espectrofotômetro UV (BEL 2000)



Fonte: Autor (2022).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 SOLUBILIDADE DO CARVACROL EM SOLUÇÃO HIDROETANÓLICA

O carvacrol é um substancia orgânica com caráter apolar e muito pouco solúvel em água. Essas características dificultam a realização da etapa de impregnação desse princípio ativo porque normalmente é realizado em solução aquosa. O etanol é um solvente versátil porque consegue dissolver substâncias polares, mas também uma ampla variedade de substâncias apolares. O uso de uma pequena quantidade de etanol já torna possível a dissolução de substâncias apolares como o carvacrol.

Dessa forma, foi avaliada a menor quantidade necessária para a dissolução do carvacrol na concentração de 1000 ppm, a qual seria a solução de trabalho a campo. A partir dos resultados obtidos no teste de solubilidade do óleo de carvacrol observou-se que 7% de etanol em água foi a quantidade mínima de álcool necessária para a completa dissolução de carvacrol, a qual foi utilizada para tratamento dos corpos de prova.

Semelhante ao presente estudo Huaiqiong *et al.* (2014) utilizaram solução com 5% de etanol para dissolução do óleo de carvacrol, que apresentou controle bacteriano no soro do leite.

### 4.2 ENSAIO DE ABSORÇÃO DA SOLUÇÃO DE TRABALHO

Os ensaios de absorção da solução hidroetanólica foram realizados para avaliar o tempo de contato necessário entre os corpos de prova e solução de trabalho para absorção completa e o volume de solução absorvido nesse período. Neste ensaio foi observado que após 48h de contato foi absorvido 31 mL de solução para as estacas de *C. Lusitanica*, o que corresponde à uma absorção de 0,67 mL.g<sup>-1</sup> de massa seca. Para as estacas de *P. taeda* foi absorvido 59 mL de solução que corresponde à uma absorção de 1,37 mL.g<sup>-1</sup> de massa seca (Tabela 1 e 2).

Com relação a absorção e retenção do óleo essencial, há trabalhos em que foram testados diferentes técnicas para essa finalidade como a imersão e pulverização das soluções com os princípios ativos. Os autores encontraram que a técnica de imersão é melhor para o tratamento de madeiras, pois há uma melhor absorção e retenção dos produtos utilizados (PACHECO *et al.*, 2022).

Além disso, os mesmos autores testaram diferentes concentrações do óleo essencial de citrus utilizando a técnica de imersão em período de 24 horas, e encontraram a absorção de 0,23

mL.g<sup>-1</sup> e na maior concentração 0,24 mL.g<sup>-1</sup>, e para a retenção a menor concentração foi de 0,03mL.g<sup>-1</sup> e a maior concentração foi de 0,06mL.g<sup>-1</sup> (PACHECO *et al.*, 2022).

Tabela 1 – Teste de absorção de solução padrão em estacas de *Pinus taeda*.

Tempo	Massa seca CP* (g)	Vol. Proveta (mL)	Vol. Restante proveta (mL)	Vol. Absorvido por CP* (mL)	Vol. Retido por g do CP*(mL.g <sup>-1</sup> )
6 hrs.	39,93	232	206	26	0,65
12 hrs.	42,92	225	202	23	0,54
24 hrs.	48,47	223	184	39	0,80
48 hrs.	42,95	237	178	59	1,37

Legenda: CP\*= Corpo de Prova; hrs = horas  
Fonte: Autor, 2022.

Tabela 2 – Teste de absorção de solução padrão em estacas de *Cupressus lusitanica*.

Tempo	Massa seca CP* (g)	Vol. Proveta (mL)	Vol. Restante proveta (mL)	Vol. Absorvido por CP* (mL)	Vol. retido por g do CP*(mL.g <sup>-1</sup> )
6 hrs.	54,71	208	188	20	0,37
12 hrs.	45,81	212	192	20	0,44
24 hrs.	47,46	220	198	22	0,46
48 hrs.	46,4	215	184	31	0,67

Legenda: CP\*= Corpo de Prova; hrs = horas  
Fonte: Autor, 2022.

#### 4.3 IMERSÃO DOS CORPOS DE PROVA

Como o óleo de carvacrol é uma substância orgânica apolar e volátil, é preciso evitar o aquecimento em alta temperatura das madeiras após a absorção do princípio ativo pela madeira. Dessa forma é inviável experimentalmente determinar a quantidade absorvida de princípio ativo pela diferença de massa dos corpos de prova antes e após o tratamento da madeira, uma vez que o procedimento adotado utilizou secagem à 55°C por vários dias o que poderia ocasionar a volatilização do óleo de carvacrol.

