

Atividade alelopática do óleo de copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf) na qualidade das sementes de tomate

Allelopathic activity of copaíba oil (*Copaifera langsdorffii* Desf) on the quality of tomato seeds

Actividad alelopática del aceite de copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf) sobre la calidad de las semillas de tomate

Recebido: 24/02/2021 | Revisado: 01/03/2021 | Aceito: 05/03/2021 | Publicado: 14/03/2021

Rayane Monique Sete da Cruz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5644-7061>
Universidade Estadual de Maringá, Brasil
E-mail: rayanesete@hotmail.com

Renata Cristiane Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8718-7191>
Universidade Estadual de Maringá, Brasil
E-mail: recristianepereira@gmail.com

Breno Gabriel da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8322-9235>
Universidade de São Paulo, Brasil
E-mail: brenogsilva@usp.br

Rayssa Fernanda dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6475-8393>
Universidade Estadual de Maringá, Brasil
E-mail: pg53835@uem.br

Alessandro Lucca Braccini

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6915-4804>
Universidade Estadual de Maringá, Brasil
E-mail: albraccini@uem.br

Lucio Cardozo Filho

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1764-9979>
Universidade Estadual de Maringá, Brasil
E-mail: lcfilho@uem.br

Diego Eduardo Romero Gonzaga

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1918-4378>
Universidade Estadual de Maringá, Brasil
E-mail: murilof.pelloso@hotmail.com

Murilo Fuentes Pelloso

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5627-8886>
Universidade Estadual de Maringá, Brasil
E-mail: murilof.pelloso@hotmail.com

Nathália Maria Rizzo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7611-4253>
Universidade Estadual de Maringá, Brasil
E-mail: ra113451@uem.br

Silas Maciel de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1162-2994>
Universidade Estadual de Maringá, Brasil
E-mail: silasmaciel@usp.br

Yana Miranda Borges

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1866-5524>
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Brasil
E-mail: borges.yana@gmail.com

Resumo

As atividades alelopática de óleos atuam diretamente em processos de germinação e crescimento de plântulas, afetando o desenvolvimento inicial, uma vez que a constituição e a classe a que pertencem tais óleos estão diretamente relacionados aos efeitos nocivos às sementes. O presente trabalho teve como objetivo analisar o efeito alelopático do óleo de copaíba sobre a germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plântulas de tomate. As sementes de dois lotes foram colocadas para germinar em substrato umedecido com 0; 0,01; 0,05; 0,10; 0,15 e 0,20% de óleo de copaíba. Foram utilizadas 200 sementes de tomate por tratamento, distribuídas em quatro repetições. Avaliou-se a germinação, o índice de velocidade de germinação e o comprimento de plântulas. A porcentagem de germinação e o índice de velocidade de germinação das sementes dos dois lotes não diferiram

entre si, no entanto sementes do lote 1 responderam de forma positiva à aplicação do óleo de copaíba. Em relação ao comprimento de plântulas, a concentração de 0,01% foi superior às demais. No que se refere ao lote 2, a ausência do óleo de copaíba proporcionou um maior comprimento de plântulas. As concentrações de óleo de copaíba não reduziram a porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação de maneira positiva. Para a observação do efeito alelopático do óleo de copaíba em sementes de tomate, recomenda-se a utilização de concentrações superiores às que foram utilizadas no presente estudo.

Palavras-chave: *Copaifera langsdorffii* Desf; Sementes de tomate; Germinação; Alelopatia.

Abstract

The allelopathic activity of oils acts directly in seedling germination and growth processes, affecting the initial development, since the constitution and the class to which these oils belong are directly related to the harmful effects to the seeds. The present work aimed to analyze the allelopathic effect of copaíba oil on seed germination and initial development of tomato seedlings. The seeds of two lots were placed to germinate in a substrate moistened with 0; 0.01; 0.05; 0.10; 0.15 and 0.20% copaíba oil. 200 tomato seeds were used per treatment, distributed in four replications. Germination, germination speed index and seedling length were evaluated. The germination percentage and the germination speed index of the seeds of the two batches did not differ from each other, however seeds from batch 1 responded positively to the application of copaíba oil. Regarding the length of seedlings, the concentration of 0.01% was higher than the others. With regard to lot 2, the absence of copaíba oil provided a longer seedling length. The concentrations of copaíba oil did not reduce the percentage of germination, germination speed index in a positive way. For the observation of the allelopathic effect of copaíba oil on tomato seeds, it is recommended to use concentrations higher than those used in the present study.

Keywords: *Copaifera langsdorffii* Desf; Tomato seeds; Germination; Allelopathy.

