

Avaliação da Atividade Fungitóxica do Óleo de Copaíba (*Copaifera* spp.) da Amazônia Ocidental contra a Antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc.) em Mamoeiros (*Carica papaya* L.)

Evaluation of the Fungitoxic Activity of Copaiba Oil (*Copaifera* spp.) from Western Amazon against Anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc.) on Papaya (*Carica papaya* L.)

Evaluación de la Actividad Fungitóxica del Aceite de Copaíba (*Copaifera* spp.) del Amazonas Occidental contra la Antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) Penz. & Sacc.) en Papayos (*Carica papaya* L.)

Recebido: 31/10/2023 | Revisado: 13/11/2023 | Aceitado: 14/11/2023 | Publicado: 17/11/2023

Ruthe Lima de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7928-6109>
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil
E-mail: ruthelimade@gmail.com

Rychaellen Silva de Brito

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3387-7218>
Instituto Federal do Acre, Brasil
E-mail: rychaellenbrito@gmail.com

Fabício Rivelli Mesquita

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5392-5774>
Universidade Federal do Acre, Brasil
E-mail: fabricao.mesquita@ufac.br

Maria Cristina de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2525-757X>
Universidade Federal do Acre, Brasil
E-mail: mcs122005@yahoo.com.br

Marcelo Castanheira da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1324-6440>
Universidade Federal do Acre, Brasil
E-mail: marcelo.silva@ufac.br

Bráulio Soares Archanjo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8145-7712>
Materials Metrology Division, National Institute Metrology, Quality and Technology, Brasil
E-mail: bsarchanjo@inmetro.gov.br

William Ferreira Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6924-9005>
Universidade Federal do Acre, Brasil
E-mail: william.alves@ufac.br

Resumo

O gênero *Copaifera* não apenas tem relevância na indústria madeireira, mas também se destaca pelo seu óleo-resina, um exsudato transparente, viscoso e fluido com marcante odor. Este produto, comumente utilizado na medicina popular, simboliza a riqueza dos produtos oriundos da floresta e sua valorização. Em consonância com as métricas dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), é fundamental que sua exploração esteja atrelada à sustentabilidade, promovendo o desenvolvimento regional e reforçando a importância de proteger e valorizar os recursos naturais da região. Com isso, o objetivo deste trabalho foi avaliar as características físico-químicas de variedades do óleo-resina de copaíba coletadas em feiras de agricultores e avaliar o potencial fungicida no controle de *Colletotrichum gloeosporioides*, agente causador da antracnose do mamoeiro (*Carica papaya*). O fungo *Colletotrichum gloeosporioides* foi isolado de frutos do mamão doentes. Foram utilizados os seguintes tratamentos: Uma testemunha e doses de 50, 100, 150 e 200 µL/mL do óleo de copaíba, sendo que cada dose foi incorporada em 20 mL do meio de cultura BDA (Batata, Dextrose e Ágar); para assim definir o efeito do óleo sobre o crescimento micelial do fitopatógeno. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e análise de regressão. Ao avaliar o efeito das variedades dos óleos,

verificou-se que o maior efeito inibidor foi observado para a variedade 2, onde o maior poder de inibição foi provocado pelas dosagens de 100 e 200 µL/mL na variedade 2.

Palavras-chave: Resina; Efeito inibidor; Controle alternativo; Bioprospecção; Sustentabilidade.

Abstract

The genus *Copaifera* is not only relevant to the timber industry but also stands out for its resin oil, a transparent, viscous, and fragrant exudate. This product, commonly used in folk medicine, symbolizes the wealth of forest-derived products and their appreciation. In line with the Sustainable Development Goals (SDGs) metrics, it is essential that its exploitation is linked to sustainability, promoting regional development, and emphasizing the importance of protecting and valuing the region's natural resources. Therefore, the objective of this study was to evaluate the physicochemical characteristics of Copaiba resin oil varieties collected at farmers' markets and assess its fungicidal potential in controlling *Colletotrichum gloeosporioides*, the causative agent of papaya anthracnose (*Carica papaya*). The fungus *Colletotrichum gloeosporioides* was isolated from diseased papaya fruits. The following treatments were used: a control and doses of 50, 100, 150, and 200 µL/mL of Copaiba oil, with each dose incorporated into 20 mL of PDA (Potato, Dextrose, and Agar) culture medium, to determine the effect of the oil on the mycelial growth of the phytopathogen. The data were subjected to analysis of variance (ANOVA) and regression analysis. When evaluating the effect of oil varieties, it was found that the greatest inhibitory effect was observed for variety 2, with the highest inhibition power caused by doses of 100 and 200 µL/mL in variety 2.

Keywords: Resin; Inhibitory effect; Alternative control; Bioprospecting; Sustainability.

