

ÓLEO ESSENCIAL DE *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty COMO INIBIDOR DO FUNGO XILÓFAGO *Rhodonía placenta* E DO TÉRMITA *Coptotermes gestroi*¹

ESSENTIAL OIL OF *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty AS AN INHIBITOR OF THE WOOD-DECAYING FUNGUS *Rhodonía placenta* AND THE TERMITE *Coptotermes gestroi*¹

Vinicius José Fernandes², Henrique Trevisan^{3,5}, Cláudio Eduardo Rodrigues dos Santos⁴

RESUMO - A ação de térmitas e fungos xilófagos representa um problema significativo para o emprego otimizado da madeira, necessitando, portanto, de tratamentos para aumentar sua durabilidade biológica. Portanto, o objetivo desde trabalho é avaliar o potencial de inibição do óleo essencial de *Chrysopogon zizanioides*, de origem brasileira e chinesa, sobre o fungo xilófago *Rhodonía placenta* e sobre o térmita *Coptotermes gestroi*, e caracterizar os constituintes químicos majoritários desses óleos. Foram testadas quatro concentrações dos óleos: 175; 87,5; 43,7 e 21,8 µL/mL sobre o desenvolvimento micelial em meio de cultura BDA e 10; 25; 50 e 100 % sobre a ação do térmita, em amostras de madeira de Pinus. Os resultados indicaram que ambos os óleos apresentaram atividade inibitória, tanto para o fungo quanto para o térmita. Porém, o óleo brasileiro foi mais eficaz para inibir ambos xilófagos, em comparação ao chinês, reduzindo significativamente o crescimento micelial, nas concentrações 175; 87,5 e 43,7 µL/mL e em todas as concentrações para inibir a ação dos térmitas. O óleo chinês não reduziu significativamente o crescimento do fungo, no entanto, para os térmitas, as três maiores concentrações inibiram totalmente a ação desses insetos na madeira de Pinus. O óleo brasileiro apresentou três sesquiterpenos khusimol, α-vetivona e nootkatona, como compostos majoritários, enquanto no óleo chinês detectou-se o miristato de isopropila, cis-tujopseno e cedrol. Conclui-se que o óleo de *C. zizanioides*, brasileiro e chinês, inibiu o fungo *R. placenta* e a ação do térmita *C. gestroi*, sendo o de origem brasileira mais eficiente para ambos os organismos xilófagos.

Palavras-chave: Efeito fungistático, Cupim subterrâneo, Constituintes majoritários, Preservação da madeira.

ABSTRACT - The activity of termites and wood-decaying fungi represents a significant problem for the proper use of wood. In this study, the inhibitory activity of *Chrysopogon zizanioides* essential oils from Brazil and China was evaluated against the wood-decaying fungus *Rhodonía placenta* and the termite *Coptotermes gestroi*. In addition, the major chemical constituents of the oils were identified. Four concentrations of the oils 175; 87.5; 43.7 e 21.8 µL/mL were tested on mycelial development in BDA culture medium and 10, 25, 50, and 100 % on termite activity in Pinus wood samples. The results indicated that both oils exhibited inhibitory activity against the fungus and the termite. The Brazilian oil was more effective in inhibiting both xylophagous organisms compared to the Chinese oil, significantly reducing mycelial growth at concentrations of 175; 87.5 and 43.7 µL/mL and inhibiting termite activity at all concentrations. The Chinese oil did not significantly reduce fungal growth; however, for termites, the three highest concentrations completely inhibited their activity in Pinus wood. The Brazilian oil presented three sesquiterpenes khusimol, α-vetivone and nootkatone, as major compounds, whereas in the Chinese oil, isopropyl myristate, cis-thujopsene, and cedrol were detected. It is concluded that the essential oil of *C. zizanioides*, both Brazilian and Chinese, inhibited the fungus *R. placenta* and the termite *C. gestroi*, with the Brazilian oil being more efficient against both xylophagous organisms.

Keywords: Fungistatic effect, Subterranean termites, Major constituents, Wood preservation.

¹ Recebido em 01.11.2025. Aceito para publicação em 03.03.2026. Publicado em 10.03.2026.

² Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR-465, Km 07, 23890-000, Seropédica -RJ, Brasil, <https://orcid.org/0000-0002-3979-1722>.

³ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR-465, Km 07, 23890-000, Seropédica -RJ, Brasil, <https://orcid.org/0000-0003-0155-231X>.

⁴ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, BR-465, Km 07, 23890-000, Seropédica -RJ, Brasil, <https://orcid.org/0000-0003-0129-2802>.

⁵ Autor para correspondência: Henrique Trevisan - hentrevisan@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

A deterioração proporcionada por organismos xilófagos em madeiras é um problema para o emprego otimizado desse material, isso sinaliza a necessidade do desenvolvimento de técnicas que propiciem o aumento de resistência desse material frente à ação desses organismos (Trevisan e Coelho-Netto 2025).

Dentre as abordagens tradicionalmente adotadas, destaca-se o uso de tratamentos químicos, amplamente aplicados no setor madeireiro (Appel et al. 2006, Trevisan et al. 2020). Todavia, as crescentes preocupações quanto aos impactos ambientais negativos associados ao uso desses insumos, impulsionou a realização de pesquisas voltadas à identificação e aplicação de alternativas mais sustentáveis, que aliem eficácia em proteger a madeira com redução de riscos ecológicos (Lepage et al, 2017, Santos et al. 2022, Trevisan et al. 2025, Coelho-Netto et al. 2025).

Nesse contexto, pesquisas têm evidenciado que o uso de substâncias naturais derivadas de plantas, pode ser uma alternativa promissora nesse objetivo. Diante desse cenário, diversos estudos comprovam a eficácia dessas substâncias na inibição de fungos xilófagos e térmitas (Broda 2020, Barcellos-Silva et al. 2025).

Entre essas substâncias encontram-se os óleos essenciais, que são metabólitos secundários vegetais, compostos principalmente por terpenos, fenóis, aldeídos, cetonas, álcoois e ésteres, variando conforme a espécie, parte da planta e método de extração. Eles são responsáveis por aromas característicos e desempenham várias funções ecológicas. Sua diversidade química proporciona atividades biológicas importantes, como ação antimicrobiana, antioxidante, anti-inflamatória, inseticida e antifúngica (Sousa 2024).

O óleo essencial extraído das raízes da gramínea perene *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty, conhecida popularmente como vetiver, apresenta composição química com propriedades inseticidas e antimicrobianas, destacando-se como alternativa para ser empregado no manejo integrado de pragas (Zhu et al. 2001). Estudos

demonstram também sua capacidade de inibir fungos xilófagos mesmo em baixas concentrações, embora haja necessidade de investigações adicionais para validar sua eficácia (Soidrou et al. 2013, David et al. 2023). Diante disso, considera-se oportuno avaliar o potencial de inibição do óleo de *C. zizanioides*, sobre o fungo xilófago *Rhodonina placenta* e o térmita *Coptotermes gestroi*.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial de inibição do óleo essencial de *C. zizanioides*, de fabricação brasileira e chinesa, sobre o desenvolvimento do fungo xilófago *R. placenta* e ação do térmita subterrâneo *C. gestroi*, bem como identificar os constituintes majoritários desses óleos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Análise da atividade in vitro do óleo essencial de *C. zizanioides* sobre o fungo *R. placenta*

