

Tópicos especiais em investigação sobre a atividade fitocitogenotóxica de compostos naturais

Milene M. P. Fontes
Loren C. Vasconcelos
org.



2025



Milene Miranda Praça Fontes
Loren Cristina Vasconcelos
Organizadoras

**Tópicos especiais em investigação
sobre a atividade fitocitogenotóxica
de compostos naturais**



Pantanal Editora

2025

Copyright© Pantanal Editora

Editor Chefe: Dr. Alan Mario Zuffo

Editores Executivos: Dr. Jorge González Aguilera e Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

Diagramação: A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos
Profa. MSc. Adriana Flávia Neu
Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior
Profa. MSc. Aris Verdecia Peña
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu
Prof. Dr. Carlos Nick
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos
Prof. MSc. David Chacon Alvarez
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves
Prof. Me. Ernane Rosa Martins
Prof. Dr. Fábio Steiner
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira
Prof. MSc. Javier Revilla Armesto
Prof. MSc. João Camilo Sevilla
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski
Prof. MSc. Lucas R. Oliveira
Prof. Dr. Luciano Façanha Marques
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela
Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez
Profa. MSc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann
Prof. MSc. Marcos Pisarski Júnior
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla
Profa. MSc. Mary Jose Almeida Pereira
Profa. MSc. Núbia Flávia Oliveira Mendes
Profa. MSc. Nila Luciana Vilhena Madureira
Profa. Dra. Patrícia Maurer
Profa. Dra. Queila Pahim da Silva
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)
Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos
Prof. Dr. Tayronne de Almeida Rodrigues
Prof. Dr. Ugur Azizoglu
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca
Prof. MSc. Wesclen Vilar Nogueira
Profa. Dra. Yilan Fung Boix
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

Instituição

OAB/PB
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
UO (Cuba)
IF SUDESTE MG
Facultad de Medicina (Cuba)
ISCM (Cuba)
UFESSPA
UEA
UNEMAT
UFV
AJES
UFGD
UEMS
IFPA
UNICENTRO
IFMT
UFMG
URCA
ISEPAM-FAETEC
IFG
UEMS
UFF
(Colômbia)
UNAM (Peru)
IFRR
UCG (México)
Rede Municipal de Niterói (RJ)
UNMSM (Peru)
UFMT
SED Mato Grosso do Sul
UEMA
IFPR
Tec-NM (México)
Consultório em Santa Maria
UFJF
UEG
FAQ
UNAM (Peru)
SEDUC/PA
IFB
IFPA
UNIPAMPA
IFB
UO (Cuba)
UFMS
UFPI
UFG
UEMA
IFB
Sec. Mun. de Educação, Cultura e Tecnologia de Araripe
Universidade Kayseri, Türkiye
UFPI
FURG
UO (Cuba)
UFT

Conselho Técnico Científico
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior
- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

Catalogação na publicação
Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

T674

Tópicos especiais em investigação sobre a atividade fitocitogenotóxica de compostos naturais /
Organização de Milene Miranda Praça Fontes, Loren Cristina Vasconcelos. – Nova Xavantina-MT:
Pantanal, 2025. 51p. ; il.

Livro em PDF

ISBN 978-65-85756-54-9

DOI <https://doi.org/10.46420/9786585756549>

1. Citogenética. I. Fontes, Milene Miranda Praça (Organizadora). II. Vasconcelos, Loren Cristina (Organizadora). III. Título.

CDD 572.873

Índice para catálogo sistemático

I. Citogenética



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).
<https://www.editorapantanal.com.br>
contato@editorapantanal.com.br

Apresentação

A busca por alternativas sustentáveis e ecologicamente corretas para o manejo de plantas invasoras e a substituição de agrotóxicos tem ganhado cada vez mais relevância na ciência. Neste contexto, os metabólitos secundários de plantas despontam como uma solução promissora, com potencial para atuar como bioherbicidas eficazes e menos prejudiciais ao meio ambiente e à saúde humana.

Este livro apresenta estudos que exploram diferentes aspectos da utilização de compostos vegetais no controle biológico e na biotecnologia. Inicialmente, são analisadas as propriedades do óleo essencial de *Origanum vulgare* e sua atividade fitotóxica. Em seguida, o óleo essencial de *Psidium myrtoides* é avaliado quanto ao impacto sobre a atividade antimutagênica em células vegetais, trazendo uma reflexão sobre a segurança do uso de compostos naturais.

O livro também explora o potencial fitocitogenotóxico da nanoemulsão do óleo essencial de *Syzygium aromaticum*, um estudo inovador que destaca como a nanotecnologia pode aprimorar a eficiência dos compostos bioativos. Além disso, discute-se a cultura de tecidos como ferramenta para a propagação de espécies do gênero *Peperomia*, um grupo de plantas com grande potencial para a indústria de bioprodutos.