Resumen

El género *Copaifera* no solo es relevante en la industria maderera, sino que también se destaca por su aceite de resina, un exudado transparente, viscoso y con un marcado olor. Este producto, comúnmente utilizado en la medicina popular, simboliza la riqueza de los productos derivados del bosque y su aprecio. En línea con las métricas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), es fundamental que su explotación esté vinculada a la sostenibilidad, promoviendo el desarrollo regional y enfatizando la importancia de proteger y valorar los recursos naturales de la región. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar las características fisicoquímicas de las variedades de aceite de resina de copaiba recogidas en mercados de agricultores y evaluar su potencial fungicida en el control de *Colletotrichum gloeosporioides*, el agente causante de la antracnosis del papayo (*Carica papaya*). El hongo *Colletotrichum gloeosporioides* se aisló de frutos de papaya enfermos. Se utilizaron los siguientes tratamientos: un control y dosis de 50, 100, 150 y 200 µL/mL de aceite de copaiba, con cada dosis incorporada en 20 mL de medio de cultivo PDA (patata, dextrosa y agar), para determinar el efecto del aceite en el crecimiento micelial del fitopatógeno. Los datos se sometieron a análisis de varianza (ANOVA) y análisis de regresión. Al evaluar el efecto de las variedades de aceite, se encontró que el mayor efecto inibidor se observó en la variedad 2, con el mayor poder de inhibición causado por dosis de 100 y 200 µL/mL en la variedad 2.

Palabras clave: Resina; Efecto inhibitorio; Control alternativo; Bioprospección; Sostenibilidad.

1. Introdução

Copaifera spp. são árvores nativas das regiões tropicais da América Latina e África Ocidental (Paula-Souza, et al., 2022; Diefenbach, et al., 2017). No Brasil, existem mais de vinte espécies de *Copaifera*, sendo as mais abundantes *C. officinalis* (Jacq.) L., *C. guianensis* Desf., *C. reticulata* Ducke, *C. multijuga* Hayne, *C. confertiflora* Benth., *C. langsdorffii* Desf., *C. coriacea* Mart. e *C. cearensis* Huber ex Ducke (Rigamonte-Azevedo, et al., 2004), facilmente avistadas em todo o território da região Amazônica (Paula-Souza, et al., 2022; Pierre, et al., 2009). O gênero *Copaifera* é amplamente utilizado na indústria madeireira, mas seu destaque está no uso do óleo resina, um exsudato transparente, viscoso e com forte odor, que pode se transformar em resina quando exposto ao ar e à luz (Mendonça & Onofre, 2009).

Popularmente, o óleo resina é conhecido como óleo de copaíba, cujas propriedades antibacterianas (Bardají, et al., 2016; Ziech, et al., 2013; Santos, et al., 2008; Pacheco, et al., 2006) e antifúngicas (De Brito & Moreira, 2017; Abreu, et al., 2014) são amplamente descritas na literatura. Suas propriedades químicas também estão associadas ao tratamento de lesões e atividades hemolíticas (Fernandes, et al., 2023).

A ação microbiostática do óleo essencial de Copaíba (*Copaifera* spp.) já é amplamente conhecida e explorada no controle de doenças de plantas (Amazon Oil, 2023; Veloso, et al., 2020; De Souza Oliveira, et al., 2018; Gomes, et al., 2016). Silva (2019) avaliou o potencial antifúngico de cinco óleos essenciais (cravo, gergelim, girassol, copaíba e erva-doce) no controle

de *Fusarium* sp. e observou que o óleo essencial de copaíba apresentou o segundo melhor resultado para o índice de velocidade de crescimento micelial (IVCM), diâmetro médio da colônia (DMC) e percentual de inibição do crescimento micelial (PIC).

O efeito inibitório do óleo de copaíba também foi relatado por Nóbrega (2018) contra os fitopatógenos *Alternaria alternata* e *Colletotrichum musae*, e por Araújo et al. (2018), onde o óleo de copaíba apresentou redução do crescimento micelial de *Colletotrichum* spp. em todas as concentrações quando comparado aos demais tratamentos. Resultados semelhantes foram observados por Porcino (2018), onde o óleo essencial de copaíba foi altamente eficiente na inibição do crescimento micelial do patógeno *Alternaria alternata* f. sp. *citri*, agente causal da mancha marrom de alternaria em tangerinas.

O princípio ativo do óleo resina é resultado de uma solução de ácidos diterpênicos, sendo um óleo essencial constituído por sesquiterpênicos. Os principais sesquiterpênicos incluem o β -cariofileno, com ação anti-inflamatória e antifúngica, e o β -bisaboleno, que atua como analgésico e, também, possui propriedades anti-inflamatórias (Fernandes, et al., 2023; Yamaguchi & Garcia, 2012; Veiga Júnior & Pinto, 2002).

Al-Reza et al. (2010) afirmam que os óleos essenciais de plantas podem ser utilizados como estratégias alternativas para controlar fungos patogênicos de plantas, porque constituem virtualmente uma fonte rica de substâncias bioativas que podem conduzir ao desenvolvimento de novas classes de agentes de controle das doenças. No entanto, é difícil comparar resultados obtidos em diferentes estudos, pois vários fatores podem alterar a composição e a quantidade dos óleos, dependendo da região geográfica, variedade, idade da planta, método de secagem e método de extração do óleo, entre outros.

Da mesma forma, Fernandes et al. (2023) relatam que *Copaifera* apresenta propriedades químicas e farmacológicas favoráveis ao tratamento de lesões e feridas, tais como o controle da dor inflamatória, diminuição da reação inflamatória, reepitelização e reparo tecidual, angiogênese, retração da ferida e remodelagem de cicatrizes. A presença de compostos bioativos, como diterpenos, 3-hidroxi-copálico, sesquiterpenos e éster kolavíc-15-metilico, também é destacada.