Resumen

La actividad alelopática de los aceites actúa directamente en los procesos de germinación y crecimiento de las plántulas, afectando el desarrollo inicial, ya que la constitución y la clase a la que pertenecen estos aceites están directamente relacionadas con los efectos nocivos sobre las semillas. El presente trabajo tuvo como objetivo analizar el efecto alelopático del aceite de copaíba sobre la germinación de semillas y el desarrollo inicial de plántulas de tomate. Las semillas de dos lotes se colocaron para germinar en un sustrato humedecido con 0; 0,01; 0,05; 0,10; 0,15 y 0,20% de aceite de copaíba. Se utilizaron 200 semillas de tomate por tratamiento, distribuidas en cuatro repeticiones. Se evaluó la germinación, el índice de velocidad de germinación y la longitud de las plántulas. El porcentaje de germinación y el índice de velocidad de germinación de las semillas de los dos lotes no difirieron, sin embargo las semillas del lote 1 respondieron positivamente a la aplicación de aceite de copaíba. En cuanto a la longitud de las plántulas, la concentración de 0.01% fue mayor que las demás. Con respecto al lote 2, la ausencia de aceite de copaíba proporcionó una plántula de mayor longitud. Las concentraciones de aceite de copaíba no redujeron el porcentaje de germinación, índice de velocidad de germinación de manera positiva. Para la observación del efecto alelopático del aceite de copaíba sobre las semillas de tomate, se recomienda utilizar concentraciones superiores a las utilizadas en el presente estudio.

Palabras clave: *Copaifera langsdorffii* Desf; Semillas de tomate; Germinación; Alelopatía.

1. Introdução

Alelopatia, segundo Taiz e Zeiger (2009), é definida como um fenômeno químico ecológico no qual espécies vegetais produzem metabólitos secundários que ao serem liberados no meio podem interferir na germinação, desenvolvimento e adaptação evolutiva de outras plantas. Inúmeros compostos químicos encontrados na natureza são produzidos por plantas ou microrganismos. Tais aleloquímicos apresentam capacidade para uso no combate de endemias na agricultura, prevenindo ou eliminando a contaminação do ambiente, conservando os recursos naturais e promovendo a oferta de produtos agrícolas livres de resíduos contaminantes (Oliveira, 2010). Todavia, no que diz respeito às plantas, efeitos alelopáticos negativos sobre a germinação acarretam desuniformidade, uma vez que são capazes de promover estresse oxidativo e posterior degradação celular, culminando em danos à membrana celular e afetando os processos fisiológicos envolvidos no desenvolvimento inicial das plântulas (Almeida et al., 2008).

Neste contexto, é fundamental ressaltar que a atividade alelopática, por meio de metabólitos secundários, afeta de maneira positiva e/ou negativa no crescimento e desenvolvimento de sistemas biológicos em plantas cultivadas (Silva, 2012). Atualmente, espécies produtoras de óleos são utilizadas em atividades agrícolas, em decorrência de sua ação como inseticida,

fungicida, bactericida e bioherbicida, atuando especialmente como um potente inibidor da germinação de sementes (Souza Filho et al., 2010), em virtude principalmente da elevada volatilidade (Duke et al., 2000).

Estudos fitoquímicos sobre *Copaifera langsdorffii* Desf, demonstraram que metabólitos secundários como taninos, alcaloides e flavonóides glicosídeos são comumente encontrados em plantas desta espécie (Lisboa et al., 2018). Dentre os principais metabólitos com potencial alelopático, os flavonóides estão em maiores quantidades e são capazes de inibir a germinação e o crescimento de plantas (Pereira et al., 2018).

O modelo mais comum de estudar o potencial alelopático de espécies é através de bioensaio usando sementes de espécies indicadores tais como o tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), pois apresenta-se sensível a vários compostos aleloquímicos. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial alelopático do óleo de Copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf) sobre a germinação e crescimento inicial de plântulas de tomate, comumente utilizado como bioindicador (Mabele, Ndong'a, 2019; Valcheva et al., 2019; Melo et al., 2017).

2. Material e Métodos

O perfil químico do óleo foi caracterizado por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG/EM), utilizando um cromatógrafo Agilent 5973 Network Mass Selective Detector, equipado com uma coluna capilar fenilmetilsiloxano a 5% (DB-5), com as dimensões de (30 m x 0,25 mm x 0,25 μ m). O sistema de detecção foi por impacto eletrônico (70 eV), operando em split 2:1 mL min⁻¹. A temperatura da coluna foi programada com temperatura inicial de 40 °C e temperatura final de 300 °C com rampa de 8 °C min⁻¹. As temperaturas do injetor e do detector foram de 250°C e 320 °C, respectivamente. O gás carreador foi o hélio numa vazão de 4,8 mL min⁻¹. A quantidade de amostra injetada foi de 1 μ L (Adams, 2007).

2.1 Bioensaio

O bioensaio foi conduzido no Laboratório de Sementes do Campus Sede da Universidade Estadual de Maringá, no primeiro semestre de 2019. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), com seis concentrações do óleo de Copaíba: 0,0; 0,01; 0,05; 0,10; 0,15 e 0,20% (v/v), quatro repetições e dois lotes de sementes (lote 1: 06108 (validade 01/2021) e lote 2: 054536 (validade12/2019)). Foram utilizadas sementes de tomate de dois lotes comerciais (Topseed Garden®) sendo que o lote 1 corresponde as sementes com maior período de validade, e, portanto, mais novas que as sementes oriundas do lote 2. As emulsões dos óleos nas diferentes concentrações foram preparadas com a adição do óleo, água destilada e 8 gotas de Tween 80; no que se refere ao tratamento controle (0,0%) foi utilizada somente água destilada e Tween 80.