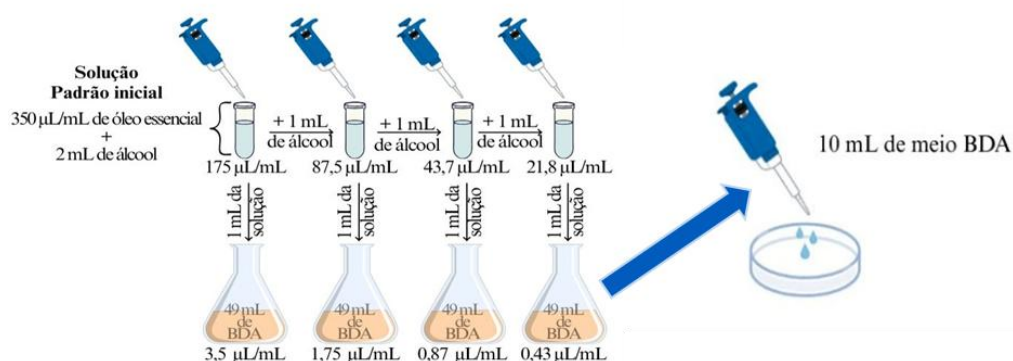
O estudo foi conduzido no laboratório de biodeterioração da madeira, pertencente ao Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), campus de Seropédica, RJ. O fungo *R. placenta* foi obtido de culturas puras mantidas em meio BDA (Batata, Dextrose e Ágar). O óleo essencial de *C. zizanioides* foi adquirido comercialmente de dois fornecedores distintos, um situado no Brasil e o outro na China, sendo comercializados como puros e fabricados pelo processo de hidrodestilação da raiz.

Para diluição do óleo essencial de *C. zizanioides* no meio de cultura, preparou-se uma solução padrão inicial contendo 350 µL de óleo com 2mL de álcool 95% P.A. Dessa solução, diluiu-se outras quatro, adicionando-se 1 mL de álcool 95% P.A em cada, resultando em quatro soluções de 175; 87,5; 43,7 e 21,8 µL/mL de óleo, conforme metodologia descrita por Moreira (2014). Dessas, pipetou-se 1 mL e incorporou-se, individualmente, em erlenmeyers com 49 mL de meio de cultura BDA, resultando em meios de cultura com concentrações do óleo de: 3,5; 1,75; 0,87 e 0,43 µL/mL. Desses meios pipetou-se 10 mL, sendo vertidos em cinco placas de Petri medindo 90 x 15 mm (Figura 1).

Fernandes, V.J. et al. Óleo essencial de *Chrysopogon zizanioides* como inibidor de organismos xilófagos.

Figura 1. Diluição do óleo essencial de *Chrysopogon zizanioides* e incorporação em meio de cultura BDA, em quatro concentrações.

Figure 1. Dilution of *Chrysopogon zizanioides* essential oil and incorporation into BDA culture medium at four concentrations.



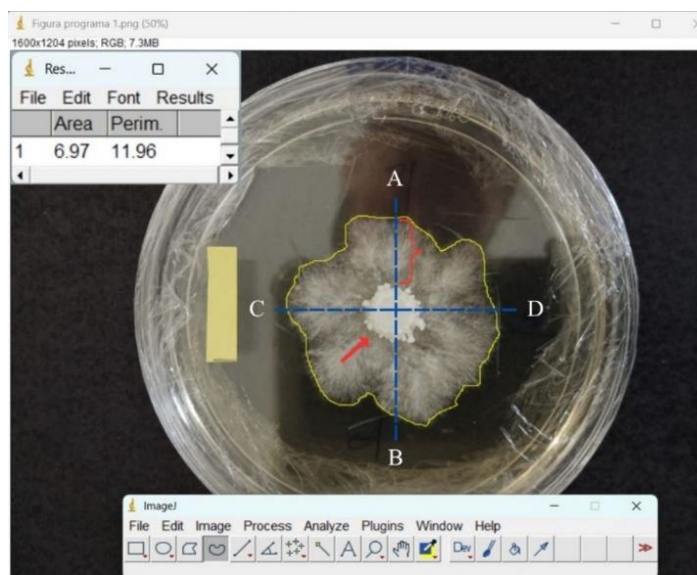
Em seguida, aguardou-se a solidificação dos meios, mantendo as placas sob luz ultravioleta por trinta minutos, a fim de diminuir a possibilidade de contaminação. A inserção dos discos de inóculo do fungo *R. placenta* foi realizada em capela de fluxo laminar horizontal. As placas foram armazenadas em ambiente climatizado a 25°C, 75 ± 10% de UR, permanecendo por nove dias, tempo este em que as placas que continham somente meio BDA puro apresentaram-se totalmente colonizadas pelo micélio do fungo,

sendo este o parâmetro para desmontagem do experimento.

Para avaliar o crescimento radial médio do halo micelial, foi inserido, no centro de cada placa de Petri, um disco de inóculo micelial de 6,89 mm do fungo *R. placenta*. O crescimento radial do halo micelial foi mensurado com o uso de um paquímetro digital, medindo-se o raio em quatro posições perpendiculares diariamente. Assim, obtiveram-se valores para o cálculo do raio médio do halo, descontando-se a área do inóculo inicial (Figura 2).

Figura 2. Procedimento para demarcação e mensuração do perímetro e da área do halo micelial (linha amarela) no programa ImageJ e do raio micelial nos eixos A, B, C e D (linha azul), mensurado com paquímetro. O quadrado amarelo evidencia a delimitação de uma área conhecida para calibração do programa.

Figure 2. Procedure for delimiting and measuring the perimeter and area of the mycelial halo (yellow line) using the ImageJ software, and the mycelial radius along axes A, B, C, and D (blue line), measured with a caliper. The yellow square highlights the delimitation of a known area used for software calibration.



O cálculo da velocidade média diária de crescimento radial do fungo *R. placenta*, no meio

BDA, com as distintas concentrações de óleo essencial, foi realizado conforme a equação:

$$VMr = \frac{(Ca_2 - Ca_1) + (Ca_3 - Ca_2) + (Ca_4 - Ca_3) + \dots + (Ca_n - Ca_{n-1})}{N}$$

Em que: **VMr** = Velocidade média diária de crescimento radial (mm/dia); **Ca** = Crescimento médio radial mensurado no dia (mm); **CA** = Crescimento médio radial mensurado no dia anterior; **n** = Número do dia avaliado e **N** = Número total de dias em que houve registro de crescimento micelial.

Para a análise do cálculo do perímetro e área do crescimento micelial, cada placa foi fotografada digitalmente para permitir a mensuração, que foi realizada no software ImageJ 1.54g (Schneider et al. 2012). Todas as imagens foram geradas no nono dia, momento em que todas as placas que continham meio BDA puro estavam totalmente colonizadas pelo fungo. O perímetro do halo micelial foi demarcado em linha amarela e mensurado, possibilitando o cálculo da área do halo. Para calibragem do programa, um quadrado de papel de área conhecida, medindo 2 cm x 0,5 cm, foi inserido no momento de serem fotografadas, para ser utilizado como referencial de proporção real (Figura 2).

2.2 Análise da atividade óleo essencial de *C. zizanioides* sobre a ação do térmita *C. gestroi* em condições de campo

Para a análise do óleo essencial de *C. zizanioides* sobre a ação do térmita *C. gestroi*, amostras de madeira de pinus foram confeccionadas nas dimensões de 2,5 x 2,5 x 0,6 cm e armazenadas, conforme orientações da norma AWPS E10-16 (2016). Para o tratamento dessas amostras, foram preparadas quatro concentrações distintas de óleo essencial de *C. zizanioides* de origem brasileira e chinesa, utilizando o álcool etílico 95% P.A como diluente. As concentrações foram de 10, 25, 50 e 100%, e as amostras foram individualmente pinceladas, em duas demãos, para cada concentração. Após esse procedimento, foram mantidas em câmara climática (20 ± 2 °C e 65 ± 5 %) até atingirem

peso constante, condição, na qual, foram pesadas para obtenção do peso inicial, antes da submissão aos térmitas.