A extração e a comercialização do óleo de copaíba geram uma dinâmica de atividades econômicas que aproveita o potencial da floresta amazônica sem destruí-la, gerando renda e mantendo as comunidades locais. O potencial farmacológico e comercial do óleo de copaíba, principalmente para a região Amazônica, ainda justifica estudos que visem ao desenvolvimento tecnológico de produtos contendo essa matéria-prima (De Lima & Andrade, 2010; Lira & Chaves, 2015).

Dentro desse contexto, chama-se a atenção para o possível uso do óleo de copaíba no controle do fungo *Colletotrichum gloeosporioides*, principal patógeno que ataca os frutos do mamão, causando a doença conhecida por antracnose (Dantas, et al., 2013). O controle químico da antracnose não é totalmente eficaz, já que aumenta o custo de produção e gera impactos negativos no meio ambiente e na saúde humana (Machado, 2013). O uso de óleos vegetais, como o da copaíba, tem despertado grande interesse devido à presença de substâncias bioativas que podem ser usadas no manejo de doenças de plantas. Dessa forma, é importante realizar estudos que viabilizem a utilização do óleo de copaíba para testes de atividade antifúngica no controle da antracnose do mamoeiro, uma vez que o óleo é encontrado de forma natural e pode ser utilizado como meio sustentável e economicamente viável (Veiga Júnior & Pinto, 2002).

Sendo assim, objetivou-se com esse trabalho avaliar as características físico-químicas de variedades do óleo-resina de copaíba coletadas em feiras de agricultores e avaliar o potencial fungicida no controle de *Colletotrichum gloeosporioides*, agente causador da antracnose do mamoeiro (*Carica papaya*).

2. Metodologia

O trabalho foi conduzido nos Laboratório de Química e Solos e Fitopatologia da Universidade Federal do Acre, Campus Floresta Centro Multidisciplinar – CMULTI, em Cruzeiro do Sul, Acre – Brasil. O clima predominante da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Af, caracterizado como tropical quente e úmido, com temperatura média anual de 24°C (Alvares, et al., 2014).

Obtenção das variedades do óleo de *Copaifera* sp.

Variedades de óleos de *Copaifera* sp., foram adquiridas de forma aleatória em feira de agricultores familiares em Ariquemes-Rondônia em parceria com o projeto Reça (2023) (Reflorestamento Econômico Consorciado Adensado) e nomeadas como copaíba 1, 2, 3 e 4. As variedades foram armazenadas em um frasco âmbar fechado e conservados na temperatura de $(-5 \pm 1)^\circ\text{C}$ para evitar a oxidação e degradação por radiação da luz até o momento das análises.

Determinação da viscosidade

A viscosidade dos óleos-resinas foi determinada utilizando um viscosímetro de eixo rotativo (Quimis). Mediu-se 50 mL de óleo-resina no porta amostra e mantido na temperatura de $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, por 10 min. Após a obtenção de temperatura constante, os óleos-resina foram submetidos a rotação de 30 rpm por 10 min e aferida a viscosidade. A viscosidade foi realizada em triplicata, com o valor de densidade média e seu respectivo desvio padrão (σ) Lutz, (2008).

Determinação da densidade

A densidade do líquido foi determinada pela diferença de massa do líquido pelo volume ocupado. A quantidade dos óleos-resina foi de 50 mL utilizando picnômetro, na temperatura de $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$. A densidade dos óleos-resinas foi realizada em triplicata, com o valor de densidade média e seu respectivo desvio padrão (σ), Lutz, (2008).

Determinação do índice de refração

O refratômetro ABBE de bancada (Quimis) foi utilizado para determinar o índice de refração dos óleos-resinas. Aproximadamente, 4 gotas de óleos-resinas foram colocadas no porta amostra do refratômetro e após atingir $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, foi avaliado o índice de refração para cada variedade. Foi realizado em triplicata, com seu respectivo desvio padrão (σ), Lutz, (2008).

Determinação da Acidez

Pesou-se 2 g dos óleos-resinas em frasco Erlenmeyer de 125 mL e na sequência foram adicionados 25 mL, previamente preparados de éter-álcool (2:1). Em seguida, foram adicionadas duas gotas do indicador fenolftaleína. Titulou-se com solução de hidróxido de sódio 0,1 M, até o aparecimento da coloração rósea, e deixou-se por 30 segundos, após este tempo, foi calculado a quantidade de NaOH gasto por grama de óleo de acordo com as normas do Lutz, (2008).

Avaliação da atividade fungicida do óleo-resina de copaíba

O fungo *Colletotrichum gloeosporioides* foi isolado de frutos do mamão (*Carica papaya*) que apresentaram sintomas da doença antracnose. Os frutos infectados foram obtidos na cidade de Cruzeiro do Sul, Acre. Utilizou-se a metodologia de isolamento de fungos descrita por Menezes e Silva-Hanlin (1997). Com um bisturi flambado foi realizado um corte na área afetada e a incisão pressionada para facilitar a abertura do corte no fruto; em seguida com auxílio de um estilete foi retirado os fragmentos da região de transição da lesão (área entre o tecido sadio e doente). Em seguida, os fragmentos foram imersos em álcool a 70% por um min, em solução a 1,5% de hipoclorito de sódio por 30 segundos, e depois foram lavados com água estéril e destilada. Após esses procedimentos, efetuando-se o plaqueamento em 20 mL no meio de cultura BDA (Batata Dextrose e Ágar), foram colocados quatro fragmentos dos tecidos por placa, sendo estes distribuídos equidistantemente. As culturas foram incubadas em temperatura ambiente de 25°C , sob luz fluorescente.

