AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ACARICIDA DA NANOEMULSÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DE CAPIM-LIMÃO SOBRE *Tetranychus urticae*

Thayne da Rocha Braz[1], Ana Beatriz Mamedes Piffer Holtz[2], Plúcia Franciane Ataíde Rodrigues[3], Selma Garcia Holtz[1], Patricia Soares Furno Fontes[1], Hildegardo Seibert França[4], Anderson Mathias Holtz[1].

[1]Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Itapina, 29717-000, Colatina-ES, Brasil, thaynerochabraz@gmail.com, selma.holtz@ifes.edu.br, patricia.fontes@ifes.edu.br, anderson.holtz@ifes.edu.br.
[2]Universidade Federal do Viçosa – Campus Viçosa, 36570-900, Viçosa-MG, Brasil, ana.piffer123@gmail.com.
[3]Universidade Federal do Espírito Santo – Campus Goiabeiras, 29075-910, Vitória-ES, Brasil, pluciargds12@gmail.com.
[4]Instituto Federal do Espírito Santo – Campus Vila Velha, 29106-010, Vila Velha-ES, Brasil, hildegardo.franca@ifes.edu.br.

Resumo
O ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) é uma praga de ampla distribuição e elevada capacidade de desenvolver resistência a acaricidas sintéticos, tornando necessária a busca por alternativas sustentáveis. Este estudo avaliou o potencial acaricida de uma nanoemulsão do óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon flexuosus*) contra fêmeas adultas de *T. urticae*. A análise por CG-MS identificou o citral como composto majoritário (69,09%). A nanoemulsão foi preparada por emulsificação de baixa energia e caracterizada físico-quimicamente. Nos bioensaios por contato, foram testadas concentrações de 0,030% a 0,35% (v/v). Após 72 h, a análise Probit estimou CL_{50} de 0,013% e CL_{90} de 0,097% (v/v). A maior parte da mortalidade ocorreu nas primeiras 12 h, alcançando 100% de mortalidade na concentração de 0,35% em 36 h. Os resultados demonstram a elevada eficácia da nanoemulsão, indicando seu potencial como biopesticida botânico para o manejo sustentável do ácaro-rajado no contexto do Manejo Integrado de Pragas (MIP).

Palavras-chave: *Cymbopogon flexuosus*. Ácaro rajado. Composto majoritário. Controle alternativo.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias – Agronomia.

Introdução

O avanço e a intensificação da produção agrícola global tornaram o controle de artrópodes-praga uma prática essencial para garantir a produtividade e a segurança alimentar. No entanto, o manejo fitossanitário tem sido historicamente dependente do uso contínuo e indiscriminado de agrotóxicos químicos sintéticos (Belchior *et al*., 2017). Essa dependência acarreta severas consequências ecológicas e sanitárias, incluindo o desequilíbrio de ecossistemas agrícolas, a contaminação de recursos hídricos e do solo, a intoxicação de trabalhadores rurais e a eliminação de inimigos naturais não-alvo (Oaya *et al*., 2019; Silva *et al*., 2022).

Dentre as pragas agrícolas mais prejudiciais, destaca-se o ácaro-rajado (*Tetranychus urticae* Koch), uma espécie fitófaga extremamente cosmopolita capaz de infestar mais de 1100 espécies vegetais, provocando perdas severas no rendimento e na qualidade das culturas (Rincón *et al*., 2019). Sob condições térmicas ótimas de desenvolvimento (entre 25 ºC e 30 ºC), *T. urticae* possui um ciclo de vida curto (três a cinco dias) e uma altíssima taxa reprodutiva, potencializada pelo mecanismo de partenogênese arrenótoca, o que confere à espécie uma extraordinária plasticidade evolutiva. Consequentemente, fêmeas adultas já desenvolveram resistência estabelecida contra mais de 90 princípios ativos em mais de 80 países, o que inviabiliza muitas das estratégias tradicionais de controle químico.