No interior de cada caixa plástica (gerbox) foram semeadas 50 sementes de tomate sobre três folhas de papel para germinação do tipo “germitest” umedecidas com a 4,2 mL da solução correspondente. As caixas foram fechadas e incubadas à temperatura constante de 25°C em uma câmara de germinação modelo B.O.D. As sementes foram submetidas aos seguintes testes: germinação (Brasil, 2009), comprimento de plântulas (Abati et al., 2014) e índice de velocidade de germinação (Maguire, 1962).

Os dados foram analisados no *software* R versão 4.0.2 (R Core Team, 2020), em que os gráficos foram realizados utilizando o pacote *ggplot2* (Wickham, 2016). Para averiguar se houve diferenças significativas entre as concentrações do óleo de Copaíba (%), dentro de cada lote, empregaram-se modelos de regressão em que o quadro da Análise de Variância (ANOVA) foi analisado por meio dos resultados do teste F, em que sendo observadas diferenças significativas realizou-se o teste Tukey de comparações múltiplas. A suposição de normalidade dos erros foi investigada pelo teste Shapiro-Wilk e a hipótese de homogeneidade de variâncias foi verificada por meio do teste de Bartlett. Para identificar possíveis diferenças significativas entre os lotes, em cada uma das concentrações, observou-se os resultados do teste F da ANOVA. Dendrogramas

e Biplots foram realizados com a finalidade de investigar possíveis agrupamentos entre as concentrações do óleo. Em todos os testes adotou-se o nível de 5% de probabilidade.

3. Resultados e Discussão

Um total de 72,89% dos componentes presentes no óleo de copaíba foram identificados sendo a maioria sesquiterpenos (Tabela 1). Tratando-se de um óleo comercial, não obtém-se informações de como foi realizada a extração, Gurgel et al. 2019 atribui as variações na capacidade inibitória e na variação das classes de terpenos às fontes dos óleos (folhas e caules) e não às espécies das quais foram extraídas.

A ação dos óleos no crescimento de plântulas e na germinação não devem ser generalizados, visto que são necessários estudos específicos capazes de definir as dosagens e os principais constituintes presentes em óleos (Souza Filho et al., 2009). Estudos de Komai et al. (1991) indicaram que os maiores índices de inibição alelopática são observados em sesquiterpenos que continham o grupo cetona ou hidroxila, os óleos constituídos de grupo acetato ou somente hidrocarboneto apresentaram atividade alelopática reduzida.

Embora os efeitos biológicos de substâncias aleloquímicas sejam dependentes da concentração e limite de resposta da espécie receptora, a sensibilidade da mesma esta diretamente relacionada aos compostos metabólicos existentes na espécie doadora (Souza Filho et al., 2009). Portanto, tais constituintes metabólicos são parte integrante das interações entre espécies, sejam vegetais ou animais, tendo em vista que promovem a adaptação das plantas ao ambiente (De la Rosa Carrillo et al., 2010). Neste cenário, estudos de Dias et al. (2009) e Kueh et al. (2019) sugerem o cariofileno como um dos principais constituinte dos óleos como potencial alelopático no controle de plantas daninhas.

Tabela 1. Caracterização química (%) do óleo de Copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf).

Nº	^a IR calc.	^A Substância	%	Método de identificação
1	1334	δ-elemento	4,15	a.b.
2	1370	α-copaeno	9,60	a.b.
3	1388	β-elemento	6,12	a.b.
4	1489	B-selineno	1,65	a.b.
5	1507	γ-cadineno	1,99	a.b.
6	1580	óxido de cariofileno	49,38	a.b.
Total			72.89	

^a**IR calculado**- Índice de retenção calculado utilizando *n*-alcanos C₈ – C₂₆ em coluna DB-5 (fenilmetilsiloxane 5%) e comparação dos Índices de Retenção e/ou dos Espectros de Massas com a Literatura (Adams, 2007).

^b**MS**- Identificação baseada na comparação com os espectros de massa da espectroteca Wiley 275 libraries.

^A Compostos listados em ordem de eluição pela coluna DB-5 (fenilmetilsiloxane 5%).
Fonte: Autotes.

Os resultados do teste F revelaram que não houve diferença entre a germinação das sementes nas concentrações de óleo, tanto para o Lote 1 ($F_{5,23}=1,20$, valor-*p* = 0,34), como para o Lote 2 ($F_{5,23}=1,75$, valor-*p* = 0,17). Todavia, Souza Filho et al. (2010) verificaram que extratos de diferentes espécies de *Copaifera* resultam em mais de 50% da inibição da germinação de plantas daninhas, atribui-se efeito mais elevado a extratos pela possível utilização de solventes com maior afinidade (polar ou apolar) com determinados compostos que não são extraídos em óleos.