Posteriormente, foram alocadas em uma colônia ativa de ocorrência natural do térmita *C. gestroi*, localizada no campus da UFRRJ. Sendo assim, todos os corpos de prova foram acomodados sobre uma superfície plana de cerâmica, medindo 48 x 48 x 0,15 cm, dispostos em blocos inteiramente casualizados com 10 repetições cada, constituídas pela aplicação do óleo nas respectivas diluições e procedência geográfica e pela madeira natural. Esse arranjo experimental procurou expor todas as amostras de forma uniforme à ação desses insetos, no sentido de que as amostras ficassem expostas numa área onde havia tunelamento e forrageamento expressivos pelos térmitas. Ainda, a adoção de uma colônia natural, em comparação a uma mantida em laboratório, objetiva estabelecer um protocolo experimental que leva em consideração a ecologia e biologia desses insetos, viabilizando a possibilidade da simulação de condições reais de uso da madeira (Trevisan 2016).

As amostras permaneceram expostas aos térmitas por um período de quatro meses. Decorrido esse tempo, foram removidas cuidadosamente da colônia, limpas e submetidas à secagem em câmara climática (20 ± 2 °C e 65 ± 5 %), novamente, até a obtenção do peso estável, sendo então determinado o peso final. Em seguida foram classificadas quanto à classe resistência, atribuída em função da perda de massa da madeira, frente ao consumo de biomassa pelos térmitas, em relação ao peso inicial, conforme critérios da norma SNI-7207 (2006) (Tabela 1).

Fernandes, V.J. et al. Óleo essencial de *Chrysopogon zizanioides* como inibidor de organismos xilófagos.

Tabela 1. Classes de resistência da madeira, atribuídas de acordo com a perda de massa proporcionada pela ação de térmitas subterrâneos, conforme SNI – 7207 2006.

Table 1. Wood resistance classes assigned according to mass loss caused by the action of subterranean termites, as established by SNI – 7207 (2006).

Classe de resistência	Perda de massa (%)
Muito Resistente	< 3,52
Resistente	3,52 - 7,50
Moderadamente resistente	7,50 - 10,96
Pouco resistente	10,96 - 18,94
Não resistente	18,94 - 31,89

Ainda, as lesões causadas pelos térmitas nas amostras de madeira, foram avaliadas e enquadradas de acordo com os critérios

determinados pela norma AWPA E1-16 (2006) (Tabela 2).

Tabela 2. Critérios de avaliação das lesões na madeira, proporcionadas pela ação de térmitas subterrâneos, para atribuição do índice de deterioração, conforme AWPA Standard E1-16.

Table 2. Evaluation criteria for wood damage caused by the action of subterranean termites, used to determine the deterioration index according to the AWPA Standard E1-16.

Índice de deterioração	Critério de avaliação
10	Sem alterações
9,5	Ação superficial, com pequenas escarificações
9	Fraca ação, tomando até 3% da superfície da madeira
8	Ação moderada, tomando entre 3% e 10% da superfície da madeira
7	Ação moderada à severa, entre 10% e 30% da superfície da madeira, podendo haver penetração
6	Ação severa, tomando entre 30% e 50% da madeira
4	Ação muito severa, tomando entre 50% e 75% da madeira
0	Ruptura total da amostra de madeira

A análise estatística dos dados foi feita no programa BioEstat 5.0 (Ayres et al. 2007). Para isso, a normalidade foi conferida pelo teste de Lilliefors (5% de significância). Constatada distribuição não normal, empregou-se o teste não paramétrico de Kruskal-wallis, com o pós-teste de Dunn (5% de significância), para análise de variâncias dos postos médios.

2.3 Identificação dos compostos majoritários, do óleo essencial de *C. zizanioides*, por cromatografia gasosa

Para as análises por cromatografia gasosa com detector de ionização de chama (CG-FID) e cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massa (GC-MS), as amostras foram preparadas mediante diluição de cada óleo volátil em solução dietil éter em concentração de 10 mg/mL.

Posteriormente, 1 μl de cada amostra foi introduzido em um cromatógrafo gasoso (5890 Series II, Hewlett-Packard, EUA) equipado com um detector de ionização de chama (FID) e operando no modo split (razão 1:20). A separação dos constituintes foi realizada em uma coluna capilar de sílica fundida nas dimensões de 30 mm x 0,25 mm x 0,25 μm , com uma fase estacionária de 5% fenil-95% dimetilpolisiloxano. Utilizou-se hélio como gás de arraste, mantido em um fluxo de 1 ml/min. A temperatura da coluna foi programada para 40 °C por 25 minutos, com um aumento de 2 °C/min. até chegar em 250 °C, sendo mantida por 20 minutos. As temperaturas do injetor e do detector foram 250 e 290 °C, respectivamente.

A amostra de óleo volátil (1 μl) foi analisada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS), utilizando o equipamento GC-MS QP-2010 Plus (Shimadzu), nas mesmas condições de coluna e programa da análise por GC-FID. As temperaturas do injetor e da interface foram de 220 °C e 250 °C. A detecção foi realizada com quadrupolo a 70 eV, cobrindo

massas de 40 a 4100 m/z, com varredura de 0,5 Hz. A quantificação baseou-se na área dos picos obtidos por GC-FID, convertida em porcentagens. A identificação dos compostos considerou o índice de retenção (IR), calculado com n-alcenos (C7–C30), e os espectros de massa, ambos foram comparados com o banco de dados NIST23s.lib e literatura especializada, conforme procedimento adotado por Trevisan et al. (2026).

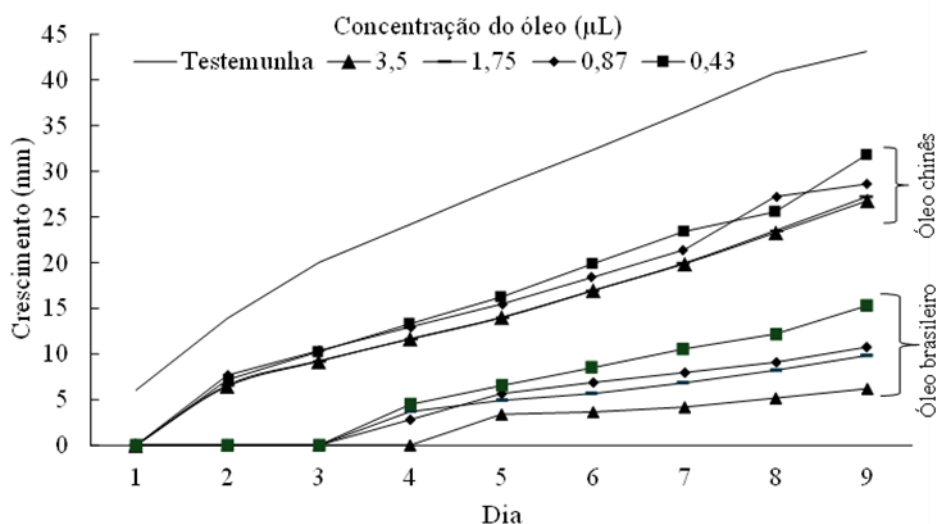
3 RESULTADOS

3.1 Efeito fungistático do óleo essencial de *C. zizanioides* sobre o fungo de *R. placenta*

O óleo essencial de *C. zizanioides* quando incorporado no meio de cultura BDA, tanto de fabricação chinesa quanto brasileira, demonstrou inibir o crescimento do fungo xilófago *R. placenta* em relação à testemunha. No entanto, a eficiência dessa inibição variou conforme a concentração empregada e procedência geográfica do óleo (Figura 3).

Figura 3. Crescimento radial médio, aos nove dias, do halo micelial do fungo *R. placenta*, em meio de cultura BDA, com quatro concentrações de óleo essencial de *C. zizanioides*, provindo da China.

Figure 3. Average radial growth, after nine days, of the mycelial halo of the fungus *R. placenta* in BDA culture medium with four concentrations of *C. zizanioides* essential oil of Chinese origin.