Ao reunir essas pesquisas, esta obra proporciona uma visão ampla e interdisciplinar sobre a aplicação de metabólitos vegetais e biotecnologia no desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis. Esperamos que este trabalho contribua para avanços científicos e inspire novas pesquisas no campo da bioprospecção vegetal e do controle biológico.

Boa leitura!

Sumário

Apresentação	4
Capítulo I	6
Potencial bioherbicida do óleo essencial de <i>Origanum vulgare</i>	6
Capítulo II	17
Avaliação da atividade citoprotetora do óleo essencial de <i>Psidium myrtoides</i> O. Berg	17
Capítulo III	27
Prospecção fitoquímica, fitotoxicidade e citogenotoxicidade de nanoemulsões do óleo essencial de <i>Syzygium aromaticum</i> em planta modelo e daninha	27
Capítulo IV	39
Propagação <i>in vitro</i> de espécies de <i>Peperomia</i> visando a extração de óleos essenciais	39
Índice Remissivo	50
Sobre as organizadoras	51

Potencial bioherbicida do óleo essencial de *Origanum vulgare*

 10.46420/9786585756549cap1

Augusto Vinhas Tozani 
Isabelly da Silva Izidio 
Thammyres de Assis Alves 
Thayllon de Assis Alves 
Milene Miranda Praça Fontes 

INTRODUÇÃO

Após a segunda guerra mundial, devido à grande necessidade populacional por alimentos, os herbicidas foram criados com o objetivo de aumentar a produtividade agrícola, controlando pragas e outras espécies vegetais que pudessem competir com o cultivo. Com a utilização incorreta e excessiva destes herbicidas, criaram-se duas grandes problemáticas: a contaminação à saúde humana e ao ambiente; e a resistência que as pragas desenvolvem devido à seleção natural, levando à necessidade de introdução e desenvolvimento de novos herbicidas no mercado (Alves, 2017).

A família Lamiaceae, compreende diversas plantas aromáticas que se destacam, dentre elas o *Origanum vulgare* L. (orégano), cujas potenciais aplicações biológicas de seu óleo essencial têm sido reconhecidas (Blank et al., 2016). Os óleos essenciais são misturas de metabólitos secundários, derivados das plantas, que têm sido utilizados há milhares de anos (Zhou et al., 2021). Esses óleos são compostos por uma mistura variável de terpenóides e hidrocarbonetos de baixo peso molecular, como: álcoois, aldeídos, ácidos, cumarinas, entre outros. Conhecer e identificar a composição química assim como a determinação da cito e fitotoxicidade de extratos vegetais, são etapas importantes para utilização segura nas avaliações da potencialidade biológica dos mesmos (Blank et al., 2016).

Estudos realizados anteriormente, para a caracterização do óleo essencial de *O. vulgare*, descrevem como metabólitos secundários majoritários, α -terpineno, γ -terpineno, linalol, 4-terpineol, timol, carvacrol, o-cimeno e α -terpineol, sendo descritos também por outros autores os compostos: p-cimeno, 1,8 cineol e limoneno. Cada constituinte químico pode variar em proporção, sendo estas frequentemente afetadas por condições ambientais, devido à interface química entre o ambiente circundante e as plantas que ali vivem, podendo assim, resultar em funções citotóxicas e biológicas diferentes (Blank et al., 2016; Borges et al., 2012).

As variações na constituição do óleo essencial de *O. vulgare* têm levado a uma tentativa de classificar a planta em diferentes quimiotipos, de acordo com o seu constituinte principal. Esta variação

é dependente da espécie de orégano utilizada, da altitude em que foi cultivada, da sazonalidade local e de outras características agronômicas (Borges et al., 2012).

Pesquisas e ensaios realizados têm atribuído uma potencial atividade antimicrobiana aos terpenos e seus derivados, muitas vezes devido à capacidade destes compostos de interagirem com diferentes moléculas alvo e funções celulares, como inibição da síntese de ácidos nucleicos, das funções da membrana citoplasmática e do metabolismo energético. Além disso, relatos na literatura demonstraram que o carvacrol, tem sido um importante constituinte associado à citotoxicidade (Blank, et al., 2016; Dunkic et al., 2013). Outra atividade já descrita previamente para o óleo essencial de *O. vulgare* é a antifúngica, que tem sido descrita frente a diversos fungos, especialmente leveduras do gênero *Candida*, além disso, alguns autores vêm utilizando extratos vegetais, incluindo o óleo de *O. vulgare*, em isolados de *M. pachydermatis* e obtendo resultados positivos (Santin et al., 2014).