Avaliação da atividade antifúngica do óleo de copaíba

Em uma capela de fluxo laminar, doses crescentes do óleo de copaíba (0, 50, 100, 150 e 200 µL/mL) foram adicionadas ao meio de cultura BDA ainda fundente e vertidas em placas de Petri esterilizadas, com 9 cm. Em seguida, um disco contendo o micélio do fungo medindo 5 mm de diâmetro foi depositado no centro de cada placa. O mesmo procedimento foi realizado com a amostra testemunha. As placas foram seladas com papel aderente, identificadas e incubadas em BOD sob fotoperíodo de 12 horas à temperatura de 25 °C.

As avaliações do crescimento micelial foram realizadas por meio de observações diárias iniciadas 24 horas após instalação do experimento em posição ortogonal e perduraram até o momento em que a primeira colônia fúngica do tratamento alcançou seu desenvolvimento máximo na superfície do meio de cultura da placa de Petri. Para o cálculo de índice de crescimento micelial (ICM) ou taxa de crescimento micelial (TCM), foi utilizada a fórmula descrita por Salgado et al. (2003) que diz, que as variáveis contidas na equação para o cálculo do índice de crescimento micelial (ICM) são as avaliações do crescimento micelial do primeiro até o último dia (C1, C2, C3, C4..., Cn) e o número do dia da avaliação (N1, N2, N3, N4..., Nn). Dado por:

$$ICM = \frac{C1}{N1} + \frac{C2}{N2} + \frac{C3}{N3} + \frac{C4}{N4} + \dots + \frac{Cn}{Nn}$$

Para o cálculo da porcentagem de inibição do crescimento micelial (PIC) foi utilizada a metodologia proposta por Garcia et al. (2012), onde o diâmetro da testemunha (DT) e o diâmetro do tratamento (DTRAT) são as variáveis envolvidas. Dado por:

$$PIC = \frac{DT - DTRAT}{DT} * 100$$

Os ensaios foram conduzidos segundo delineamento inteiramente casualizado, com esquema fatorial envolvendo 4 (variedades do óleo) x 5 (doses de óleo + teste de controle da testemunha) sendo 5 repetições adotadas para cada tratamento. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e análise de regressão, cuja diferença entre as médias dos tratamentos foi testada por meio do teste de Tukey a 5% de significância realizada com o auxílio do software RStudio Core Team, versão 3.6.3 e com pacote *ExpDes.pt, car, stats* e *fBasics*.

3. Resultados e Discussão

Análise físico-química do óleo-resina

Conforme apresentado na Tabela 1, observaram-se variações no índice de acidez dos óleos-resina de copaíba estudados, com valores variando de (1,63 ± 0,02) mg de NaOH/g de óleo para a variedade de copaíba 2 a 4,02 ± 0,02 para a variedade de copaíba 3. Esses resultados estão em conformidade com os valores estabelecidos pela Anvisa (2023), em que valores de índice de acidez próximos a 4,00 mg de NaOH/mL são considerados aceitáveis para consumo humano.

No que diz respeito à análise de viscosidade, verificou-se que o óleo de copaíba 3 apresentou o maior valor de viscosidade, (11,3 ± 0,4) mPa.s, enquanto a amostra que representa a copaíba 2 revelou o valor mais baixo, 5,0 ± 0,6.

Tabela 1 - Resultado das análises de índice de acidez, densidade, viscosidade e índice de refração do óleo de copaíba.

	Copaíba 1	Copaíba 2	Copaíba 3	Copaíba 4
Acidez (mgNaOH/g)	2,21 ± 0,01	1,63 ± 0,02	4,02 ± 0,02	2,85 ± 0,02
Densidade (g/mL)	0,93 ± 0,01	0,92 ± 0,01	0,94 ± 0,02	0,93 ± 0,01
Viscosidade (mPa.s)	10,0 ± 0,3	5,0 ± 0,6	11,3 ± 0,4	10,0 ± 0,2
Índice de Refração	1,503 ± 0,001	1,502 ± 0,001	1,505 ± 0,001	1,507 ± 0,001

Fonte: Autores.

Conforme demonstrado na Tabela 1, os valores de densidade dos óleos de copaíba não apresentaram diferenças significativas. O óleo de copaíba 2 registrou a menor densidade, com $(0,92 \pm 0,01)$ g/mL, enquanto o óleo de copaíba 3 apresentou a maior densidade, com $0,94 \pm 0,02$.