Dessa forma, foi utilizado um método alternativo para determinação da quantidade de princípio ativo impregnado. Foi determinada a concentração da solução inicial (antes da imersão) e solução final (após 24h de imersão) de tratamento através de técnicas espectrofotométricas. Para o teste com o fungicida TBP90<sup>®</sup> foi observado a concentração de

936,25 mg.L<sup>-1</sup> para solução inicial e 688,71 mg.L<sup>-1</sup> para solução final (Tabela 3). Dessa maneira cada corpo de prova apresentou uma retenção de 89,39 mg. Já em relação ao carvacrol foi observado um valor real de concentração de 828,37 mg.L<sup>-1</sup> para a solução inicial e 662,48 mg.L<sup>-1</sup> para a solução final. Dessa maneira cada corpo de prova apresentou uma retenção de 76,84 mg.

Tabela 3 – Concentração do óleo de carvacrol e do fungicida Tribromofenato de sódio (TBP90<sup>®</sup>), lido a partir do espectrofotômetro.

	Concentração (mg L <sup>-1</sup> )	
	Carvacrol	TBP90 <sup>®</sup>
Inicial	828,37	936,25
Final	662,48	688,71

Fonte: Autor, 2022

Há estudos que mostram que a retenção é o fator determinante para a qualidade do tratamento preservativo em madeiras, pois é a retenção que determina a quantidade de preservativo ou dos ingredientes ativos fixados de maneira uniforme num determinado volume de madeira (TORRES *et al.*, 2011).

A retenção do óleo de carvacrol por g de madeira foi de 0,04 mg e para o TBP90<sup>®</sup> foi de 0,03 mg, o que explica que a retenção foi baixa, tendo em vista que a literatura traz que o rendimento de óleo é 0,073%, o que leva a 0,073g de óleo para cada 100g de madeira e 0.00073g de óleo por grama de madeira.

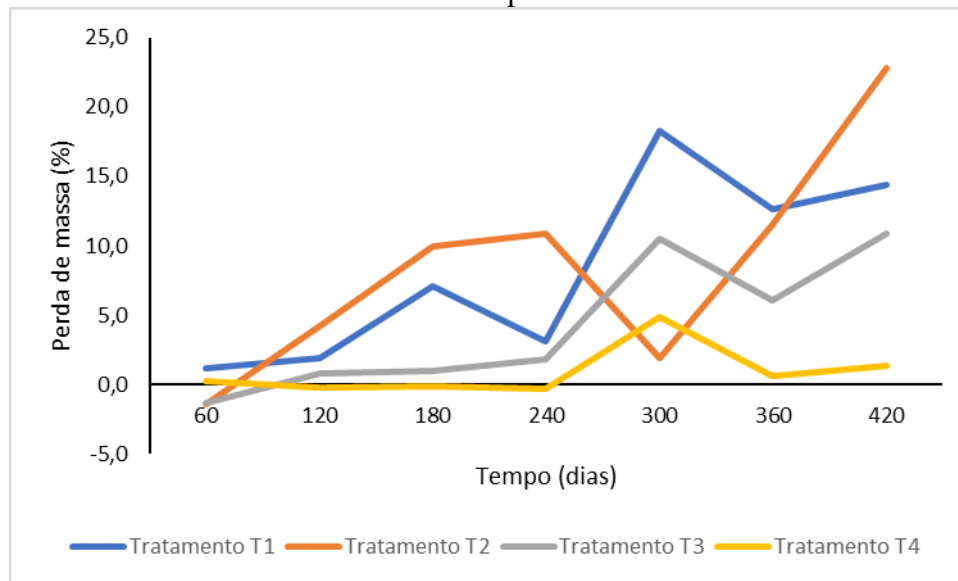
Como o carvacrol está presente com 76% da composição do óleo essencial de *C. lusitânica*, cada grama de madeira tem 0,00055 g de carvacrol ou 0,55 mg de carvacrol por grama de madeira. Dessa maneira podemos perceber que a baixa retenção do óleo de carvacrol nas estacas de *P. taeda* fez com que o tratamento não fosse satisfatório, visto que a madeira de *C. lusitânica* possui cerca de 15 vezes mais carvacrol do que a proporção utilizada no presente trabalho.