Portanto, frente à bioatividade previamente descrita, o conhecimento aprofundado sobre o efeito fitotóxico do óleo essencial de *O. vulgare* pode contribuir para o desenvolvimento de novas estratégias para controle de pragas agrícolas, de forma mais sustentável, tornando-se relevante avaliar os efeitos desse óleo essencial, em ensaios fitotóxicos a fim de determinar seu potencial de toxicidade e aplicabilidade como herbicida nos cultivos agrícolas, de pequena e larga escala.

MATERIAL E MÉTODOS

Análises fitotóxicas

O estudo foi conduzido no laboratório de Citogenética e Cultura de Tecidos Vegetais da Universidade Federal do Espírito Santo, Campus Alegre. As soluções utilizadas no experimento, continham o óleo comercial de Orégano da marca DoTerra®, adquirido por revendedora autorizada em Cachoeiro de Itapemirim, ES, garantindo que o mesmo estivesse adequadamente armazenado e selado para preservar suas características originais.

O experimento conduziu a metodologia estabelecida por Alves et al. (2021) e seguiu as seguintes etapas para desenvolvimento das análises fitotóxicas: 5 tratamentos, mais 3 grupos controle. Os tratamentos foram compostos por diferentes concentrações do óleo essencial emulsionado, diluídas com água destilada, respectivamente: T1 – 3000 µg mL⁻¹, T2 – 1500 µg mL⁻¹, T3 – 750 µg mL⁻¹, T4 – 375 µg mL⁻¹ e T5 – 187,5 µg mL⁻¹. Os tratamentos de controle foram respectivamente: controles negativos= água; e água + tween 80% e para o controle negativo foi utilizado o herbicida glifosato 0,1%, sendo este o mais comercializado mundialmente, no lugar de pós-emergente. Para a emulsão do óleo essencial, foram adotados os seguintes componentes e concentrações: 0,5g do óleo essencial de orégano, 0,5g de tween e 100mL de água destilada, o que resultou em uma concentração de 10000 µg L⁻¹ do óleo emulsionado, utilizando-se um aparelho de agitação por meio de ultrassom, para homogeneização.

Como plantas modelos, foram utilizadas sementes comerciais da eudicotiledônea *L. sativa* L. var. Mônica da marca Feltrin (alface) e sementes da monocotiledônea *S. bicolor* L. Moench da marca BRseeds (sorgo), ambas adquiridas em casa rural.

O teste de germinação foi realizado em placas de Petri de 9 cm de diâmetro, esterilizadas com álcool 70%, forradas com papel filtro fino e regadas com 2 mL dos respectivos tratamentos. As placas foram acondicionadas em uma câmara de germinação (BOD) à $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, onde ficaram armazenadas durante o experimento (Alves et al., 2021).

O experimento seguiu a metodologia de Delineamento Inteiramente Casualizado, com cada tratamento sendo constituído por cinco repetições com 25 sementes, em cada placa, sendo feita a mesma metodologia para ambas as espécies modelo, que garantiu condições similares para a germinação em todos os grupos. A germinação das sementes foi avaliada de 8 em 8 horas até completar 48 horas, para análise do índice de velocidade de germinação (IVG) e a porcentagem de germinação foi feita no tempo 48h (G%). Após 48h o comprimento da raiz de cada semente foi aferido para determinar o crescimento radicular (CR) e após 120h as partes aéreas das plântulas foram medidas para determinar o crescimento aéreo (CA) (Alves et al., 2021). Estas observações forneceram dados essenciais para a análise dos resultados obtidos no experimento.

Análises estatísticas

Foram avaliadas e comparadas as taxas de germinação (G%), índice de velocidade de germinação (IVG), crescimento radicular (CR) e aéreo (CA) das amostras obtidas, a fim de observar se há efeitos citotóxicos em comparação aos controles. Os dados obtidos de cada variável foram submetidos à análise de componentes principais (PCA) com uma matriz de correlação e a análise de variância (ANOVA) para verificar a significância das interações entre os fatores, para os fatores qualitativos foi aplicado teste de média pelo teste de Dunnett, o qual é indicado para comparar tratamento com controles, adotando-se o nível de significância de 5% (Alves et al., 2021).

Para se obter a porcentagem de inibição, foi utilizado o controle com água, como 100% para a base do cálculo, fazendo a conversão dos valores obtidos em cada uma das variáveis avaliadas e posteriormente foi calculada a diferença entre este valor e os 100% totais do controle negativo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeitos fitotóxicos sobre Lactuca sativa

O tratamento 1 com a concentração $3000 \mu\text{g mL}^{-1}$, apresentou uma taxa de inibição pré-emergente de 100%, para os parâmetros avaliados que se enquadram neste estágio (G%). Os demais tratamentos apresentaram as seguintes taxas de inibição: T2= 77,76%; T3= 29,92%; os tratamentos 4 e 5 não promoveram inibição significativa comparados ao controle negativo. Nos dois primeiros

tratamentos foi observada uma diminuição da germinação, superior e que difere de todos os controles propostos; o tratamento 3 igualou-se ao controle positivo (Tabela 1).