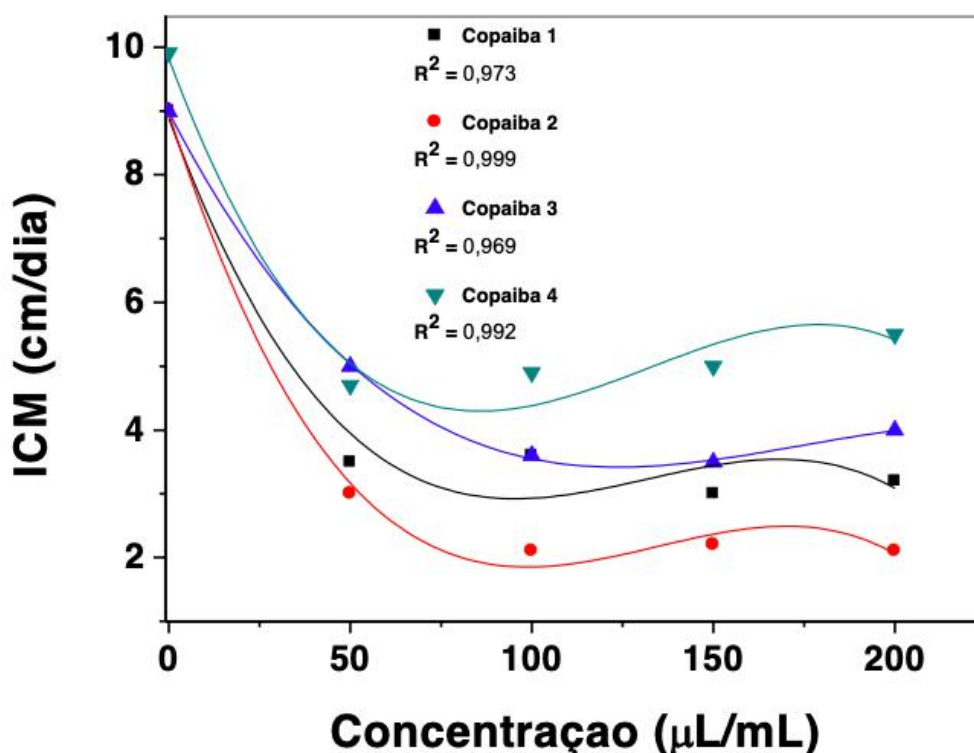
No entanto, no que diz respeito ao índice de refração, todas as variedades de copaíba mostraram pequenas variações nos valores. Destaca-se a Copaíba 2, com um índice de refração de $1,502 \pm 0,001$, e a Copaíba 4, com um índice de refração de $1,507 \pm 0,001$. Essas diferenças sutis podem ser atribuídas às características únicas de cada tipo de óleo, incluindo o grau de saturação das ligações, o processo de oxidação e o tratamento térmico (Lutz, 2008).

Atividade fungicida do óleo de copaíba

A análise de regressão revelou modelos estatisticamente significativos, indicando que as variedades de óleos de copaíba têm um efeito inibidor sobre o crescimento micelial do patógeno. Conforme demonstrado na Figura 1, as curvas de crescimento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides* para cada variedade e dose de óleo de copaíba apresentam uma correlação inversamente proporcional. Notavelmente, a variedade de óleo de copaíba 2 mostrou um maior estímulo na inibição do crescimento micelial com as doses de 100 e 200 $\mu\text{L/mL}$, com uma inibição mais significativa na dose de 100 μL . Em contraste, a variedade de copaíba 4 exibiu a menor inibição do crescimento micelial.

Resultados semelhantes foram obtidos em estudos anteriores por Sousa e colaboradores (2012), que investigaram a atividade antifúngica do óleo de copaíba contra *Colletotrichum gloeosporioides* em várias concentrações, alcançando resultados satisfatórios. Ademais, Ishida e colaboradores (2008) examinaram o efeito fungicida de óleos de copaíba extraídos de diferentes partes da planta sobre *Fusarium* spp., o patógeno responsável pela podridão de raízes e pés em plantas de pimenta-do-reino.

Figura 1 - Análise de regressão para efeito das doses dos óleos de copaíba sobre o crescimento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides*.



Fonte: Autores.

Para o índice de crescimento micelial na faixa de concentração de 0 a 200,0 µL/mL dos óleos de copaíba observou-se uma redução significativa entre as variedades dos óleos de copaíba e entre suas as concentrações (Tabela 2).

Tabela 2 - Índice de crescimento micelial (ICM) de *Colletotrichum gloeosporioides* para as variedades de óleos de copaíba (*Copaifera* sp.).

Óleo	Dose (µL/mL)				
	0	50	100	150	200
Copaíba 1	7,88 aB	3,46 bB	3,14 bB	3,32 bB	2,87 bC
Copaíba 2	7,88 aB	3,09 bB	2,09 cC	2,24 cC	2,17 cD
Copaíba 3	8,78 aA	5,09 bA	4,56 bcA	3,48 cB	4,17 dB
Copaíba 4	8,91 aA	4,73 cA	4,62 cA	5,06 bcA	5,51 bA

a,b – Para cada variedade de óleo, médias das doses de óleos seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). A,B - Para cada doses de óleo, médias das variedades de óleos seguidas de mesma letra MAIÚSCULA não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).
 Fonte: Autores.

Os resultados apresentados na Tabela 2 indicam que, entre as variedades de óleo de copaíba, a variedade Copaíba 2 apresentou um efeito inibidor mais pronunciado em concentrações de 100, 150 e 200 µL/mL, diferindo estatisticamente das outras variedades. Este resultado está alinhado com os achados de Araujo Neto et al. (2014), que também observaram a eficácia do óleo de copaíba no controle da antracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) em maracujazeiros-amarelos.

A pesquisa de Sousa et al. (2019) analisou os óleos de copaíba e andiroba, bem como suas combinações, no controle do fungo *Sclerotium rolfsii* em plantas de tomate, mostrando que os óleos de copaíba têm potencial significativo contra o fungo, com o óleo de copaíba puro demonstrando a maior eficiência.

Figueredo et al. (2021) avaliaram a sensibilidade in vitro do fungo *Colletotrichum gloeosporioides* a óleos essenciais, como o de manjerição e canela-cássia, obtendo concentrações inibitórias mínimas (CIM) tão baixas quanto 5 µL/mL para 100% de inibição do crescimento micelial.