Em relação ao crescimento radial médio do halo micelial, observou-se que o BDA puro possibilitou que o fungo iniciasse seu desenvolvimento no primeiro dia após a inoculação, crescendo em média 4,6 mm/dia. Por outro lado, nas avaliações

em que o óleo chinês foi incorporado no meio BDA, em qualquer concentração empregada, o início do desenvolvimento ocorreu no segundo dia de avaliação e a velocidade de crescimento radial foi 3,3; 3,4; 3,6 e 4,0 mm/dia, nas concentrações

3,5; 1,75; 0,87 e 0,43 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de óleo, respectivamente. Ainda, no nono dia de avaliação, o meio de cultura BDA, sem incorporação de óleo essencial, demonstrou estar totalmente colonizado pelo fungo *R. placenta*, apresentando um raio micelial médio de 43,10 mm. Já, para as concentrações 3,5; 1,75; 0,87 e 0,43 $\mu\text{L}/\text{mL}$, o raio micelial médio atingiu 26,75; 27,15; 28,60 e 31,78 mm, configurando uma redução do crescimento micelial final, em relação a testemunha, de: 37,94; 37,01; 33,64 e 26,26 %, respectivamente (Figura 3).

Entretanto, o óleo brasileiro possibilitou o início do desenvolvimento micelial no quarto dia de avaliação, para a concentração 3,5 $\mu\text{L}/\text{mL}$ e no terceiro dia para as concentrações 1,75; 0,87 e 0,47 $\mu\text{L}/\text{mL}$, crescendo, em média, 1,2; 1,6; 1,8 e 2,5 mm/dia, respectivamente. Além disso, o desenvolvimento micelial radial médio, aos nove dias, para as mesmas concentrações atingiu: 6,19; 9,84; 10,75 e 15,26 mm, respectivamente. Todos esses valores são inferiores aos mensurados nas

placas de petri onde foi incorporado óleo chinês em todas as diluições (Figura 3). Consequentemente a redução percentual do crescimento micelial final, em relação à testemunha, foi superior aos valores mensurados nas amostras que continham óleo chinês, atingindo valores na ordem de: 85,63; 77,16; 75,05 e 64,59, respectivamente.

Ainda, o valor médio da área e perímetro, do halo micelial do fungo *R. placenta*, cultivado em meio BDA sem a incorporação de óleo essencial de *C. zizanioides*, não demonstrou diferença estatística quando comparado com os valores mensurados nas amostras que continham 3,5; 1,75; 0,87 e 0,43 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de óleo chinês e 0,43 $\mu\text{L}/\text{mL}$ de brasileiro. Por outro lado, para o óleo brasileiro, observou-se que as concentrações de 3,5; 1,75 e 0,87 $\mu\text{L}/\text{mL}$, inibiram significativamente o crescimento da área e perímetro do halo micelial do fungo, em comparação aos valores registrados na testemunha (Tabela 3).

Tabela 3. Área (cm^2) e perímetro (cm) do halo micelial, aos nove dias, do fungo *Rhodonia placenta* submetido ao desenvolvimento em meio de cultura BDA, em quatro concentrações do óleo essencial de *C. zizanioides* de duas origens geográficas.

Table 3. Area (cm^2) and perimeter (cm) of the mycelial halo, after nine days, of the fungus *Rhodonia placenta* grown in BDA culture medium with four concentrations of *C. zizanioides* essential oil from two geographical origins.

		Concentração ($\mu\text{L}/\text{mL}$)	Área (cm^2)	Perímetro (cm)
		0	55,41 \pm 0,00 a	26,49 \pm 0,00 a
Origem do óleo	China	3,5	9,70 \pm 1,81 abcd	11,60 \pm 0,99 abcd
		1,75	9,68 \pm 0,90 abcd	11,57 \pm 0,52 abcd
		0,87	10,40 \pm 1,17 abc	11,96 \pm 0,60 abc
		0,43	11,88 \pm 1,27 ab	12,92 \pm 0,75 ab
		3,5	0,45 \pm 0,34 d	3,35 \pm 0,72 d
	Brasil	1,75	1,26 \pm 0,25 cd	4,71 \pm 0,39 cd
		0,87	1,65 \pm 0,63 bcd	5,14 \pm 0,84 bcd
		0,43	2,94 \pm 0,78 abcd	6,53 \pm 0,85 abcd

Letras distintas, entre linhas, diferem estatisticamente (Dunn 5% de significância).

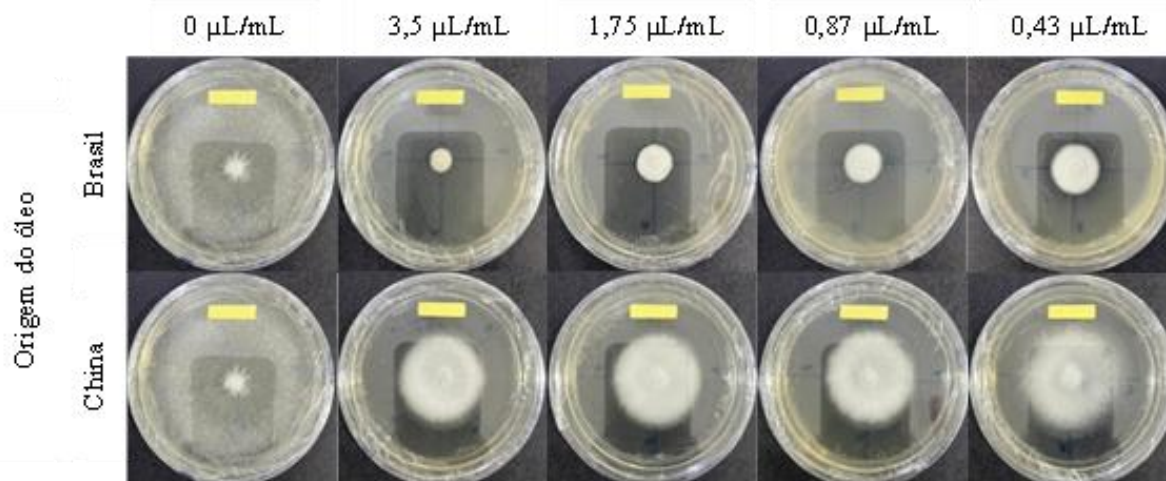
Distinct letters, between rows, differ statistically (Dunn 5% significance).

Visualmente, a influência dos óleos essenciais, brasileiro e chinês, em reduzir o crescimento do

halo micelial de *R. placenta* no meio de cultura, em relação à testemunha, é observada na figura 4.

Figura 4. Desenvolvimento do fungo xilófago *Rhodonía placenta*, em meio de cultura BDA, contendo óleo essencial de *C. zizanioides* de duas origens geográficas, em quatro concentrações distintas, após nove dias.

Figure 4. Development of the wood-decaying fungus *Rhodonía placenta* in BDA culture medium containing *C. zizanioides* essential oil from two geographical origins, at four different concentrations, after nine days.



3.2 Efeito do óleo essencial de *C. zizanioides* sobre a ação do térmita *C. gestroi*

Todas as amostras de madeira de pinus tratadas com óleo essencial de *C. zizanioides*, nas concentrações de 25, 50 e 100%, independente da origem geográfica da planta, demonstraram-se sem alterações proporcionadas pelo térmita, sendo atribuído, portanto, um índice de deterioração que expressa ausência total de lesões. Em contrapartida, todas as amostras tratadas com 10% de óleo chinês e as de madeira natural,

apresentaram ruptura total, o que indica ação severa por parte do térmita, em função desta constatação, atribuiu-se índice que sinaliza deterioração severa a todas essas amostras. Por outro lado, as amostras tratadas nessa concentração, mas com o óleo de origem brasileira, observou-se que o térmita não promoveu nenhuma lesão, indicando que esse óleo, nesta concentração (10%), foi capaz, igualmente às maiores concentrações, de agregar resistência à madeira de Pinus à ação do térmita (Tabela 4).