No parâmetro índice de velocidade de germinação (IVG) os quatro primeiros tratamentos apresentaram uma diminuição, diferindo estatisticamente dos resultados dos controles negativos e positivo. Enquanto o tratamento 5, teve igualdade estatística com o controle positivo (Tabela 1).

Para o crescimento radicular (CR) os dois primeiros tratamentos apresentaram uma taxa de inibição de 100%, indicando também um potencial de ação inibitória pós-emergente em maiores concentrações. Os subsequentes tratamentos apresentaram as seguintes respostas, com relação à porcentagem de inibição do CR: T3= 93,57%; T4= 66,12%; o tratamento 5 não apresentou inibição significativa. Nas observações estatísticas, os três primeiros tratamentos apresentaram inibição superior aos controles negativos e positivo, o tratamento 4 propiciou inibição estatisticamente igual ao controle positivo e o tratamento 5 igualou-se aos controles negativos (Tabela 1 e Figura 1).

Quanto ao efeito das concentrações do óleo essencial de *O. vulgare* no crescimento aéreo (CA), os tratamentos 1 e 2, também apresentaram 100% de inibição neste parâmetro. A partir dos próximos tratamentos, T3 apresentou aproximadamente 90% e os tratamentos 4 e 5 não apresentaram inibição significativa. Quanto às igualdades estatísticas para o crescimento aéreo, as três maiores concentrações apresentaram ação mais efetiva do que o controle positivo, o tratamento 4 igualou-se aos positivos e negativos e o tratamento 5 apresentou igualdade ao controle negativo (Tabela 1).

Tabela 1. A tabela 1 apresenta os dados obtidos através do teste de Dunnett 5% de significância aplicado para as sementes da eudicotiledônea *L. sativa* onde: a = água; b = água + tween 80%; c = glifosato 0,1%, no caso de medidas que seguirem a mesma letra, estas possuem igualdade estatística e na ausência, houve diferença dos controles. Fonte: os autores.

Tratamento	Germinação (%)	IVG	C. Radicular	C. Aéreo
1	0,00	0,00	0,00	0,00 c
2	22,24	0,28	0,00	0,00 c
3	70,08 c	3,95	0,73	0,51 c
4	93,92 ab	7,89	3,89 c	2,81 bc
5	96,16 ab	9,56 c	11,26 ab	3,11b
Água	100,00 a	11,65 a	11,48 a	5,27 a
Água + tween	100,00 b	11,70 b	11,99 b	2,71 b
Glifosato	60,00 c	10,67 c	3,75 c	1,48 c



Figura 1. Plântulas de *L. sativa* após 48h de exposição, dispostas da maior(esquerda) para a menor concentração (direita): 3000 $\mu\text{g/mL}^{-1}$, 1500 $\mu\text{g/mL}^{-1}$, 750 $\mu\text{g/mL}^{-1}$, 375 $\mu\text{g/mL}^{-1}$ e 187,5 $\mu\text{g/mL}^{-1}$, o controle apenas com água destilada, água + tween 80% e glifosato 0,1%. Fonte: os autores.

Efeitos fitotóxicos sobre Sorghum bicolor

O tratamento 1 apresentou uma eficácia inibitória de 100% da germinação, para as sementes de *S. bicolor*. Os tratamentos subsequentes apresentaram as seguintes taxas inibitórias, no parâmetro germinação (G%): T2= 68,88%; T3= 23,56%; as taxas de inibição dos tratamentos 4 e 5 não foram significativas (Tabela 2).

Avaliando o índice de velocidade de germinação (IVG) no tratamento 3 a diminuição foi superior à do controle positivo; o tratamento 4 apresentou redução estatisticamente igual ao controle positivo e no tratamento 5 observou-se igualdade com ambos os controles apresentados (Tabela 2).

O primeiro tratamento apresentou também uma taxa inibitória de 100% do CR, o que indica um potencial de ação inibitória também no contexto pós-emergente, nas concentrações mais altas do óleo testadas. Os tratamentos 2, 3, 4 e 5 apresentaram as seguintes taxas de inibição do CR: T2= 99,98%; T3= 87%; T4= 67% e T5= 53%. Nas análises estatísticas, os tratamentos 1, 2 e 3 apresentaram inibição estatisticamente semelhante com o controle positivo (Tabela 2 e Figura 2).