De forma semelhante, Tofiño-Rivera et al. (2020) demonstraram a eficácia do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* encapsulado em quitosana-agar contra *Colletotrichum gloeosporioides*, alcançando um índice de controle de 100% com uma concentração de 4 µL/mL.

No estudo conduzido por Xia et al. (2020), foi extraído um óleo essencial das folhas de *Murraya microphylla* através de destilação a vapor. Este óleo foi avaliado quanto à sua capacidade fungicida contra o fungo *Colletotrichum gloeosporioides*. Foi determinado que a concentração necessária para obter efeito antifúngico era de 0,125 mg/mL.

Observa-se que, enquanto as pesquisas de Figueredo et al. (2021), Tofiño-Rivera et al. (2020) e Xia et al. (2020) investigaram a Concentração Inibitória Mínima (CIM) do fungo *Colletotrichum gloeosporioides* frente aos óleos essenciais obtidos por hidrodestilação de diferentes fontes, o óleo de copaíba extraído do caule apresentou resultados distintos em termos de CIM, ressaltando a singularidade de suas propriedades antifúngicas.

Na Tabela 3, são apresentados os resultados dos cálculos de porcentagem de inibição do crescimento micelial (PIC). Nota-se que, das amostras de copaíba testadas, a copaíba 2 mostrou maior eficácia inibitória, variando de 59,85% na menor dosagem (50 µL/mL) até 69,92% na maior dosagem (200 µL/mL). Em contraste, a amostra copaíba 4 exibiu o menor efeito inibitório em todas as dosagens examinadas.

Tabela 3 - Efeito das doses do óleo de copaíba na redução do PIC (porcentagem de inibição do crescimento micelial).

Óleo	Dose (µL/mL)			
	50	100	150	200
Copaíba 1	51,58 aAB	54,14 aB	50,22 aB	57,89 aB
Copaíba 2	59,85 bA	63,91 abA	69,93 aA	69,92 aA
Copaíba 3	49,55 cB	52,13 bcBC	67,53 aA	60,67 abAB
Copaíba 4	45,25 aB	43,93 aC	37,47 aC	36,15 aC

a,b – Para cada variedade de óleo, médias das doses de óleos seguidas de mesma letra minúscula não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). A,B - Para cada dose de óleo, médias das variedades de óleos seguidas de mesma letra MAIÚSCULA não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).
Fonte: Autores.

Os resultados apresentados diferem daqueles encontrados por Nascimento et al. (2014), que, ao aplicar diversas concentrações de óleo de copaíba (25, 50, 75 e 100 µL/mL) sobre o fungo *Fusarium solani* f. sp. *glycines* — causador da podridão vermelha das raízes da soja —, identificaram uma relação inversamente proporcional entre o crescimento micelial do fungo e as doses aplicadas. A maior dose testada, de 100 µL/mL, resultou no menor diâmetro de colônia medido em 1,88 cm, o que equivale a uma inibição de 57,84%. Em contraste, no estudo atual, os dados não apresentaram uma proporção inversa, notadamente na variedade 4, onde o efeito inibitório mais significativo foi observado com a menor concentração testada, de 50 µL/mL.

4. Conclusão

Com os resultados obtidos no presente trabalho foi possível observar que o óleo de copaíba mostrou efeito inibidor sobre o crescimento micelial do *Colletotrichum gloeosporioides*, podendo ser uma alternativa viável e sustentável para o

produtor. As doses de 100 e 200 µL/mL apresentaram maior redução do ICM (Índice de Crescimento Micelial), e o maior efeito inibidor foi observado para o óleo de copaíba 2 que, apresentou nos parâmetros físico químico, o menor índice de acidez. Tais resultados evidenciam que a ação de cada variedade do óleo é dependente da concentração utilizada e do patógeno analisado.

Este estudo sugere que a ação do óleo varia com a concentração, abrindo oportunidades para futuras pesquisas, como a análise in vivo e o desenvolvimento de aplicações nanotecnológicas (nanocápsulas com polímeros biodegradáveis).