Os modelos de regressão ajustaram-se satisfatoriamente aos dados ($R^2 > 0,80$) e não houve violação da normalidade dos resíduos (Lote1: valor-*p* = 0,59; Lote2: valor-*p* = 0,06) e nem de homogeneidade de variâncias (Lote1: valor-*p* = 0,84; Lote2: valor-*p* = 0,95), porém não houve efeitos significativos das concentrações do óleo (valor-*p* < 0,05) sobre a germinação das sementes dos dois lotes. Em relação às comparações entre os lotes, verificou-se diferenças significativas entre estes para

cada uma das concentrações do óleo analisadas, notando-se que o Lote 1 apresentou germinação mais elevada que o Lote 2 (Tabela 2).

Tabela 2. Comparações múltiplas do teste de Tukey para a variável Germinação entre as concentrações do óleo e os lotes de sementes.

Lotes	Concentrações do óleo (%)					
	0	0,01	0,05	0,1	0,15	0,20
	Germinação (%)					
1	92,00 Aa	89,50 Aa	88,50 Aa	86,00 Aa	82,00 Aa	85,00 Aa
2	38,50 Ba	42,50 Ba	34,50 Ba	36,00 Ba	51,00 Ba	46,00 Ba

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelos testes F e de Tukey, respectivamente ($p < 0,05$).
Fonte: Autotes.

Tais resultados estão relacionados a viabilidade e a longevidade dos lotes, visto que sementes provenientes de lotes com menor tempo de armazenamento são mais vigorosas e apresentam melhor desempenho no teste de germinação (Marcos-Filho 2015). Além disso, o efeito fitotóxico promovido pelos óleos são mais acentuados em sementes oriundas de lotes de baixo vigor (Domene et al., 2016). Gurgel et al. (2019) apontaram efeito alelopático de óleos de diferentes espécies de *Copaíba* (*Copaifera* sp.) sobre a germinação das sementes de *Mimosa pudica* L. (17,3%) e *Senna obtusifolia* (L.), (18%). Contudo, é primordial destacar que os baixos valores de inibição da germinação são provenientes de diferentes composições químicas e concentrações dos óleos, visto que misturas complexas proporcionam efeitos agudos, sinérgicos ou antagônicos às plantas (Pavela, 2014). Todavia, verificou-se que os extratos etanólico e aquoso da casca de *Pouteria ramiflora* não afetaram a germinação das sementes de alface, mas, afetaram negativamente o crescimento das plântulas desta espécie (Oliveira et al. 2014), corroborando com o resultado do presente estudo.

Não houve diferenças entre o Índice de velocidade de germinação (IVG) das sementes de tomate nas concentrações do óleo, tanto para o Lote 1 ($F_{5,23}=0,97$, valor- $p = 0,46$), como para o Lote 2 ($F_{5,23}=1,88$, valor- $p = 0,14$). Resultados distintos foram observados por Rosado et al. (2009), uma vez que o uso de óleo essencial de manjericão (*Ocimum basilicum* L.), em concentrações de 0,01 e 0,1%, proporcionaram redução do IVG de sementes de tomate.

Os resultados obtidos neste trabalho para a germinação e IVG são explicados pelo potencial osmótico, ou seja o aumento da concentração de óleo diminui a embebição das sementes, e comprometem a germinação (Sert et al., 2017). Nestas circunstâncias, a concentração máxima utilizada no trabalho foi de 0,2%, demonstrando que concentrações inferiores a 1,0% são afetadas pelo efeito osmótico em diversas espécies de plantas (Souza-Filho 2000; Batista et al., 2016).

Em relação às pressuposições dos modelos de regressão ajustados, não se observou problemas na falta de ajuste ($R^2 > 0,87$), para ambos os lotes e não houve violação da normalidade dos resíduos (Lote1: valor- $p = 0,73$; Lote2: valor- $p = 0,21$) e nem de homogeneidade de variâncias (Lote1: valor- $p = 0,68$; Lote2: valor- $p = 0,91$), o qual não se observou efeitos significativos da variável concentrações do óleo (valor- $p < 0,05$). Nota-se diferenças significativas quanto a comparações entre os lotes, e entre estes para cada uma das concentrações do óleo analisadas, o Lote 1 apresenta valores superiores em relação ao Lote 2 (Tabela 3).

Tabela 3. Comparações múltiplas do teste de Tukey para a variável índice de velocidade de germinação entre as concentrações do óleo e os lotes de sementes.

Lotes	Concentrações do óleo (%)					
	0	0,01	0,05	0,1	0,15	0,20
	IVG					
1	5,11 Aa	4,93 Aa	4,87 Aa	4,81 Aa	4,60 Aa	4,71 Aa
2	1,96 Ba	2,24 Ba	1,77 Ba	1,84 Ba	2,72 Ba	2,33 Ba

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelos testes F e de Tukey, respectivamente ($p < 0,05$).

Fonte: Autotes.