O efeito dos tratamentos no CA das sementes de *S. bicolor*, em sua mais alta concentração avaliada desempenhou uma taxa de 100% de inibição. Enquanto a inibição de T2 foi 98%; T3 50% e T4 24%. O tratamento 5 não apresentou inibição significativa. As avaliações estáticas deste parâmetro, indicaram que os tratamentos 1 e 2 apresentaram igualdade com o controle positivo (Tabela 2).

As ações exercidas pelo óleo essencial de *Origanum vulgare*, nos parâmetros germinativos pré-emergentes (G%), demonstraram um potencial bioativo de inibição maior que o controle positivo para as sementes de *L. sativa* e *S. bicolor*. Estes resultados, podem ser explicados pelos efeitos fitotóxicos e de inibição, associados aos compostos majoritários presentes no óleo: α -terpineno, γ -terpineno, linalol, 4-terpineol, timol, carvacrol, o-cimeno, α -terpineol, p-cimeno, 1,8 cineol e limoneno (Blank et al., 2016; Alves et al., 2018).

Tabela 2. Dados obtidos através do teste de variância aplicado para as sementes da monocotiledônea *S. bicolor* onde: a = água; b = água + tween 80%; c = glifosato 0,1%, no caso de medidas que seguirem a mesma letra, estas possuem igualdade estatística e na ausência, houve diferença dos controles. Fonte: os autores

Tratamento	Germinação (%)	IVG	C. Radicular	C. Aéreo
1	0,00	0,00	0,00c	0,00c
2	27,68	0,07	0,01c	0,18c
3	68,00	4,08	1,19c	3,86
4	84,64abc	6,21bc	2,94	5,86
5	87,84abc	6,83abc	4,22	7,17ab
Água	88,96a	7,83a	8,96a	7,67a
Água + tween	82,88b	7,43b	5,70b	7,48b
Glifosato	83,54c	6,16c	0,93c	0,28c

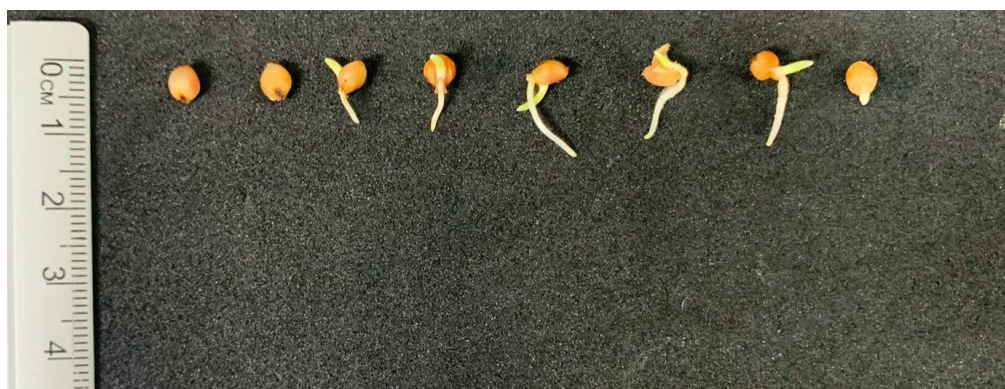


Figura 2. Plântulas de *S. bicolor* após 48h de exposição, dispostas da maior(esquerda) para a menor concentração (direita): 3000 $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$, 1500 $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$, 750 $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$, 375 $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$ e 187,5 $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$, o controle apenas com água destilada, água + tween 80% e glifosato 0,1%. Fonte: os autores.

Em um estudo publicado, avaliando os efeitos de monoterpenos naturais no crescimento de micélios e germinação de conídios em *Corynespora cassiicola*, os autores puderam observar uma maior efetividade na inibição da germinação, para os compostos timol e carvacrol (Romero et al., 2013).

Ensaio de toxicidade realizados anteriormente, demonstraram uma redução dose-dependente, das taxas de germinação de sementes de *L. sativa* e *S. bicolor*, tratadas com diferentes concentrações de carvacrol, um dos componentes de maior presença no óleo de *O. vulgare*. Este composto possivelmente causou a inibição da enzima adenosina trifosfatase (ATPase), como já observado e descrito por (Gill; Holley, 2006), sendo esta, a enzima responsável por catalisar a quebra das moléculas de adenosina trifosfato (ATP) em adenosina difosfato (ADP) + fosfato inorgânico, gerando assim uma queda dos

parâmetros relacionados à germinação em *L. sativa* e *S. bicolor*, visto que a produção de ATP nos processos é essencial para o funcionamento de todos os processos anabólicos nos seres vivos. A enzima ATPase é expressa em todos os tecidos de germinação dos embriões de plantas, pois esta é necessária para permitir o afrouxamento da parede celular e também para o alongamento celular, resultando na extrusão de prótons da célula (Alves et al., 2018).