Tabela 4. Índice de deterioração médio, máximo e mínimo, conforme AWPA E10-16, da madeira de pinus tratada com óleo essencial de *Chrysopogon zizanioides* de duas origens geográficas, submetida à ação do térmita *Coptotermes gestroi* por quatro meses, em condições de campo.

Table 4. Average deterioration index, maximum and minimum, according to AWPA E10-16, of Pinus wood treated with *Chrysopogon zizanioides* essential oil from two geographical origins, exposed to the action of the termite *Coptotermes gestroi* for four months under field conditions.

Concentração do óleo (%)	China			Brasil		
	Índice de deterioração	Índice		Índice de deterioração	Índice	
		Máximo	Mínimo		Máximo	Mínimo
Testemunha	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	10	10	10
25	10	10	10	10	10	10
50	10	10	10	10	10	10
100	10	10	10	10	10	10

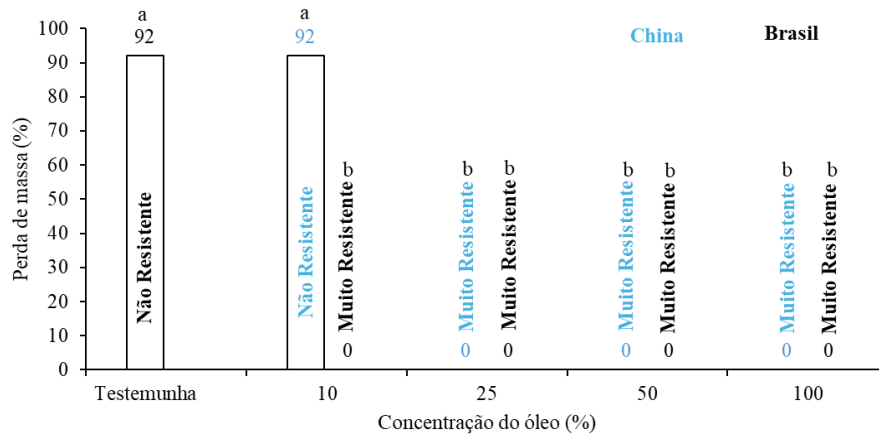
Analogamente ao índice de deterioração, atribuído à madeira natural e à madeira tratada com óleo chinês de *C. zizanioides* à 10%, que indicou ação severa de *C. gestroi*, observou-se que essas amostras apresentaram mais de 90% de sua massa consumida por esse térmita, sendo classificadas,

portanto, como não resistentes. Por outro lado, todas as outras que foram submetidas às demais condições de tratamento, não apresentaram consumo por *C. gestroi*, sendo classificadas como muito resistentes à ação desse térmita (Figura 5).

Fernandes, V.J. et al. Óleo essencial de *Chrysopogon zizanioides* como inibidor de organismos xilófagos.

Figura 5. Perda de massa percentual e classe de resistência conforme SNI-7207, da madeira de pinus tratada com quatro concentrações de óleo essencial de *Chrysopogon zizanioides* de duas origens geográficas, submetida à ação de *Coptotermes gestroi* por quatro meses, em condições de campo.

Figure 5. Percentage mass loss and resistance class according to SNI-7207 of Pinus wood treated with four concentrations of *Chrysopogon zizanioides* essential oil from two geographical origins, exposed to the action of *Coptotermes gestroi* for four months under field conditions.



Letras diferentes expressam diferença estatística (Tukey 5% significância)

Distinct letters, between rows, differ statistically (Dunn 5% significance).

Esses resultados, no que tange o índice de deterioração, perda de massa e classe de resistência, que indicam uma intensa ação do térmita, observados nas amostras tratadas com 10% de óleo chinês e na testemunha, são

evidenciados por amostras totalmente deterioradas. Por outro lado, as que tiveram agregação de resistência a esse inseto, pelo tratamento com óleo de *C. zizanioides* nas demais concentrações, apresentaram-se totalmente íntegras (Figura 6).

Figura 6. Ilustração da madeira de pinus tratada com quatro concentrações de óleo essencial de *Chrysopogon zizanioides* de duas origens geográficas e submetida à ação de *Coptotermes gestroi* por quatro meses, em condições de campo.

Figure 6. Illustration of *Pinus* wood treated with four concentrations of *Chrysopogon zizanioides* essential oil from two geographical origins and exposed to the action of *Coptotermes gestroi* for four months under field conditions.

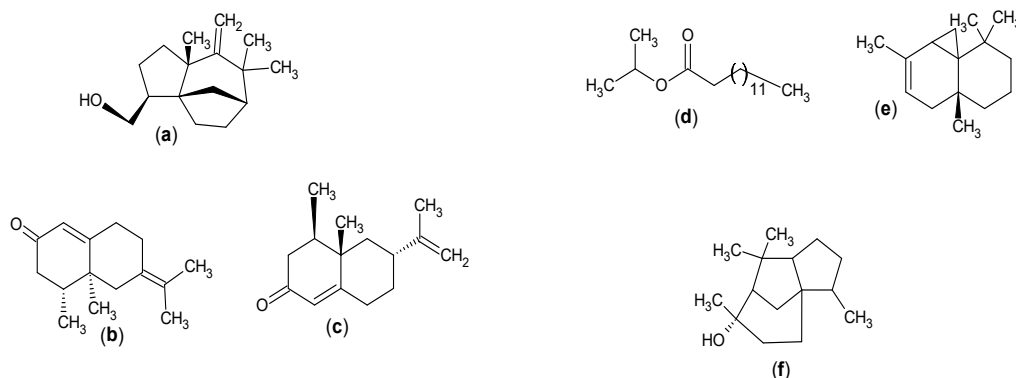


A análise por CG-EM do óleo brasileiro e chinês revelou composição distinta entre os três constituintes majoritários, sendo que na amostra de óleo de vetiver de origem brasileira, os sesquiterpenos: khusimol (18,8%) (a), α -vetivone

(10,7%) (b) e Nootkatona (6,6%) (c) são os três compostos majoritários (Figura 6). Já na amostra de vetiver de origem chinesa, identificou-se os compostos miristato de isopropila (38,8%) (d), cistujopsene (9,8%) (e) cedrol (4,5%) (f) (Figura 7).

Figura 7. Constituintes químicos majoritários identificados no óleo de Vetiver de procedência brasileira: khusimol (a), α -vetivona (b) e nootkatona (c) e do óleo de procedência chinesa: miristato de isopropila (d), cis-tujopseno (e) cedrol (f).

Figure 7. Major chemical constituents identified in Vetiver oil of Brazilian origin: khusimol (a), α -vetivone (b), and nootkatone (c); and in the oil of Chinese origin: isopropyl myristate (d), cis-thujopsene (e) and cedrol (f).



4 DISCUSSÃO

4.1 Análise do efeito fungistático do óleo essencial de *C. zizanioides* sobre o fungo de *R. placenta*

Sodrou et al. (2013) demonstraram *in vitro* a atividade fungicida do óleo essencial extraído da raiz de *C. zizanioides* procedente da região costa oriental da África, em inibir o desenvolvimento de *R. placenta*. Todas as concentrações consideradas pelos autores, 1; 0,4; 0,2; 0,1; 0,05; 0,03 e 0,02%, foram capazes de inibir totalmente o crescimento de *R. placenta* no meio de cultura.

Os resultados apresentados por Sodrou et al. (2023) divergem dos demonstrados nesse trabalho. Sendo assim, verificou-se que o óleo de *C. zizanioides*, proveniente do Brasil e da China, não inibiu totalmente *R. placenta*, como registrado por Sodrou et al. (2013), mas apresentou propriedade fungistática, inibindo seu crescimento. No entanto, a eficiência dessa inibição variou conforme a concentração empregada e a procedência geográfica dos óleos. Portanto, a procedência geográfica da planta, que serviu de matéria prima para a extração do óleo, pode ser uma variável que tenha influenciado a eficiência fungistática.