De acordo com Weidenhamer et al. (1993), as mudanças na velocidade de germinação estão diretamente relacionadas à classe de compostos monoterpênicos presentes em óleos essenciais e extratos de plantas. Resultados similares observados por Rosado et al. (2009) apontam que o extrato aquoso de manjerição, constituído de 96% de monoterpênicos, promoveram efeito nocivo sobre a qualidade das sementes de tomate, sobretudo, em relação o índice de velocidade de germinação. Tais resultados demonstram que, além do efeito do potencial osmótico e das concentrações, a constituição do extrato e a classe a que pertencem estão diretamente relacionados aos efeitos deletérios às sementes.

Nesta mesma perspectiva, resultados recentes de pesquisa demonstram que a atividade enzimática, bem como a estrutura celular podem ser afetadas pelo uso de óleos, especialmente no que diz respeito ao processo de germinação, índice de velocidade de germinação e crescimento das plântulas (Han et al., 2021). Estudos anteriores apontaram que compostos aleloquímicos produzidos pelas plantas são capazes de suprimir a atividade enzimática de células em plantas receptoras, resultando na produção de espécies reativas de oxigênio e, conseqüentemente, inibindo o crescimento das plântulas.

Por meio do teste F, observou-se diferenças significativas da variável Comprimento de Plântula (cm^{-1}) nas concentrações do óleo, tanto para o Lote 1 ($F_{5,23}=9,48$, valor- $p < 0,05$), como para o Lote 2 ($F_{5,23}=14,16$, valor- $p < 0,05$), sendo assim, para investigar em quais concentrações do óleo tais diferenças foram observadas, aplicou-se o teste Tukey.

No que tange ao Lote 1, que a concentração do óleo de 0,01 % ($4,58 \pm 0,59 \text{ (cm)}^{-1}$) diferiu significativamente das demais (valor- $p < 0,05$), sendo esta a de maior valor expressivo. Em relação ao Lote 2, a concentração do óleo de 0,1 % diferiu significativamente das concentrações 0; 0,01 e 0,15 % de óleo resina de Copaíba (valor- $p < 0,05$) ($1,28 \pm 0,44 \text{ (cm)}^{-1}$), salientando-se que neste lote, a concentração controle do óleo de resina da Copaíba 0 % apresentou o maior valor expressivo ($4,14 \pm 0,34 \text{ cm plântula}^{-1}$). Devido ao comportamento observado nos dados, considerou-se modelos de regressão polinomial de grau três para a análise, o qual se observou efeitos significativos da variável concentrações do óleo % (valor- $p < 0,05$).

Os resultados obtidos no presente trabalho indicaram que a atividade alopatóica, assim como os efeitos estimulantes são observados em baixas concentrações em espécies receptoras (Rice 1984). Nesta mesma perspectiva, Alves et al. (2004) salientam que resultados contrários foram observados em plântulas de alface. Para estes autores maiores concentrações de óleos promovem o efeito inibitório, proporcionando a morte das plântulas.

Quanto às pressuposições dos modelos de regressão ajustados, não se observou problemas na falta de ajuste ($R^2 > 0,90$), para ambos os lotes e não houve violação da normalidade dos resíduos (Lote 1: valor- $p = 0,53$; Lote 2: valor- $p = 0,34$) e nem de homogeneidade de variâncias (Lote 1: valor- $p = 0,20$; Lote 2: valor- $p = 0,96$). No tocante às comparações entre os lotes, verificou-se que as concentrações de 0 e 0,1% do óleo promoveram a formação de plântulas com comprimento distinto das demais. Com relação ao Lote 1, as plântulas apresentaram comprimento superior em relação ao Lote 2 apenas nas concentrações de 0,01 e 0,1% do óleo (Tabela 4).

Tabela 4. Comparações múltiplas do teste de Tukey para a variável Comprimento de Plântula (cm plântula⁻¹) entre as concentrações do óleo e os lotes de sementes.

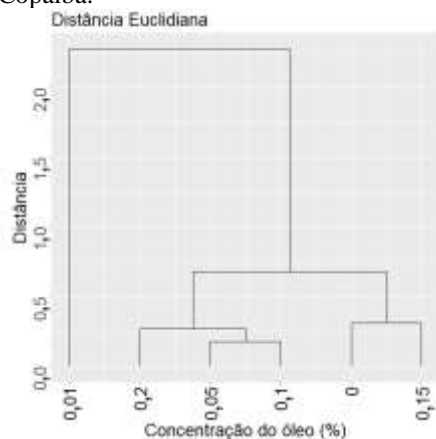
Lotes	Concentrações do óleo (%)					
	0	0,01	0,05	0,1	0,15	0,20
	Médias (cm plântula ⁻¹)					
1	2,65 Ab	4,58 Aa	1,71 Ab	1,91 Ab	2,30 Ab	1,51 Ab
2	4,14 Ba	2,49 Bbc	2,46 Abd	1,28 Ad	3,27 Aab	1,90 Acd

*Médias seguidas da mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelos testes F e de Tukey, respectivamente ($p < 0,05$).
 Fonte: Autotes.

Resultados recentes de pesquisa demonstram que a atividade enzimática, bem como a estrutura celular podem ser afetadas pelo uso de óleos, especialmente no que refere ao processo de germinação, índice de velocidade de germinação e crescimento das plântulas (Han et al., 2021). Estudos anteriores apontaram que compostos aleloquímicos produzidos pelas plantas são capazes de suprimir a atividade enzimática de células em plantas receptoras, resultando na produção de espécies reativas de oxigênio e, conseqüentemente, inibindo o crescimento das plântulas.