#### 4.4 EXPERIMENTO À CAMPO

Na figura 8 observa-se que o tratamento 2 (*P. taeda* tratado com óleo de carvacrol) foi o que obteve a maior perda de massa até os 420 dias de experimento. Após esse período, houve uma inversão nos dados de perda de massa, onde este foi o que menos perdeu massa no período

de 300 dias. Em relação ao T3 onde as estacas foram tratadas com preservante comercialmente já utilizado o mesmo trouxe uma porcentagem de controle aos fungos mas não foi o suficiente para um resultado satisfatório, visto que as estacas foram severamente atacadas por cupins o que fez com que a média do tratamento se assemelhasse aos demais.

Figura 8 – Perda de massa média (%) por tratamento ao longo do tempo de exposição a campo.



Fonte: Autor 2022

Legenda: T1 – Madeira de *P. taeda* sem tratamento; T2 – Madeira de *P. taeda* tratado com carvacrol a 1000 ppm; T3 – Madeira de *P. taeda* tratado com tribromofenato de sódio (TBP90<sup>®</sup>) a 1000 ppm e T4 – Madeira de *C. lusitanica* sem tratamento.

Na tabela 4 estão descritos os resultados da perda de massa dos corpos de provas após o período de 14 meses da instalação do experimento. Esses resultados foram obtidos pelo teste de Permanova com fatores para dados não-paramétricos. Pode-se observar que os resultados apresentaram significância no variável tratamento com destaque para a madeira de *C. lusitanica* a qual apresenta uma boa resistência natural ao ataque de fungos e insetos. A variedade de compostos bioativos presentes nessa espécie permite durabilidade de 10 a 15 anos tanto no solo, como acima do solo o que torna seu uso variado devido a versatilidade e a resistência (ZHANG *et al.*, 2012).

Outro fator, é a baixa durabilidade da madeira de *P. taeda* quando a mesma é exposta a campo sem tratamento, e a ineficácia do tratamento com carvacrol pela reduzida quantidade do produto impregnado nos corpos de prova uma vez que a variável tempo não apresentou

significância. O que indica que não houve lixiviação do produto e perda de eficácia e sim uma baixa impregnação, assim os corpos de prova de pinus sofreram o ataque dos fungos e insetos.

A partir da segunda coleta, quatro meses da instalação do experimento, houve a presença de muitos cupins consumindo a madeira, onde todos os corpos de prova com exceção da madeira de *C. lusitanica* sofreram ataque de cupins, a literatura não traz estudos que comprovam a atividade inseticida da madeira de *C. lusitanica*, mas o desempenho do mesmo a campo mostra que foram as estacas menos atacadas pelos cupins (Figura 9). Isso fez com que houvesse uma alta perda de massa dos corpos de prova, e além disso, não houve tratamento com inseticidas, fazendo com que houvesse perdas de algumas estacas.

Tabela 4 – Descrição dos valores de perda de massa de estacas de *Pinus taeda* tratadas com solução padrão, TBP90® e óleo de carvacrol e *Cupressus lusitânica* tratada com solução padrão, valores obtidos a partir do teste de Permanova ( $p>0,05$ )

	<b>Df</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>F</b>	<b>p&gt;0,05</b>
Tratamento	3	0,19	14,35	0,001***
Tempo	6	0,02	0,70	0,784
Tratamento*Tempo	18	0,05	0,61	0,983

Fonte: Autor, 2022

Figura 9 – Corpos de prova de *Pinus taeda* com ataque de cupins



Fonte: Autor 2021.

Na Figura 10 pode-se observar o corpo de prova de *C. lusitanica*, com integridade após 180 dias que mostra a resistência ao ataque de fungos e cupins. Isso ocorre pelo fato da composição da madeira de *Cupressus* possuir muitos extrativos o que inibem o ataque por xilófagos, em óleo essencial de *C. lusitanica* tem-se 76% do óleo de carvacrol que é constituída principalmente por hidrocarbonetos e monoterpenos. Esses compostos são obtidos



independente do método de extração do óleo essencial, ou seja, são obtidos tanto pela destilação a vapor, cerca de 82–86 % da composição do óleo, quanto por hidrodestilação cerca de 80–85 % da composição do óleo e, dentre esses monoterpenos temos a presença do carvacrol (TAVARES *et al.*, 2020).