Esse tipo de hipótese respalda-se em evidências experimentais, como demonstrado por Dubey et al. (2010). Esses autores observaram maior eficácia do óleo essencial de *C. zizanioides*, proveniente do sul da Índia, contra a ação do fungo *Rhizoctonia solani*, em relação ao óleo provindo do norte deste país. Tal constatação sugere que a origem geográfica da planta pode influenciar na eficiência antifúngica do óleo.

Complementarmente a essa constatação, Pandey e Tiwari (2024) demonstraram que o perfil químico do óleo essencial de *C. zizanioides*, extraído de plantas cultivadas na China, Turquia, Cômoros, Brasil, Índia, Tailândia, Taiwan, Egito e Indonésia, apresenta quantidade de compostos diferentes para cada país: 11; 26; 34; 13; 18; 35; 23; 36 e 37, respectivamente. Segundo os autores, essa diferença foi atribuída a fatores relacionados ao solo, altitude, clima, técnicas de cultivo, condições de irrigação e época de colheita de *C. zizanioides*, bem como pelo método de extração do óleo.

Com base nas observações de Dubey et al. (2010) e Pandey e Tiwari (2024), é possível considerar que a procedência geográfica de *C. zizanioides* possa ter contribuído para a menor eficácia do óleo essencial chinês, na inibição do fungo *R. placenta*, em relação ao óleo brasileiro.

Por outro lado, mesmo que ambos os óleos, chinês e brasileiro, tenham sido comercializados como produtos puros e fabricados pelo processo de hidrodestilação das raízes, os dados cromatográficos sugerem que as diferenças na composição química estão relacionadas ao processo de fabricação, e não pela origem geográfica da matéria prima vegetal.

Essa hipótese se alicerça, sobretudo, pela constatação da presença majoritária do miristato de isopropil (38,8%) no óleo chinês. Esse composto é um éster derivado do ácido mirístico e do álcool isopropílico, utilizados em grande escala na indústria farmacêutica e cosmética. O miristato de isopropil é um composto que não ocorre em óleos vegetais naturais (Opdyke, 1976), como os sesquiterpenos que também foram registrados nos óleos analisados nesse trabalho. Além disso, a

presença do miristato de isopropil pode comprometer a autenticidade e pureza do óleo essencial, sinalizando a adulteração com o objetivo de reduzir custos de produção (Cebi et al. 2020). Esses autores indicam que a presença do miristato de isopropil pode alterar as propriedades naturais do óleo essencial, e consequentemente, a sua detecção serve como indicativo para a verificação da autenticidade do óleo essencial.

Além disso, verificou-se que o óleo chinês contém sesquiterpenos comumente encontrados nos extratos das raízes de *C. zizanioides*, como *cis*-thujopseno (Gautam e Agrawa 2021) e cedrol (Filippi et al. 2013). No entanto, os compostos considerados marcadores típicos da espécie, como, khusimol e α -vetivone, não foram detectados. No óleo brasileiro, constatou-se que a concentração do álcool khusimol e o sesquiterpeno α -vetivone, estão acima da faixa média observada para esse composto (Champagnat et al. 2006). Trevisan et al. (2026), ao realizarem CG-EM destes óleos, ratificam os mesmos resultados observados neste trabalho. Ainda, traçam uma discussão que evidencia que o miristato de isopropila, encontrado no óleo chinês, pode ter afetado negativamente a capacidade deste óleo em agregar resistência à madeira de pinus à ação do fungo *R. placenta*, tendo sido, desta forma, menos eficiente em comparação com o óleo brasileiro.

Com base nos resultados obtidos, que evidenciam diferenças significativas na composição química dos dois óleos analisados, infere-se que a maior eficácia do óleo brasileiro, em comparação com o óleo chinês, na atividade fungistática, possivelmente esteja associada à presença dos dois compostos majoritários: khusimol e α -vetivona, ausentes na composição do óleo chinês. Tal interpretação encontra respaldo nos estudos de Powers et al. (2018) e Soidrou et al. (2013), que reforçam a atividade antifúngica desses compostos. Ainda, o miristato de isopropil, que compõe majoritariamente o óleo chinês, trata-se de um composto que apresenta evidências de que não proporciona atividade inibitória de fungos (Bou-Chacra e Ohara 2003), o que também pode ter influenciado na menor eficiência deste óleo em inibir o crescimento de *R. placenta*, em relação ao óleo brasileiro.

De acordo com Powers et al. (2018), o óleo essencial de *C. zizanioides* apresentou significativamente atividade antifúngica, frente aos fungos *Aspergillus niger*, *Candida albicans* e *Cryptococcus neoformans*. Ainda, atribuíram essa atividade, ao menos parcialmente, à presença dos componentes majoritários identificados no extrato,

sendo, khusimol (12,1%) e α -vetivona (5,4%). De forma complementar, Soidrou et al. (2018), demonstraram que o óleo essencial desta planta é caracterizado por elevadas concentrações de khusimol (25,6%) e α -vetivona (7,7%), exercendo forte inibição sobre fungos xilófagos, entre eles *Gloeophyllum trabeum*, *Coniophora puteana*, *Coriolus versicolor* e *R. placenta*. Em ambos os trabalhos, ressaltou-se a relevância de khusimol e α -vetivona como constituintes químicos essenciais para atividade antifúngica do óleo essencial de *C. zizanioides*.

Os dados obtidos neste trabalho, aliados às informações disponíveis na literatura, apontam que certos compostos químicos têm o papel relevante na inibição do crescimento fúngico. Entretanto, é importante salientar que os outros constituintes químicos também podem ter influência nessa inibição, por meio de interações sinérgicas. Essa interpretação apoia-se no fato do óleo essencial de *C. zizanioides* ter uma constituição química complexa (David, et al. 2023).

Portanto, conforme ressalta Broda (2020), a ação antifúngica dos óleos essenciais raramente depende de um único composto químico isolado, mas sim da combinação de vários, no qual podem intensificar seus efeitos quando atuam em conjunto. Ademais, a ausência dos compostos khusimol e α -vetivona na composição do óleo chinês, que ainda assim demonstrou atividade antifúngica, mesmo com menor eficiência, reforça a hipótese de que outros componentes também sejam responsáveis por conferir essa atividade antifúngica.

Neste contexto, e reforçando a hipótese de que outros componentes químicos do óleo essencial de *C. zizanioides* possam influenciar na inibição do crescimento fúngico, o composto *cis*-thujopseno e cedrol foram os constituintes majoritariamente encontrados no óleo chinês, nas concentrações de 9,8 e 4,5%, respectivamente. Apoiando essa hipótese, Liu et al. (2019) constataram que o extrato da planta *Platyclusus orientalis* apresentou inibição do crescimento dos fungos xilófagos de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*) e de podridão branca (*Ipex lactenus*). Esses autores atribuíram esses resultados aos constituintes químicos *cis*-thujopseno e cedrol, encontrados majoritariamente no extrato dessa planta. Ainda, Liu et al. (2019) sugerem que esses compostos podem atuar conjuntamente, indicando a possibilidade de um efeito sinérgico na atividade antifúngica, embora realizem a ressalva que evidências específicas dessa sinergia precisam ser investigadas com mais detalhes.

Nesse sentido, apesar de não ser possível determinar com precisão qual constituinte químico do óleo essencial de *C. zizanioides* seja responsável pela inibição do desenvolvimento de *R. placenta*, é importante ressaltar que na composição dos óleos essenciais, existem substâncias com potencial para interagir e modificar a estrutura da membrana celular, capaz de interferir na atividade biológica do fungo (Wozniak, 2022).