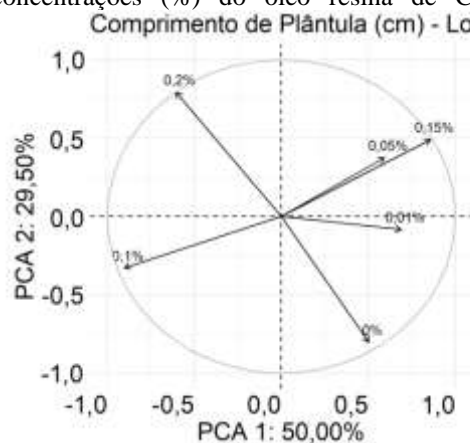
O dendrograma apresentado na (Figura 1) considerando a variável Comprimento de Plântula (cm) no lote 1 indica que dois grupos foram formados, em que a concentração de 0,01% do óleo resina de Copaíba apresenta-se de maneira dissimilar das demais concentrações, sendo estas: 0,05; 0,1; 0,15 e 0,20%, em que tais concentrações formaram outros dois sub-grupos, sendo estes, sub-grupo1: 0,05; 0,1 e 0,20% e sub-grupo2: 0 e 0,15%. Na Análise dos Componentes Principais (PCA) realizada com base na variável Comprimento de Plântula (cm) do lote 1 (Figura 2), verifica-se que os dois primeiros componentes (PC1 e PC2) explicaram 50,00 e 29,50% da variabilidade dos dados (Figura 2).

Figura 1. Dendrograma considerando o Comprimento de Plântula (cm) do lote 1 exposto a diferentes concentrações (%) do óleo resina de Copaíba.



Fonte: Autores.

Figura 2. Biplot considerando o Comprimento de Plântula (cm) do lote 1 exposto a diferentes concentrações (%) do óleo resina de Copaíba.

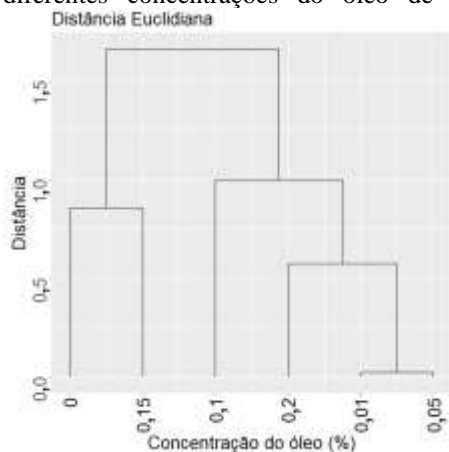


Fonte: Autores.

Na (Figura 3), considerando a variável Comprimento de Plântula (cm), no lote 2, observa-se que dois grupos foram formados, concentrações de 0 e 0,15% do óleo resina de Copaíba se agruparam, indicando que de maneira dissimilar das demais concentrações, sendo estas: 0,01%; 0,05%; 0,1% e 0,2%, em que tais concentrações formaram outro grupo. Os resultados da Análise dos Componentes Principais (PCA) considerando a variável Comprimento de Plântula (cm) e diferentes concentrações do óleo resina de Copaíba, indicaram que para o lote 2, os dois primeiros componentes (PC1 e PC2)

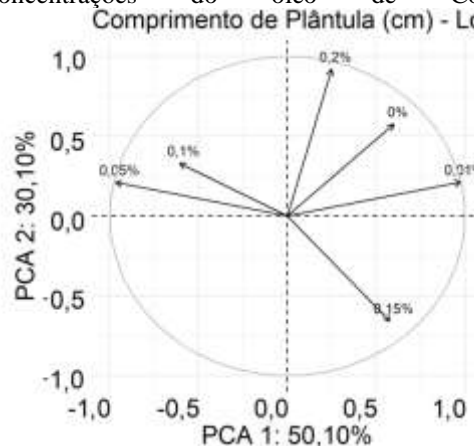
explicaram 50,10% e 30,10% da variabilidade entre as concentrações do óleo. Nota-se uma separação da concentração de 0,15% do óleo resina com as demais concentrações (Figura 4).

Figura 3. Dendrograma considerando o Comprimento de Plântula (cm) do lote 2 exposto a diferentes concentrações do óleo de Copaíba.



Fonte: Autores.

Figura 4. Biplot considerando o Comprimento de Plântula (cm) do lote 2 exposto a diferentes concentrações do óleo de Copaíba.



Fonte: Autores.

4. Conclusão

A porcentagem de germinação e o índice de velocidade de germinação não apresentaram resultados significativos, dentro de cada lote. Em relação ao comprimento de plântulas, a concentração de 0,01% foi considerada a mais expressiva. No que se refere ao lote 2, a ausência do óleo proporcionou um maior comprimento de plântulas. As concentrações de óleo não reduziram a porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação de maneira positiva. Para a observação do efeito alélopático do óleo de copaíba em sementes de tomate, recomenda-se a utilização de concentrações superiores às que foram utilizadas no presente estudo.