O carvacrol já foi utilizado em outros estudos para preservação de madeira como de Cai *et al.* (2020). Foi utilizado o carvacrol comercial como um dos tratamentos para a preservação da madeira de pinheiro contra o ataque de *Trametes versicolor* e *Irpex lacteus*. Como resultados, os corpos de prova tratados apresentaram resistência significativamente melhorada avaliada pelas perdas de força de compressão de massa e radiais da madeira. Além disso, todas as formulações testadas pelos autores resultou em curvas típicas de dose resposta para ambos os fungos testados. Outra variável relevante do estudo, é de que o tratamento com carvacrol não altera as características mecânicas da madeira e nem o aspecto visual.

Figura 10 – Corpo de prova *Cupressus Lusitanica*, sem evidente ataque de fungos e cupins após 6 meses à campo.



Fonte: Autor 2021

## 5 CONCLUSÃO

- Para esse estudo foi possível concluir que para a solubilizar o carvacrol em solução aquosa foi necessário 7% de etanol.
- Através dos resultados obtidos foi possível observar que o carvacrol obtido comercialmente utilizado para o tratamento de *P. taeda*, na concentração utilizada não trouxe a preservação desejada,
- Dessa maneira o presente trabalho sugere que para próximos estudos seja utilizado uma maior concentração de carvacrol para que tenha uma retenção maior do mesmo nos corpos de prova e dessa forma o resultado seja um tratamento mais eficaz.
- O ensaio a campo é um bom teste para avaliar a perda de massa dos corpos de prova, no entanto para os próximos estudos sugere-se a aplicação de um produto com propriedades cupinícidas a fim de evitar o ataque de cupins como observado no presente estudo.

## REFERÊNCIAS

- ABBASZADEH, S. *et al.* Antifungal efficacy of thymol, carvacrol, eugenol and menthol as alternative agents to control the growth of food-relevant fungi. **Journal de Mycologie Médicale**, v. 24, n. 2, p. 51–56, jun. 2014.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711–728, dez. 2013.
- ARAUJO, H. J. B. *et al.* Durabilidade de madeira de eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora* (Hook.) KD Hill & LAS Johnson) tratada com CCA em ambiente amazônico. **Acta Amazônica**, v. 42, p. 49-58, 2012.
- ASTM D 2017**. Standard test method for accelerated laboratory test of natural decay resistance of wood. Philadelphia, 2005. 5p.
- BASSOLÉ, I. H. N. *et al.* Composition and antimicrobial activities of *Lippia multi-flora* Moldenke, *Mentha x piperita* L. and *Ocimum basilicum* L. essential oils and their major monoterpene alcohols alone and in combination. **Molecules**, v. 15, n. 11, p. 7825–7839. 2010.
- BLASSINO, Monika; SOLO-GABRIELE, Helena; TOWNSEND, Timothy. Pilot scale evaluation of sorting technologies for CCA treated wood waste. **Waste Management & Research**, v. 20, n. 3, p. 290–301, 2002.
- IBÁ. **Dados Estatísticos**. Disponível em: <https://www.iba.org/dados-estatisticos>. Acesso em: 8 set. 2020.
- CAI, Lili; LIM, Hyungsuk; NICHOLAS, Darrel D.; KIM, Yunsang. Bio-based Preservative using Methyl- $\beta$ -cyclodextrin-Essential Oil Complexes for Wood Protection. **International Journal Of Biological Macromolecules**, v. 147, p. 420–427, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.056>.
- CHEN, Huaqiong; DAVIDSON, P. Michael; ZHONG, Qixin. Impacts of Sample Preparation Methods on Solubility and Antilisterial Characteristics of Essential Oil Components in Milk. **Applied And Environmental Microbiology**, v. 80, n. 3, p. 907–916, fev. 2014. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.03010-13>.
- CHAVES, E.; FONSECA, W. **Cipres: *Cupressus lusitanica* Mill. espécie de arbol de usomultiple en America Central**. Turrialba: Catie, 1991. (Série Técnica. Informe Técnico, 168).
- COSTA, A. F. *et al.* Durabilidade de madeiras tratadas e não tratadas em campo de apodrecimento. **Floresta e Ambiente**, Brasília, v. 12, n. 1, p. 7–14, 2005.
- ENCINAS, O.; MORA, N. Padrões de degradação de las maderas de pino caribe, curarire y drago por *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor*, y *Pycnoporus sanguineus*. In: Grupo De Investigación Em Conservación De Maderas, 2002, Mérida. **Anais [...]** Mérida: MARN, 2002. p. 1–14