Diante desse cenário crítico, o Manejo Integrado de Pragas (MIP) preconiza a busca por alternativas de controle botânico eficientes, sustentáveis e seguras (Wiesbrook, 2004). O uso de óleos essenciais

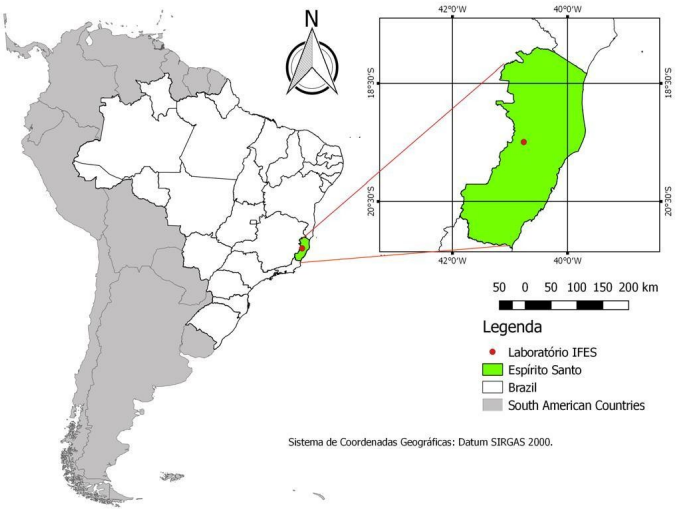
(OEs) destaca-se nessa vertente, pois essas misturas complexas de metabólitos secundários exibem múltiplos mecanismos de ação simultâneos, reduzindo expressivamente a probabilidade de seleção de resistência. O óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon flexuosus*) apresenta notável potencial biológico, possuindo como princípio ativo principal o citral, uma mistura isomérica de geranial e neral com reconhecido efeito acaricida e inseticida (Guimarães *et al*., 2011; Oladeji *et al*., 2019).

Apesar do alto potencial biológico do óleo essencial de *C. flexuosus*, sua transposição para o campo enfrenta desafios operacionais devido à elevada volatilidade, insolubilidade em meio aquoso e instabilidade físico-química dos monoterpenos na presença de oxigênio, umidade e calor. Para superar tais limitações, a associação da nanotecnologia ao desenvolvimento de defensivos botânicos surge como uma abordagem inovadora. As nanoemulsões são sistemas coloidais estáveis formados por gotículas nanométricas que promovem o encapsulamento espacial do ingrediente ativo, reduzindo drasticamente sua taxa de evaporação, melhorando a solubilidade em água e facilitando a penetração cuticular nas pragas-alvo (McClements, 2012; Ortiz-Zamora *et al*., 2020). Desse modo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial acaricida e a dinâmica de sobrevivência da nanoemulsão do óleo essencial de capim-limão (*C. flexuosus*) contra fêmeas adultas de *T. urticae* sob condições de laboratório.

Metodologia

O estudo foi realizado no laboratório de Entomologia e Acarologia Agrícola do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Itapina (Figura 1).

Figura 1 - Mapa geográfico da posição do Instituto Federal do Espírito Santo - Campus Itapina (IFES Campus Itapina).



Fonte: Adaptado de Marchiori *et al*. (2023).

Os experimentos de bioensaio e criação de ácaros foram, sob condições controladas de laboratório. A caracterização química e a formulação da nanoemulsão foram realizadas em colaboração com o Laboratório de Desenvolvimento de Bioprodutos do IFES – Campus Vila Velha.

A colônia de *T. urticae* foi estabelecida a partir de folíolos infestados coletados em campo, os quais foram mantidos em contato com mudas saudáveis de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) para propiciar a migração e multiplicação sob temperatura de 25 ± 1 ºC, umidade relativa de 70 ± 10% e fotoperíodo de 12 h. Mudas novas de feijão-de-porco foram fornecidas semanalmente para assegurar a turgidez foliar e a nutrição adequada das colônias.

O óleo essencial de capim-limão (*C. flexuosus*) foi adquirido comercialmente e caracterizado quimicamente por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-MS) utilizando um equipamento Agilent 7890B operando a 70 eV por impacto eletrônico, com coluna capilar HP-5 (30 m × 250 µm × 0,25 µm). O forno foi programado para iniciar em 40 ºC com taxas crescentes até 310 ºC. Os índices de Kovats foram calculados com base em uma série homóloga de n-alcanos (C10–C40), e os espectros de massas foram correlacionados com a biblioteca NIST e literatura de referência.