No estudo citado, também foi verificado um crescimento no número total de alterações cromossômicas, nas células expostas aos tratamentos com carvacrol, o que confirma os resultados observados e descritos por Pinheiro et al. (2015), que demonstraram um potencial de aplicação como bioherbicidas para os compostos estudados.

Os autores Alves et al. (2018) também observaram que o composto timol, presente no óleo de *O. vulgare* apresenta fitotoxicidade em diferentes concentrações, refletida pela inibição na germinação e crescimento das sementes de eudicotiledôneas e monocotiledôneas, o que possui coerência com os resultados observados por Zunino e Zygodlo (2004), que descreveu a inibição causada por timol em monocotiledônea, onde esta, foi resultante da produção de espécies reativas de oxigênio, estimulados pelo composto utilizado, levando também à modificações dos lipídios presentes na membrana, gerando um vazamento de eletrólitos.

Segundo o estudo de Anazetti e Melo (2007), a troca indiscriminada de íons e o vazamento de eletrólitos, induzem uma alteração no balanço do pH celular e na concentração destes íons. Este desequilíbrio pode ser um dos responsáveis pela inibição da síntese de ATP e aumentar a produção de espécies reativas de oxigênio, o que pode causar a ruptura das membranas plasmáticas, resultando em necrose celular (Alves et al., 2018). Os efeitos associados aos compostos majoritários descritos em *O. vulgare* (timol e carvacrol principalmente) nas membranas celulares, pode ser uma das chaves para explicar os mecanismos de ação que caracterizam a bioatividade exercida pelo óleo essencial, nas sementes e plântulas de *L. sativa* e *S. bicolor*. Vapores de compostos monoterpênicos podem causar alterações anatômicas e fisiológicas em plântulas, como observado em estudo proposto por Poser et al. (1996).

As moléculas pertencentes ao grupo dos monoterpenos como o timol, podem apresentar uma atividade alelopática, o que afetaria diretamente os processos de germinação e desenvolvimento da planta. Além destas substâncias serem capazes de afetar os processos fisiológicos, como a síntese de clorofila, fotossíntese, acumulação de lipídios no citoplasma e também a redução no número de organelas, causadas pela ruptura das membranas (Pinheiro et al., 2015).

Estudos utilizando extratos aquosos de diferentes espécies (*Casearia sylvestris* e *Eucalyptus spp.*) que possuem a presença de monoterpenos em sua composição, afirmam que estas, podem ser consideradas alelopáticas devido à inibição da germinação e diminuição do IVG observada para diversas espécies de vegetais (Yamagushi et al., 2011).

A diminuição das taxas de IVG observadas no presente estudo, pode possivelmente ser explicada por este efeito alelopático. Visto que este efeito, em plantas, geralmente se expressa com um retardamento no desenvolvimento das mesmas, e não apenas a quantidade de sementes germinadas (Pinheiro et al., 2015).

A inibição do crescimento radicular de ervas-daninhas é um importante aspecto ecológico, visto que isto pode reduzir a competição da planta a ser cultivada, possibilitando assim o estabelecimento de características de dominância para as espécies vizinhas (Barcelos et al., 2023).

A atividade observada para os CR e CA e também para os parâmetros germinativos (G%, IVG) causada pelo aumento nas concentrações do óleo de *O. vulgare* pode estar relacionada com os efeitos alelopáticos descritos em literatura, associados aos seus componentes majoritários e a sua interferência nos processos de divisão celular, permeabilidade de membrana, ativação e inibição enzimática (Pinheiro et al., 2015).

Apesar dos efeitos de inibição dos crescimentos (CR e CA) terem sido observados para ambas as espécies, fica claro que sua ação se deu mais efetiva nas plântulas da eudicotiledônea *L. sativa* em comparação com as da monocotiledônea *S. bicolor*, respectivamente apresentando taxas de inibição superiores ou equivalentes ao controle positivo nos tratamentos de maior concentração.

Estes resultados entram em concordância com os obtidos para os trabalhos de Amri et al. (2013) e Alves et al. (2018), que descrevem uma maior sensibilidade geral aos monoterpenos, para as eudicotiledôneas e uma resistência para as monocotiledôneas.

Estudos avaliando a ação isolada do composto timol, na germinação e crescimento de diferentes espécies de ervas-daninha, também foram desenvolvidos e os resultados observados foram tão intensos quanto à supressão resultante a partir do herbicida sintético 2,4-D (Kordali et al., 2008).

CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que o óleo essencial de *O. vulgare* possui um significativo potencial inibitório sobre a germinação e o crescimento radicular e aéreo de *L. sativa* e *S. bicolor*. Os tratamentos com as maiores concentrações do óleo essencial apresentaram os maiores índices de inibição em ambos os parâmetros analisados, indicando uma ação fitotóxica significativa.

A presença de compostos majoritários como timol e carvacrol no óleo essencial de *O. vulgare* parece estar diretamente relacionada com seus efeitos inibitórios. Estudos anteriores apontam que essas substâncias podem atuar interferindo na permeabilidade da membrana celular, na síntese de ATP e na ativação ou inibição de enzimas essenciais para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Além disso, efeitos alelopáticos associados a monoterpenos presentes no óleo podem explicar a redução da germinação e do índice de velocidade de germinação observada nos testes.

No que se refere às espécies analisadas, observou-se que *L. sativa* foi mais sensível aos efeitos do óleo essencial, apresentando taxas de inibição superiores ou equivalentes ao controle positivo nos tratamentos de maior concentração. Por outro lado, *S. bicolor*, embora também tenha demonstrado inibição significativa nos tratamentos iniciais, apresentou menor sensibilidade em comparação com a eudicotiledônea *L. sativa*, corroborando estudos prévios que indicam uma maior resistência de monocotiledôneas aos efeitos fitotóxicos de monoterpenos.

Os resultados obtidos reforçam a possibilidade de aplicação do óleo essencial de *O. vulgare* como um potencial bioherbicida natural, uma vez que sua ação inibitória se mostrou comparável a herbicidas sintéticos. No entanto, estudos adicionais são necessários para avaliar a viabilidade da aplicação prática, considerando fatores como seletividade, persistência no ambiente e possíveis impactos ecológicos. A continuidade dessas investigações pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais sustentáveis de manejo de plantas daninhas, reduzindo a dependência de herbicidas sintéticos e seus impactos ambientais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). (Finance Code 001).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, T. A. (2017). Prospecção da toxicidade de fenóis naturais e de seus respectivos derivados ácidos fenoxiacéticos em bioensaios vegetais [Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo].
- Alves, T. A., Pinheiro, P. F., Praça-Fontes, M. M., Andrade-Vieira, L. F., Corrêa, K. B., Alves, T. A., Da Cruz, F. A., Lacerda Júnior, V., Ferreira, A., & Soares, T. C. B. (2018). Toxicity of thymol, carvacrol and their respective phenoxyacetic acids in *Lactuca sativa* and *Sorghum bicolor*. *Industrial Crops and Products*, 114, 59–67.
- Alves, T. de A., et al. (2021). Phytotoxic and cyto-genotoxic activity of essential oil from leaf residues of *Eucalyptus urophylla* and the hybrid *E. urophylla* x *E. camaldulensis* on *Lactuca sativa* and *Sorghum bicolor*. *Research, Society and Development*, 10(11), e242101119646. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19646>
- Amri, I., Hamrouni, L., Hanana, M., & Jamoussi, B. (2013). Revisões sobre efeitos fitotóxicos de óleos essenciais e seus componentes individuais: Nova abordagem para o manejo de plantas daninhas. *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology*, 4, 96–114.