Referências

- Abati, J., Zucareli, C., Foloni, J. S. S., Henning, F. A., Brzezinski, C. R., & Henning, A. A. (2014). Treatment with fungicides and insecticides on the physiological quality and health of wheat seeds. *Journal of Seed Science*, 36(4), 392-398.
- Adams, R. P. (2007). *Identificação dos componentes do óleo essencial por cromatografia gasosa / espectrometria de massa* (Vol. 456). Carol Stream, IL: Allured Publishing Corporation.
- Almeida, G. D. et al. Estresse oxidativo em células vegetais mediante aleloquímicos. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 61(1), 4237-4247.
- Alves, M. D. C. S., Medeiros Filho, S., Innecco, R., & Torres, S. B. (2004). Alelopatia de extratos voláteis na germinação de sementes e no comprimento da raiz de alface. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(11), 1083-1086.
- Batista, C. D. C. R., de Oliveira, M. S., Araújo, M. E., Rodrigues, A. M., Botelho, J. R. S., da Silva Souza Filho, A. P., ... & Junior, R. N. C. (2016). Supercritical CO₂ extraction of açai (*Euterpe oleracea*) berry oil: Global yield, fatty acids, allelopathic activities, and determination of phenolic and anthocyanins total compounds in the residual pulp. *The Journal of Supercritical Fluids*, 107, 364-369.
- Bedin, C., Mendes, L. B., Trecento, V. C., & Silva, J. M. S. (2006). Efeito Alelopático de extrato de *Eucalyptus citriodora* na germinação de sementes de tomate (*Lycopersicon esculentum* M.). *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, ano V, (10).
- Brasil. (2010). Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). *Farmacopéia Brasileira*. Brasília: Anvisa, 2010. 545 p.
- Brasil (2009). *Regras para análise de sementes*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS,395.
- De Almeida, G. D., Zucoloto, M., Zetun, M. C., Coelho, I., & Sobreir, F. M. (2008). Estresse oxidativo em Células vegetais mediante aleloquímicos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 61(1), 4237-4247.
- De La Rosa Carrillo, L. A., Alvarez-Parilla, E., & Gonzalez-Aguilar, G. A. (2010). Fruit and vegetable phytochemicals: Chemistry, nutritional value and stability. *Blacwell Publishing Ltd*. Oxford, UK, 2, 3479-3485.