- EVANGELISTA, B. A.; WREGGE, M. S. Zoneamento agrícola de risco climático do Pinus taeda, para região Sul do Brasil. In: Reunión Argentina Y Latino americana De Agrometeorologia, 13; 6, Bahia Blanca. **Anais [...]** Bahia Blanca: Universidade Nacional del Sur, 2010. p. 296–297.
- FAGUNDES, H. A. V. **Produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul.** 2003. Dissertação (Mestrado) –Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- GOVINDARAJAN, M. RAJESWARY; M., HOTI, S. L.; BENELLI, G. Larvicidal 18 potential of carvacrol and terpinen-4-ol from the essential oil of Origanum vulgare (Lamiaceae) against Anopheles stephensi, Anopheles subpictus, Culex quinquefasciatus and Culex tritaeniorhynchus (Diptera: Culicidae). **Veterinary Science**, v. 104, n. x, p. 77–82. 2016.
- GOMES, J. I.; SILVA, E. M. A.; MELO, A. T. S. **Durabilidade de 15 espécies de madeiras amazônicas em contato com o solo em ambiente sombreado.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. (Comunicado técnico, 148).
- HURREL, J. A.; BAZZANO, D. H. **Plantas da la Argentina silvestres y cultivadas: Pinos ornamentales y forestales.** Argentina: (literature Of Latin America), 2007.
- KIM, Jungi; NAM, Jinseok; GUREVYCH, Iryna. Learning semantics with deep belief network for cross-language information retrieval. In: **Proceedings of COLING 2012: Posters.** 2012. p. 579–588.
- KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÉ, W. A. **Principles of Wood Science and Technology.** New York: Springer-Verlag, 1968.
- LIMA, I. O. et. al. Antifungal activity and mode of action of carvacrol against Candida albicans strains. **The Journal of Essential Oil Research**, v. 25, n. 2, p. 138–142, 2013.
- MAGALHÃES, W. L. E. Controle de manchadores e apodrecedores da madeira de pinus. In: SEMINÁRIO DE ATUALIDADE EM PROTEÇÃO FLORESTAL, 2005, Blumenau. **Anais[...]**. Blumenau, 2005. p. 1–9.
- MARINELLI, Lisa; FORNASARI, Erika; EUSEPI, Piera; CIULLA, Michele; GENOVESE, Salvatore; EPIFANO, Francesco; FIORITO, Serena; TURKEZ, Hasan; ÖRTÜCÜ, Serkan; MINGOIA, Marina. Carvacrol prodrugs as novel antimicrobial agents. **European Journal Of Medicinal Chemistry**, v. 178, p. 515–529, set. 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejmech.2019.05.093>.
- MATTOS, B.D. *et al.* Durabilidade a campo da madeira de três espécies de Eucalyptus tratadas por imersão simples. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.8, n.4, p.648– 655. 2013.
- MENDES, A. S.; ALVES, M. V.S. **A degradação da madeira e sua preservação.** Brasília: IBDF/DPq-LPF, 1988.