4.2 Análise do efeito do óleo essencial de *C. zizanioides* sobre a ação do térmita *C. gestroi*

Em relação a influência do óleo essencial de *C. zizanioides*, sobre a inibição da ação de térmitas, há muitos relatos na literatura que reportam esse efeito (Maistrello et al. 2001, Zhu et al. 2001a, Zhu et al. 2001b, Maistrello et al. 2003, Nix et al. 2006, Jayashree et al. 2013, Fan et al. 2022).

Maistrello et al. (2001) avaliaram o tunelamento, consumo de madeira e sobrevivência do térmita *Coptotermes formosanus*, mantido em areia tratada com óleo essencial puro de *C. zizanioides* e com nootkatona pura, substância isolada desse óleo. Foi observado que tanto o óleo essencial como essa substância, utilizados ambos a uma concentração de 100 µg por grama de areia, foram igualmente eficazes em inibir o tunelamento, consumo de madeira e a sobrevivência de *C. formosanus*. Já, Maistrello et al. (2003) avaliando o efeito do tratamento da madeira de *Ochroma lagopus* Swartz, com as mesmas substâncias e espécie de térmita, observaram que a incorporação de nootkatona nas amostras inibiu totalmente a ação dos térmitas por 12 meses e as que receberam óleo puro, por seis meses. Sendo assim, os registros apontados por Maistrello et al. (2001) e Maistrello et al. (2003) apontam a eficácia do óleo de *C. zizanioides* sobre a inibição do térmita *C. formosanus*, destacando a função preponderante do composto Nootkatona. Corroborando a isso, Fan et al. (2022) e Zhu et al. (2001b) reportam a atividade inseticida da nootkatona, confirmando, também, o efeito repelente e tóxico para térmitas. Ainda, Zhu et al. (2001a) avaliaram a repelência do térmita *C. formosanus* em areia tratada com quatro concentrações de óleo essencial de *C. zizanioides*. Demonstraram que três concentrações, 10, 25 e 50 µg por grama de areia, promoveram igualmente a repelência dos térmitas.

Portanto, o óleo brasileiro que apresentou o composto nootkatona como um dos constituintes majoritários, demonstrou ser eficiente em inibir a ação de *C. gestroi*, também, na menor

concentração (10%). Por outro lado, o óleo chinês, que não apresentou nootkatona entre seus constituintes, não demonstrou esse efeito, nesta concentração.

Entretanto, o óleo chinês, mesmo não apresentando nootkatona entre os constituintes químicos majoritários, também agregou evidente resistência à madeira de pinus frente à ação do térmita. Esse registro pode ser explicado por estudos como o de Mukai et al. (2019), que avaliaram a atividade do composto thujopseno, encontrado majoritariamente neste óleo, sobre o térmita *Reticulitermes speratus*. Mukai et al. (2019) explicam que o thujopseno, em condições naturais, como as empregadas neste experimento, é convertido em substâncias termitocidas.

Ainda, o cedrol, também presente majoritariamente no óleo chinês, apresenta evidências de inibição da ação de térmitas (Chang et al. 2001, Cheng et al. 2014). Cheng et al. (2014), observaram que esse composto promoveu toxicidade para *C. formosanus*. Já, Chang et al. (2001), testando o mesmo composto e espécie de térmita, demonstraram que o papel filtro tratado com concentrações de 5 e 10 mg/g de cedrol, proporcionou 50 e 100% respectivamente, de mortalidade dos insetos, após 14 dias.

Embora os resultados demonstrem a propriedade do óleo essencial de *C. zizanioides* em inibir o desenvolvimento do fungo *R. placenta* e a ação do térmita *C. gestroi*, vale ressaltar a necessidade de estudos mais detalhados para viabilizar sua aplicação em condições naturais. Portanto, elucidar a degradação ao longo do tempo, sua ação a outras espécies de fungos e térmitas e, ainda, se pode ser associado a outros tipos de compostos químicos para melhorar sua eficácia contra xilófagos (Broda 2020).

Sendo assim, para potencializar a eficácia dos óleos essenciais, estudos recentes sugerem que técnicas como a nanoencapsulação e a formulação de nanoemulsões são estratégias promissoras. Segundo Chaudhari et al. (2021), essas técnicas contribuem para aumentar a estabilidade química, a dispersibilidade em meios aquosos e a liberação gradual dos compostos ativos, visando reduzir os desafios associados à volatilidade, à oxidação rápida e à baixa solubilidade, características observadas no óleo essencial de *C. zizanioides* (David, et al. 2023). Dessa forma, as considerações de Broda (2020) e Chaudhari et al. (2021), podem fornecer embasamentos essenciais para futuras pesquisas sobre o uso de óleo essencial de *C. zizanioides* contra a atividade fúngica e antitermitica.

5 CONCLUSÕES

A atividade fungistática do óleo essencial de *Chrysopogon zizanioides* mostrou-se dependente de sua composição química e procedência geográfica. O óleo brasileiro foi mais eficiente na inibição do desenvolvimento de *Rhodonía placenta*, devido à presença dos compostos majoritários khusimol, α -vetivona e vetiselinol. Por outro lado, o óleo chinês apresentou menor atividade fungistática, em função da ausência desses compostos e à presença do composto sintético miristato de isopropil, sendo um indicativo de adulteração.

A madeira natural de *Pinus* sp. não é resistente ao cupim *Coptotermes gestroi*, porém quando tratada com óleo essencial de *Chrysopogon zizanioides*, tanto de origem chinesa como brasileira, demonstra ser resistente à ação desse térmita, que não promove a realização de lesões e consumo de biomassa, em condições de campo. Por outro lado, a concentração de 10% do óleo de procedência chinesa, é a única, dentre as testadas, a não agregar resistência à ação desse térmita.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Vinicius José Fernandes: Conceitualização; Metodologia; Curadoria dos dados; Análise formal; Investigação; Visualização; Redação – versão original; Redação – revisão e edição. Henrique Trevisan: Análise formal; Redação – revisão e edição; Supervisão. Cláudio Eduardo Rodrigues dos Santos: Análise formal; Investigação; Visualização; Redação – revisão e edição.

6 CONFLITOS DE INTERESSE

Os autores declaram que não há conflitos de interesse relacionados à publicação do manuscrito.

REFERÊNCIAS

American Wood Protection Association Standard. AWPA E10-16. Laboratory method for evaluating the decay resistance of wood-based materials against pure basidiomycete cultures: soil/block test. EUA: AWPA, 2016.

Appel JSL, Terescova V, Rodrigues VCB, Vargas VMF. 2006. Aspectos toxicológicos do preservativo de madeira CCA (arseniato de cobre cromatado): revisão. Revista Brasileira de Toxicologia 19(1): 33-47.

Ayres M, Ayres Jr. M, Ayres DL, Santos AAA. 2007. BioEstat 5.0 – Aplicações Estatísticas nas Áreas das Ciências Biológicas e Médicas. Tefé: Sociedade Civil Mamirauá. 380p.

Barcellos-Silva IG, Dos Santos FK, Kharkwal H, Chander S, Kharkwal AC, Awasthi R, Veiga-Junior V F. 2025. Vetiver, *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash: Biotechnology, Biorefineries, and the Production of Volatile Phytochemicals. Plants 14 (10): 1435p.

Bou-Chacra NA, Ohara MT. 2003. Validação de método para avaliação da qualidade sanitária de preparação cosmética de base lipófila. Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas 39: 185-194.

Broda M. 2020. Natural compounds for wood protection against fungi - a review. Molecules 25(15): 3538.

Cebi N, Taylan O, Abusurrah M, Sagdic O. 2020. Detection of orange essential oil, isopropyl myristate, and benzyl alcohol in lemon essential oil by ftir spectroscopy combined with chemometrics. Foods 10(1): 27.