- Dias, J. D. F. G., Miguel, O. G., & Miguel, M. D. (2009). Composition of essential oil and allelopathic activity of aromatic water of *Aster lanceolatus* Willd:(Asteraceae). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 45(3), 469-474.
- Domene, M. P., Glória, E. M. D., Biagi, J. D., Benedetti, B. C., & Martins, L. (2016). Efeito do tratamento com óleos essenciais sobre a qualidade fisiológica e sanitária das sementes de milho (*Zea mays*). *Arquivos do Instituto Biológico*, 83.
- Duke, S. O., Romagni, J. G., & Dayan, F. E. (2000). Natural products as sources for new mechanisms of herbicidal action. *Crop Protection*, 19(8-10), 583-589.
- Ferreira, A. G., & Aquila, M. E. A. (2000). Alelopatia: uma área emergente da ecofisiologia. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 12(1), 175-204.
- Ferreira, G. F.; Borghetti, F. *Germinação: do básico ao aplicado*. Artmed.
- Gniazdowska, A., & Bogatek, R. (2005). Allelopathic interactions between plants. Multi site action of allelochemicals. *Acta Physiologiae Plantarum*, 27(3), 395-407.
- Gurgel, E. S. C., de Oliveira, M. S., Souza, M. C., da Silva, S. G., de Mendonca, M. S., & da Silva Souza Filho, A. P. (2019). Chemical compositions and herbicidal (phytotoxic) activity of essential oils of three *Copaifera* species (Leguminosae-Caesalpinioideae) from Amazon-Brazil. *Industrial Crops and Products*, 142, 111850.
- Han, C., Shao, H., Zhou, S., Mei, Y., Cheng, Z., Huang, L., & Lv, G. Chemical composition and phytotoxicity of essential oil from invasive plant, *Ambrosia artemisiifolia* L. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 211, 111879.
- Komai, K.; Tang, C.S.; Nishimoto, R.K. 1991. Chemotypes of *Cyperus rotundus* in Pacific Rim and inhibitory of their essential oils. *Journal Chemical Ecology*, 17(1): 1-11.
- Kueh, B. W. B., Yusup, S., Osman, N., & Ramli, N. H. (2019). Analysis of *Melaleuca cajuputi* extract as the potential herbicides for paddy weeds. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 11, 36-40.
- Laura, A., Alvarez-Parrilla, E., & González-Aguilar, G. A. (Eds.). (2009). *Fruit and vegetable phytochemicals: Chemistry, nutritional value and stability*. John Wiley & Sons.
- Lisboa, A. J. M., Queiroz, F. J. G., Giotto, A. C., Santos, J. F. D., & Silva, K. C. D. (2018). Análises fotoquímicas de *Copaifera langsdorffii* DESF. *Revista de Divulgação Científica Sena Aires*, 7(3), 208-213.
- Mabele, A. S., & Ndong'a, M. F. O. (2019). Efficacy of guava (*Psidium guajava*) mulch allelopathy in controlling tomato (*Solanum lycopersicum*) weeds. *East African Journal of Agriculture and Biotechnology*, 1(1), 7-11.
- Marcos-Filho, J (2015). *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Abrates.
- Melo, S. C., de Sa, L. E. C., de Oliveira, H. L. M., Trettel, J. R., da Silva, P. S., Gonçalves, J. E. & Magalhães, H. M. (2017). Chemical constitution and allelopathic effects of *Curcuma zedoaria* essential oil on lettuce achenes and tomato seeds. *Australian Journal of Crop Science*, 11(7), 906.
- Oliveira, A. K. de. *Potencial alelopático de espécies arbóreas da Caatinga*. 2010. 63 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.
- Oliveira, A. K., Pereira, K. C., Muller, J. A., & Matias, R. (2014). Análise fitoquímica e potencial alelopático das cascas de *Pouteria ramiflora* na germinação de alface. *Horticultura Brasileira*, 32(1), 41-47.
- Pavela, R. (2014). Acute, synergistic and antagonistic effects of some aromatic compounds on the *Spodoptera littoralis* Boisd.(Lep., Noctuidae) larvae. *Industrial Crops and Products*, 60, 247-258.
- Pereira, J. C., Paulino, C. L. D. A., Granja, B. D. S., Santana, A. E. G., Endres, L., & Souza, R. C. D. (2018). Potencial alelopático e identificação dos metabólitos secundários em extratos de *Canavalia ensiformis* L. *Revista Ceres*, 65(3), 243-252.
- R Core Team. (2020). R: a language and environment for statistical computing. Vienna, AT: R Foundation for Statistical Computing.
- Rice, E.L. (1984). *Allelopathy*. Academic Press, USA. 422pp.
- Rigamonte Azevedo, O. C., Wadt, P. G.S, Wadt, L. H. (2004). *Copaíba: ecologia e produção de óleo-resina*. EMBRAPA, MAPA, 28p.
- Rosado, L. D. S., Rodrigues, H. C. A., Pinto, J. E. B. P., Custódio, T. N., Pinto, L. B. B., & Bertolucci, S. K. V. (2009). Alelopatia do extrato aquoso e do óleo essencial de folhas do manjeriço "Maria Bonita" na germinação de alface, tomate e melissa. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 11(4), 422-428.
- Sert, M. A., & Kokubo, N. T. (2017). Efeito do potencial osmótico na embebição de hidrogel e sementes de soja. *Arquivos do Museu Dinâmico Interdisciplinar*, 21(2), 56-63.
- Silva, P. S. S. (2012). Atuação dos aleloquímicos no organismo vegetal e formas de utilização da alelopatia na agronomia. *Biotemas*, 25(3), 65-74.
- Silva, R. M. G., dos Santos, V. H. M., Borges, F. M., de Melo, F. D. F. Q., & Silva, L. P. (2012). Potencial alelopático e levantamento do banco natural de sementes sob a copa de *Copaifera langsdorffii* Desf. *Bioscience Journal*, 28(4).
- Souza Filho, A. D. S., & Alves, S. D. M. (2000). Potencial alelopático de plantas de acapu (*Vouacapoua americana*): efeitos sobre plantas daninhas de pastagens. *Planta Daninha*, 18(3), 435-441.
- Souza Filho, A. P. D. S., Bayma, J. C., Guilhon, G. M. S., & Zoghbi, M. D. G. B. (2009). Atividade potencialmente alelopática do óleo essencial de *Ocimum americanum*. *Planta daninha*, 27(3), 499-505.

Souza Filho, A. P. S., Gurgel, E. S. C., Queiroz, M. S. M., & Santos, J. U. M. (2010). Atividade alelopática de extratos brutos de três espécies de Copaifera (Leguminosae-Caesalpinioideae). *Planta daninha*, 28(4), 743-751.

Taiz L.; Zeiger, E. (2009). *Fisiologia vegetal*. (4a ed.), Artmed.

Valcheva, E., Popov, V., Marinov-Serafimov, P., Golubinova, I., Nikolov, B., Velcheva, I., & Petrova, S. (2019). A Case Study of Allelopathic Effect of Parsley, Dill, Onion and Carrots on the Germination and Initial Development of Tomato Plants. *Ecologia Balkanica*, 11(1).

Veiga Junior, V. F., & Pinto, A. C. (2002). O gênero copaifera L. *Química Nova*, 25(2), 273-286.

Weidenhamer, J. D., Macias, F. A., Fischer, N. H., & Williamson, G. B. (1993). Just how insoluble are monoterpenes?. *Journal of Chemical Ecology*, 19(8), 1799-1807

Wickham, H. (2016). *ggplot2: elegant graphics for data analysis*. Springer.