- MOTA, K. S. L.; PEREIRA, F. O.; OLIVEIRA, W. A.; LIMA, I. O.; LIMA, E. O. Antifungal Activity of *Thymus vulgaris* L. Essential Oil and Its Constituent Phytochemicals against *Rhizopus oryzae*: Interaction with Ergosterol. **Molecules**, v. 17, n. 12, p. 14418–14433, 2012.
- MODES, Karina Soares *et al.* Influência da termorretificação na resistência a degradação biológica das madeiras de *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 993–1002, 2017.
- MORESCHI, J.C. **Produtos preservantes de madeira**. Curitiba, 2005. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós Graduação em Engenharia Florestal, BR–PR, 2005
- 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.
- OKINO, E. Y. A.; TEIXEIRA, D. E.; SOUZA, M. R.; SANTANA, M. A. E.; SOUSA M. E. Propriedades de chapas OSB de *Eucalyptus grandis* e de *Cupressus glauca*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 123–131. 2008.
- PACHECO, Mauro Manuel *et al.* Proteção da madeira de pinus contra manchas usando óleos essenciais cítricos. **Revista Árvore**, v. 46, 2022.
- PAES, J. B.; SOUZA, A. D.; LIMA, C. R.; SOUZA, P. F. Eficiência dos óleos de nim (*Azadirachta indica* A. Juss.) e mamona (*Ricinus communis* L.) na resistência da madeira de sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaerth) a fungos xilófagos em simuladores de campo. **Ciência Florestal**, Santa Marira, v. 22, n. 33, p. 617–624, jul./set. 2012.
- PALA, H. Constituição e mecanismos de degradação biológica de um material orgânico: a madeira. **Construção Magazine**, v. x, n. 20, p. 54–62. 2007.
- PINUSLETTER. Espécies de *Pinus* Úteis ao Brasil – *Pinus taeda*. Rio Grande do Sul, 2007. Disponível em: . Acesso em: 12/09/2020.
- PASCHOATI, S.F.; RESENDE, M.L.V.; ROMEIRO, R.S. **Indução de resistência em plantas a patógenos e insetos**. Piracicaba: Fealq, 2005.p. 125–138
- SCHULTZ, R. P. **Loblolly pine: the ecology and culture of loblolly pine (*Pinus taeda* L.)**. Washington, DC: USDA, Forest Service, 1997. (For. Serv. Agricultural Handbook, 713).
- SERAFINI, L. A.; CASSEL, E. Produção de óleos essenciais: uma alternativa para a agroindústria nacional. In: Serafini, L. A.; Barros, N. M.; Azevedo, J. L. Biotecnologia na agricultura e na agroindústria. Guaíba: **Agropecuária**, 2001.
- SILVA, J.; **Preservantes**. Viçosa MG. Revista Madeira Ed N°103 Março de 2007
- SHIMIZU, J. Y.; PINTO JÚNIOR, J. E.; RIBASKI, G. Cipreste para madeira: alto incremento volumétrico com material genético apropriado. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 30/31, p. 3–17, jan./dez. 1995.

SHIMIZU, J. Y.; RIBAS JÚNIOR, U.; CANCELA, K. C.; MAIOCHI, R. A. **Cedrinho como Alternativa para Produção de Madeira em Pequenas Propriedades Rurais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. (Comunicado Técnico, 172).

SHIMIZU, J. Y. *et al.* Cedrinho como Alternativa para Produção de Madeira em Pequenas Propriedades Rurais. Colombo: Embrapa Florestas, 2006

SHIMIZU, J.Y. **Pinus na Silvicultura Brasileira**. Colombo: Embrapa, 2008.

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

SCHWAN–ESTRADA, K.R.F.; STANGARLIN, J.R. Extratos e óleos essenciais de plantas medicinais na indução de resistência. In: CAVALCANTI, L.S.; DI PIERO, R.M.; CIA, P.; STALLBAUN, P.H. et al. Resistência natural da madeira de *Tachigali vulgaris* ao fungo xilófago *Postia placenta*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 88, p. 459–463. 2016.

SCHEFFER, T. C. *et al.* **Natural durability of wood: A worldwide checklist of species**. 1998.

SUPRAPTI, S. Decay resistance of 84 Indonesian wood species against fungi. **Journal of Tropical Forest Science**, Malaysia, v. 22, n.1, p.81–87. 2010.

TORRES, P. M. A.; PAES, J. B.; LIRA FILHO, J. A.; NASCIMENTO, J. W. B. **Tratamento preservativo da madeira juvenil de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh pelo método de substituição de seiva**. *Cerne*, Lavras, v. 17, n. 2, p. 275–282, abr./jun. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000200016>.

VELDHUIZEN, Edwin J. A.; BOKHOVEN, Johanna L. M. Tjeerdsma–Van; ZWEIJTZER, Cindy; BURT, Sara A.; HAAGSMAN, Henk P.. Structural Requirements for the Antimicrobial Activity of Carvacrol. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, v. 54, n. 5, p. 1874–1879, 7 fev. 2006. American Chemical Society (ACS).

VODA, Karmen *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, n. 1, p. 51–59, 2003.

VIVIAN M. A. *et al.* Durabilidade natural das madeiras de *Apuleia leiocarpa*, *Astronium lecointei* e *Enterolobium schomburgkii* ao fungo apodrecedor *Trametes versicolor*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 38, n. x, p. 1–5. 2018.

ZHANG, Li Jun *et al.* *Cupressus macrocarpa* heartwood oil and its bioactivity against some wood decay fungi. In: **Advanced Materials Research**. Trans Tech Publications Ltd, p. 413–416. 2012.

ZHANG, Zhilin;*et al.* Antifungal activity of monoterpenes against wood white–rot fungi. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 106, p. 157–160, jan. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.10.018>.