- Anazetti, M. C., & Melo, P. S. (2007). Morte celular por apoptose: Uma visão bioquímica e molecular. *Metrocamp Pesquisa*, 1(1), 37–58.
- Barcelos, F. F., Alves, T. A., Gazolla, P. A., Teixeira, R. R., Queiroz, V. T. de, Praça-Fontes, M. M., Morais, P., Fonseca, V. R., Romão, W., Lacerda Júnior, V., Scherer, R., & Costa, A. V. (2023). Synthesis of novel glycerol-fluorinated triazole derivatives and evaluation of their phytotoxic and cytogenotoxic activities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 95, 1–15.
- Blank, D. E., et al. (2016). Composição química e citotoxicidade de *Origanum vulgare* L. e *Rosmarinus officinalis* L. *Science and Animal Health*, 4(2), 117–130. <https://doi.org/10.15210/sah.v4i2.6569>
- Borges, A. M., et al. (2012). Determinação de óleos essenciais de alfavaca (*Ocimum gratissimum* L.), orégano (*Origanum vulgare* L.) e tomilho (*Thymus vulgaris* L.). *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 14(4), 656–665. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722012000400013>
- Dunkic, V., et al. (2013). Composition and antiviral activity of the essential oils of *Eryngium alpinum* and *E. amethystinum*. *Chemistry & Biodiversity*, 10, 1894–1902. <https://doi.org/10.1002/CBDV.201300061>
- Gill, A. O., & Holley, R. A. (2006). Inhibition of membrane-bound ATPases of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* by plant oil aromatics. *International Journal of Food Microbiology*, 111(2), 170–174. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.04.046>
- Kordali, S., Cakir, A., Ozer, H., Cakmakci, R., Kesdek, M., & Mete, E. (2008). Antifungal, phytotoxic and insecticidal properties of essential oil isolated from Turkish *Origanum acutidens* and its three components, carvacrol, thymol and p-cymene. *Bioresource Technology*, 99(18), 8788–8795.
- Pinheiro, P. F., Costa, A. V., Alves, T. A., Galter, I. N., Pinheiro, C. A., Pereira, A. F., Oliveira, C. M. R., & Praça-Fontes, M. M. (2015). Phytotoxicity and cytotoxicity of essential oil from leaves of *Plectranthus amboinicus*, carvacrol, and thymol in plant bioassays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(41), 8981–8990.
- Poser, G. L., et al. (1996). Aromatic plants from Brazil: 4. Essential oil composition and allelopathic effect of the Brazilian Lamiaceae *Hesperozygis ringens* (Benth.) Epling and *Hesperozygis rhododon* Epling. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44, 1829–1832.
- Romero, A. L., et al. (2013). Efeito de monoterpenos naturais no crescimento micelial e germinação de conídios de *Corynespora cassicola*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 18(1), 3–7. <https://doi.org/10.12661/pap.2013.002>
- Santin, R., et al. (2014). Atividade antifúngica do óleo essencial de *Origanum vulgare* frente a *Malassezia pachydermatis*. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 66(2), 367–373. DOI: 10.1590/1678-41626476
- Yamagushi, M. Q., et al. (2011). Efeito alelopático de extratos aquosos de *Eucalyptus globulus* Labill. e de *Casearia sylvestris* Sw. sobre espécies cultivadas. *Semina: Ciências Agrárias*, 32(4), 1361–1374.

- Zhou, S., et al. (2021). Allelopathic, phytotoxic, and insecticidal effects of *Thymus proximus* Serg. essential oil and its major constituents. *Frontiers in Plant Science*, 12.
- Zunino, M. P., & Zygodlo, J. A. (2004). Effect of monoterpenes on lipid oxidation in maize. *Planta*, 219(2), 303-309. <https://doi.org/10.1007/s00425-004-1216-7>

Índice Remissivo

A

alterações cromossômicas, 12, 20, 22, 23, 29, 34, 36
alterações nucleares, 20, 22, 24, 29, 34
antimutagênico, 19, 22, 23

B

bioatividade, 7, 12, 18

C

calogênese, 44, 46, 49
citotóxico, 28, 30
cravo-da-índia, 28, 32

E

embriogênese somática, 41, 42, 43

F

fitotóxico, 7, 31, 32

H

herbicida, 7, 13, 29, 32

I

índice mitótico, 20, 22, 29, 33, 34

M

micronúcleo, 21, 22

N

nanoemulsão, 4, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35

O

Orégano, 7

P

pré-emergentes, 10
propagação in vitro, 40, 46

R

regulador de crescimento, 41, 43

Sobre as organizadoras



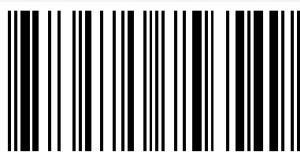
  **Milene Miranda Praça Fontes**

Bióloga, graduada em Ciências Biológicas (2003) na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Mestre (2005) e Doutora (2009) em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Pós-Doutorado (2023) em Citogenética Vegetal na UFV. Atualmente é professora da Universidade Federal do Espírito Santo e realiza pesquisas envolvendo temas em Mutagênese, com o foco em análises de fitotoxicidade e citogenotoxicidade provocadas por substâncias químicas ou do metabolismo secundário de plantas em organismos modelo. Possui 67 artigos publicados em revistas nacionais e internacionais, 214 resumos completos/simples/expandidos, 2 livros e 27 capítulos de livro. É revisor de 18 revistas nacionais e internacionais. Contato: mileneufes@gmail.com



  **Loren Cristina Vasconcelos**

Bióloga, graduada em Ciências Biológicas Licenciatura (2018) na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Mestra (2020) e Doutora (2024) em Genética e Melhoramento na UFES. Atualmente, é professora da Universidade Federal do Espírito Santo e realiza pesquisas sobre o potencial bioherbicida e citogenotóxico de produtos naturais sobre plantas indesejáveis na agricultura. Possui 11 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 34 trabalhos completos, 15 resumos simples/expandidos e 7 capítulos de livros. Contato: loren-vasconcelos@hotmail.com



9786585756549

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000

Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil

Telefone (66) 9608-6133 (Whatsapp)

<https://www.editorapantanal.com.br>

contato@editorapantanal.com.br