Referências

- Amazon Oil. (2023). Copaiba. <https://amazonoil.com.br/rainforest-products/copaibaolresin-en>
- Abreu, M. G. P., Tavella, L. B., Ferreira, J. B., Araujo, M. L., & Araujo, J. M. (2014). Potencial fungitoxico dos óleos de murmuru (*Astrocaryum ulei* Mart.) e coco (*Cocos nucifera* L.) sobre *Colletotrichum gloeosporioides* no maracujá. *Enciclopédia Biosfera*, 10(19), 1515-1521. <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/AGRARIAS/potencial%20fungitoxico.pdf>
- Al-Reza, S. M., Rahman, A., Ahmed, Y., & Kang, S. C. (2010). Inhibition of plant pathogens in vitro and in vivo with essential oil and organic extracts of *Cestrum nocturnum* L. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 96(2), 86–92. 10.1016/j.pestbp.2009.09.005.
- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2014) Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (6), 711-728. 10.1127/0941-2948/2013/0507
- Araújo Neto, S. Elviro de, F., W. De Moura, A. N., R. C., Lustosa, C., & Ribeiro, S. A. L. (2014), Controle pós-colheita da antracnose do maracujazeiro- amarelo com aplicação de óleo de copaíba. *Rev. Bras. Frutic.*, 3(62), 509 -514. 10.1590/0100-2945-146/13
- Bardají, D. K. R., da Silva, J. J. M., Bianchi, T. C., de Souza Eugênio, D., de Oliveira, P. F., Leandro, L. F., & Martins, C. H. G. (2016) *Copaifera reticulata* oleoresin: Chemical characterization and antibacterial properties against oral pathogens. *Anaerobe*, 40, 18–27. 10.1016/j.anaerobe.2016.04.017.
- Brasil. (2008) Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). <https://www.gov.br/anvisa/pt-br>
- Cascon, V., & Gilbert, B. (2000) Characterization of the chemical composition of oleoresins of *Copaifera guianensis* Desf., *Copaifera duckei* Dwyer and *Copaifera multijuga* Hayne. *Phytochemistry*, 55 (7), 773– 778. 10.1016/s0031-9422(00)00284-3
- Dantas, J. L., Junghans, D. T., & Lima, J. F. (2013) Mamão: O produtor pergunta, a Embrapa responde. In: Dantas, J. L. L. *Coleção 500 perguntas, 500 respostas*. (2a ed.). ed. Brasília: Embrapa. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/101792/1/500perguntasmamao.pdf>
- De Araújo, A. C., Toledo, E. D., & De Oliveira Soares, W. R. (2018). Produtos alternativos no controle de *Colletotrichum* spp. isolados de manga e banana. *Científica-Multidisciplinary Journal*, 5(3), 104-112. 10.29247/2358-260X.2018v5i3.p104-112
- De Brito, R. S., Alves, W. F., & Moreira, J. G. V. (2017) Avaliação do efeito da inibição da antracnose do maracujazeiro com a utilização do óleo de pupunha (*Bactris gasipaes*). *Journal of Basic Education, Technical and Technological*, 4(2), 43-48. <https://periodicos.ufac.br/index.php/SAJEBTT/article/view/1425>
- De Souza Oliveira, V., Porcino, M. M., DO Nascimento, L. C., Jovino, R. S. & Alves, B. L. N. (2018). Controle da antracnose em frutos de *Persea americana* Miller com óleos essenciais. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 13(5), 600-604. 10.18378/rvads.v13i5.6251
- Diefenbach, A. L., Muniz, F. W. M. G., Oballe, H. J. R., & Rösing, C. K. (2017). Antimicrobial activity of copaiba oil (*Copaifera* spp.) on oral pathogens: Systematic review. *Phytotherapy Research*, 32(4), 586–596. 10.1002/ptr.5992.
- Fernandes, M., Macedo, L., Rodrigues, V., Feitosa, E., Silva, M., Moreira, R., & Sampaio, L. (2023). Chemical and pharmacological properties of the genus *Copaifera* in the treatment of injuries/wounds: integrative review. *ESTIMA, Brazilian Journal of Enterostomal Therapy*. https://doi.org/10.30886/estima.v21.1292_in.
- Garcia, R., & Yamaguchi, M. (2012). Óleo de Copaíba e suas Propriedades Medicinais: Revisão Bibliográfica. *Revista Saúde e Pesquisa*, 5(1), 137-146. <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/saudpesq/article/view/2082>
- Gomes, R., Nunes, M., Nascimento, L., Souza, J., & Porcino, M. (2016). Efficiency of essential oils in the sanitary and physiological quality of lima bean seeds (*Phaseolus lunatus* L.). *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, 18 (1), 279-287. 10.1590/1983-084X/15_117
- Ishida, A. K. N., Amaral, M. A. C. M., Gurgel, E. S. C, Tremacoldi, C. R. & Souza Filho, A. P. (2008). Atividade antifúngica de óleos essenciais de espécies de *Copaifera* sobre *Fusarium solani* f.sp. *piperis* Albuquerque. In: Congresso brasileiro de defensivos agrícolas naturais, n.4, 2008, Belém/PA. Anais... Belém/PA: Embrapa Amazônia Oriental. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/391967>
- Lima, M. A. R. de, & Andrade, E. dos R. G. (2010). Os Ribeirinhos e as suas Ações com os Saberes. *Revista Educação Em Questão*, 38(24), 58–87.
- De Figueiredo, A. R., Da Silva, L. R., & De Moraes, L. A. L. (2021). Sensibilidade do *Colletotrichum gloeosporioides* do maracujazeiro a óleos essenciais, *Revista Desafios* 08, (2) 1-12. <http://dx.doi.org/10.20873/uftv8-10442>
- Lira, T. de M., & Chaves, M. do P. S. R. (2016). Comunidades ribeirinhas na Amazônia: organização sociocultural e política. *Interações (Campo Grande)*, 17(1), 66–76. <http://dx.doi.org/10.20435/1518-70122016107>
- Lutz, I. A. (2008). Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos. http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf

- Machado, R. M. A., Mussi-dias, V., Souza, C. L. M., Silva, L. B., & Freire, M. G. M. (2013). Avaliação de óleos essenciais sobre o crescimento in vitro do fungo *Colletotrichum gloeosporioides*, *Perspectiva online, ciências biológicas e a saúde*, 8 (3), 64–75. 10.25242/8868382013147
- Mendonça, D. E., & Onofre, S. B. (2009). Atividade antimicrobiana do óleo-resina produzido pela copaiba - *Copaifera multijuga* Hayne (Leguminosae). *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 19 (2b), 577–581. 10.1590/S0102-695X2009000400012
- Menezes, M., & Silva-Hanlin, D. M. W. (1997) Guia prático para fungos patogênicos. *Imprensa Universitária – UFRPE*. <https://www.scielo.br/j/sp/a/c4Qd595R7PJ9gGs3LbHRTBG/?format=pdf&lang=pt>
- Nascimento, D. M., Vieira, G. H. C., Batista, T. B., Koyanagui, M. T., & Bardivieso, E. M. (2014). Efeito de óleos essenciais sobre o crescimento micelial in vitro de *Fusarium solani* f.sp glycines *Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer* 10(19).
- Nóbrega, L. P. (2018) Potencial fungitóxico dos óleos essenciais de copaiba e eucalipto sobre fitopatógenos. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Sistemas Agroindustriais). Repositório da Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, Paraíba, Brasil. <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/3534>
- Pacheco, T., Barata, L., & Duarte, M. (2006). Antimicrobial activity of copaiba (*Copaifera* spp) balsams. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 8, 123–124. https://www1.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Botanica/RBPM-RevistaBrasileiradePlantasMediciniais/8esp_123_124.pdf
- Paula-Souza, J., Lima, A., Costa, J., & Queiroz, L. (2022). A Step Out of the Chaos: A Nomenclatural Revision of New World *Copaifera* (Fabaceae, Detarieae). *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 107, 467 - 479. <https://doi.org/10.3417/2022784>.
- Pierre, F. A., Mussi, M. C., & Moreira, M. A. S. (2009). Óleo de copaiba (*Copaifera* sp.): histórico, extração, aplicações industriais e propriedades medicinais. *Revista brasileira de plantas medicinais* 11(4), 465-472. 10.1590/S1516-05722009000400016
- Porcino, M. M. (2018) Óleos Essenciais no Manejo da Mancha Marrom de *Alternaria* em tangerineira ‘Dancy’. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Repositório da Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2018. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/15666/1/DA387.pdf>
- Reca. (2023). Copaiba. <https://www.projetoreca.com.br/quem-somos/>.
- Rigamonte-Azevedo, O. C., Wadt, P. G. S., Lúcia Helena de Oliveira Wadt, da Veiga Junior, V. F., Pinto, A. C., & Regiani, A. M. (2004). Variabilidade química e física do óleo-resina de *Copaifera* spp. no Sudoeste da Amazônia brasileira, *Rev. bras. ol. fibros.*, 8 (2), 851-861. https://www.researchgate.net/publication/237205489_VARIABILIDADE_QUIMICA_E_FISICA_DO_OLEO-RESINA_DE_Copaifera_spp_NO_SUDOESTE_DA_AMAZONIA_BRASILEIRA
- Salgado, A. P. S. P., Cardoso, M. G., Souza, P. E., Souza, J. A., abreu, C. M. P., & Pinto, J. E. B. P. (2003). Avaliação da atividade fungitóxica de óleos essenciais de folhas de *Eucalyptus* sobre *Fusarium oxysporum*, *Botrytis cinerea* e *Bipolares sorokiniana*. *Ciência e Agrotecnologia*, 27, 249-254. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542003000200001>
- Santos, A. O. dos, Ueda-Nakamura, T., Dias Filho, B. P., Veiga Junior, V. F., Pinto, A. C., & Nakamura, C. V. (2008). Antimicrobial activity of Brazilian copaiba oils obtained from different species of the *Copaifera* genus. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 103(3), 277–281. 10.1590/S0074-02762008005000015
- Silva, S. M. & Porcino, M. M. (2019). Óleos essenciais no controle de *Fusarium* sp. na cultura do coentro. Óleos Essenciais no Manejo da Mancha Marrom de *Alternaria* em tangerineira ‘Dancy’. Trabalho de conclusão de curso (Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB. <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/15666/1/DA387.pdf>
- Sousa, R. M. S. de, Serra, I. M. R. de S., & Melo, T. A. de. (2012). Efeito de óleos essenciais como alternativa no controle de *Colletotrichum gloeosporioides*, em pimenta. *Summa Phytopathologica*, 38(1), 42–47. 10.1590/S0100-54052012000100007
- Tofino-Rivera, A., Castro-Amaris, G., & Casierra-Posada, F. (2020). Effectiveness of *Cymbopogon citratus* Oil Encapsulated in Chitosan on *Colletotrichum gloeosporioides* Isolated from *Capsicum annuum*. *Molecules*, 25, 1- 21. <https://doi.org/10.3390/molecules25194447>.
- Veloso, R. A., Leão, E. U., Mourão, D. D. S. C., De Souza Ferreira, T. P., De Farias, D. I. O. A., & Dos Santos, G. R. (2020). Efeito de óleos essenciais sobre a micoflora associada às sementes de manjeriço. *Agri-Environmental Sciences*, 6, 10-10. 10.36725/agries.v6i0.1959
- Yamaguchi, M. H., & Garcia, R. F. (2012). Óleo de copaiba e suas propriedades medicinais: revisão bibliográfica. *Revista Saúde e Pesquisa*, 5(1), 137-146. <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/saudpesq/article/view/2082>
- Ziech, R. E., Farias, L. D., Balzan, C., Ziech, M. F., Heinzmann, B. M., Lameira, O. A., & Vargas, A. C. (2013). Atividade antimicrobiana do óleo resina de copaiba (*Copaifera reticulata*) frente a *Staphylococcus* coagulase positiva isolados de casos de otite em cães. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 33(7), 909–913. 10.1590/S0100-736X2013000700011