Champagnat P, Figueredo G, Chalchat JC, Carnat AP, Bessiere JMA. 2006. Study on the composition of commercial *Vetiveria zizanioides* oils from different geographical origins. Journal of Essential Oil Research 18(4): 416-422.

Chang ST, Cheng SS, Wang SY. 2001. Antitermitic activity of essential oils and components from Taiwan (*Taiwania cryptomerioides*). Journal of Chemical Ecology 27(4): 717-724.

Chaudhari AK, Singh VK, Kedia A, Das S, Dubey NK. 2021. Essential oils and their bioactive compounds as eco-friendly novel green pesticides for management of storage insect pests: Prospects and retrospects. Environmental Science and Pollution Research 28: 18918-18940.

Cheng SS, Lin CY, Chen YJ, Chung MJ, Chang ST. 2014. Insecticidal activities of *Cunninghamia konishii* Hayata against Formosan subterranean termite, *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). Pest management science 70(8): 1215-1219.

- Coelho Netto JVL, Trevisan H, Fernandes VJ, Santos MJD. 2025. Furfurylated *Pinus* sp. wood resistance to the action of xylophagous fungus *Rhodonia placenta* in laboratory. *Ciência Florestal* 35: e92634.
- David A, Fărcaș A, Socaci SA. 2023. An overview of the chemical composition and bioactivities of *Vetiveria zizanioides* (L.) Nash essential oil. *Trends in Food Science & Technology* 140: 104153.
- Dubey N, Raghav CS, Gupta RL, Chhonkar SS. 2010. Chemical composition and antifungal activity of vetiver oil of North and South India against *Rhizoctonia solani*. *Pesticide Research Journal* 22(1): 63-67.
- Fan J, Liu Z, Xu S, Yan X, Cheng W, Yang R, Guo Y. 2022. Non-food bioactive product (+)-nootkatone: Chemistry and biological activities. *Industrial Crops and Products* 177: 114490.
- Filippi JJ, Belhassen E, Baldovini N, Brevard H, Meierhenrich UJ. 2013. Qualitative and quantitative analysis of vetiver essential oils by comprehensive two-dimensional gas chromatography and comprehensive two-dimensional gas chromatography/mass spectrometry. *Journal of Chromatography A* 1288: 127-148.
- Gautam M, Agrawal M. 2021. Application potential of *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty for the remediation of red mud-treated soil: an analysis via determining alterations in essential oil content and composition. *International Journal of Phytoremediation* 23(13): 1356-1364.
- Jayashree S, Rathinamala J, Lakshmanaperumalsamy, P. 2013. Anti-termite properties of root and leaf powder of Vetiver grass. *Journal of Environmental Biology* 35: 193-196.
- Lepage E, Salis AG, Guedes ECR. 2017. Tecnologia de proteção da madeira. São Paulo: Montana Química. 225p.
- Liu Zhiming LZ, Niu Jing NJ, Xu Youming XY, Wei Jinhui WJ, Wang Xiangming WX. 2019. The Effective components extraction and antifungal test for the heartwood of *Platykladus orientalis*. *Scientia Silvae Sinicae* 45(3): 111-117.
- Maistrello L, Henderson G, Laine, RA. 2001. Efficacy of vetiver oil and nootkatone as soil barriers against Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae). *Journal of Economic Entomology* 94(6): 1532-1537.
- Maistrello L, Henderson G, Laine RA. 2003. Comparative effects of vetiver oil, nootkatone and disodium octaborate tetrahydrate on *Coptotermes formosanus* and its symbiotic fauna. *Pest Management Science, Formerly Pesticide Science* 59(1): 58-68.
- Moreira YN. 2014. Estudo da diversidade química de pitangueira (*Eugenia uniflora* L.) acessados no litoral norte fluminense-RJ e da atividade fungicida. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.
- Mukai A, Takahashi K, Kofujita H, Ashitani T. 2019. Antitermite and antifungal activities of thujopsene natural autoxidation products. *European Journal of Wood and Wood Products* 77(2): 311-317.
- Nix KE, Henderson G, Zhu BC, Laine RA. 2006. Evaluation of vetiver grass root growth, oil distribution, and repellency against formosan subterranean termites. *HortScience* 41(1): 167-171.
- Opdyke DLJ. 1976. Fragrance raw materials monographs. Isopropyl myristate. *Food Cosmetics toxicology* 14: 323-325.
- Pandey A, Tiwari SCA. 2024. Review on Chemical Composition, Oil Quality, and Bioactivity of Vetiver Essential Oil. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences* 86(4): 1176-1186.
- Powers CN, Osier JL, Mceeters RL, Brazell CB, Olsen EL, Moriarity DM, Setzer WN. 2018. Antifungal and cytotoxic activities of sixty commercially-available essential oils. *Molecules* 23(7): 1549.
- Santos CE, Candaten L, Da Silva PRB, Trevisan R. 2022. Madeira preservada com CCA: proficuidade, potencial deletério, toxicidade dos resíduos e tecnologias de recuperação. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente* 15(1): 153-166.
- Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature methods* 9(7): 671-675.

Fernandes, V.J. et al. Óleo essencial de *Chrysopogon zizanioides* como inibidor de organismos xilófagos.

Soidrou SH, Farah A, Satrani B, Ghanmi M, Jennan S, Hassane SOS, Lachkar M, Abed S, Koraichi S. 2013. Fungicidal activity of four essential oils from *Piper capense*, *Piper borbonense* and *Vetiveria zizanioides* growing in Comoros against fungi decay wood. *Journal of Essential Oil Research* 25(3): 216-223.

Zhu BC, Henderson G, Chen F, Fei H, Laine RA. 2001a. Evaluation of vetiver oil and seven insect-active essential oils against the Formosan subterranean termite. *Journal of Chemical Ecology* 27(8): 1617-1625.

Sousa TCDA, Da Cunha WM, Rosas ALG, Oppelt CQ, Gandra EA, Rombaldi CV, Meinhart AD. 2024. Essential oils as natural sources for the control of *Botrytis cinerea*: Chemical composition and antifungal effect. *Food Bioscience* 62: 105516.

Trevisan H. 2016. Resistência natural da madeira de quatro espécies arbóreas a *Coptotermes gestroi* (Blattodea: Rhinotermitidae). In: Análise da deterioração da madeira de cinco espécies florestais: Ocorrência de xilófagos, propriedades físicas e mecânicas e resistência a térmita. Saarbrücken: Novas edições acadêmicas. ed, 1, 75p.

Trevisan H, de Souza TS, da Rocha NF, De Carvalho AG. 2020. Reflexões sobre o ensino em proteção e deterioração de madeiras nos cursos de Engenharia Florestal do Brasil. In: Engenharia Florestal: Desafios, Limites e Potencialidade. Editora Científica Digital. p. 731-758.

Trevisan H, dos Santos NA, Fernandes VJ. 2025. Efficiency of traditional shou sugi ban wood protection technique in association with vegetable oils against rotting fungi action on pinus wood. *Revista do Instituto Florestal* 37: 1-8.

Trevisan H, Fernandes VJ, Rodrigues-Santos CE. 2026. *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty essential oil as pinus wood resistance enhancer against the action of xylophagous fungus *Rhodonía placenta*. *Cerne* 32(1): 1-10 (no prelo).

Trevisan H, Netto JVLC. 2025. Aspectos sobre a introdução de pragas xilófagas quarentenárias no Brasil: otimização do processo fiscalizatório e preventivo. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*.

Woźniak M. 2022. Antifungal agents in wood protection - A review. *Molecules* 27(19): 6392.

Zhu BC, Henderson G, Chen F, Maistrello L, Laine RA. 2001b. Nootkatone is a repellent for Formosan subterranean termite (*Coptotermes formosanus*). *Journal of Chemical Ecology* 27(3): 523-531.