A nanoemulsão de óleo essencial de *C. flexuosus* foi preparada empregando-se o método de emulsificação de baixa energia com vórtex, adaptado de Ortiz-Zamora *et al*. (2020). Inicialmente, preparou-se a fase oleosa constituída pelo óleo essencial e pela mistura de tensoativos, mantendo uma concentração constante de 5% (p/p) de óleo essencial de capim-limão, com concentrações totais de tensoativos avaliadas em 15% e 20% (p/p) para determinação do Equilíbrio Hidrofílico-Lipofílico Requerido (EHLr). A mistura de fase oleosa e tensoativos foi homogeneizada por 2 min em agitador tipo vórtex (VX-38-BI). Posteriormente, adicionou-se lentamente e de forma gota a gota a fase aquosa (água destilada), sob agitação vórtex contínua. Ao final do gotejamento, o sistema permaneceu em vórtex por mais 2 min para assegurar a obtenção de gotículas estáveis em escala nanométrica. As nanoemulsões foram monitoradas quanto à estabilidade macroscópica nos dias 0, 17 e 34 após o preparo. As formulações estáveis foram caracterizadas quanto ao diâmetro hidrodinâmico médio das gotículas, índice de polidispersidade (PDI) e potencial zeta por espalhamento dinâmico de luz (DLS), utilizando equipamento Litesizer 500® (Anton Paar).

Para a avaliação da atividade acaricida, foram conduzidos bioensaios de contato utilizando fêmeas adultas de *T. urticae* de idade uniforme. As arenas experimentais consistiram em placas de Petri (10,0 × 1,2 cm) contendo discos foliares de feijão-de-porco (4 cm de diâmetro) assentados sobre algodão umedecido para manter a turgescência da folha e impedir a fuga dos ácaros. Foram transferidas 10 fêmeas adultas para cada arena, sendo utilizadas 10 repetições por tratamento (n = 100). A nanoemulsão foi diluída para atingir as concentrações de 0,030; 0,059; 0,078; 0,112; 0,185 e 0,35% (v/v). O tratamento controle consistiu em água destilada. A pulverização foi realizada utilizando-se aerógrafo modelo Alfa 2 acoplado a um compressor calibrado à pressão constante de 1,3 bar, aplicando-se 1 mL da solução por repetição. As placas foram mantidas em câmaras climatizadas do tipo B.O.D. a 25 ± 1 ºC, UR de 70 ± 10% e fotofase de 12 h.

As avaliações de mortalidade foram conduzidas nos intervalos de 12, 24, 36, 48, 60 e 72 h após a pulverização. Os ácaros que não reagiram ao estímulo mecânico de um pincel de cerdas finas foram computados como mortos. A mortalidade foi corrigida pela fórmula de Abbott. Os dados de 72 h foram submetidos à análise de regressão Probit para estimativa dos valores de CL50 e CL90. A dinâmica temporal de mortalidade foi analisada por meio da análise de sobrevivência, comparando-se as curvas de sobrevivência pelo teste de log-rank no software estatístico R, versão 4.3.2.

Resultados

A análise cromatográfica revelou a prevalência de monoterpenos oxigenados no óleo essencial de *C. flexuosus*. O constituinte majoritário identificado foi o citral (69,09% da área total), constituído pelos isômeros geranial (38,32%) e neral (30,77%). Também foram encontrados geraniol (5,18%) e acetato de geranila (4,42%), conforme especificado detalhadamente na Tabela 1.

Tabela 1 – Composição química relativa do óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* , com identificação dos principais terpenoides.

Nome do composto	**Grupo de metabólitos secundários**	**Área relativa (%)**
		C. flexuosus
Geranial	Terpenoides	38,317
Neral	Terpenoides	30,767
Geraniol	Terpenoides	5,176
Geranyl acetate	Terpenoides	4,424

Tabela 2 - Análise Probit da mortalidade cumulativa às 72 h após o tratamento, incluindo CL_{50}, CL_{90}, inclinação e intervalos de confiança de 95% para a nanoemulsão de óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon flexuosus*) contra *Tetranychus urticae*.

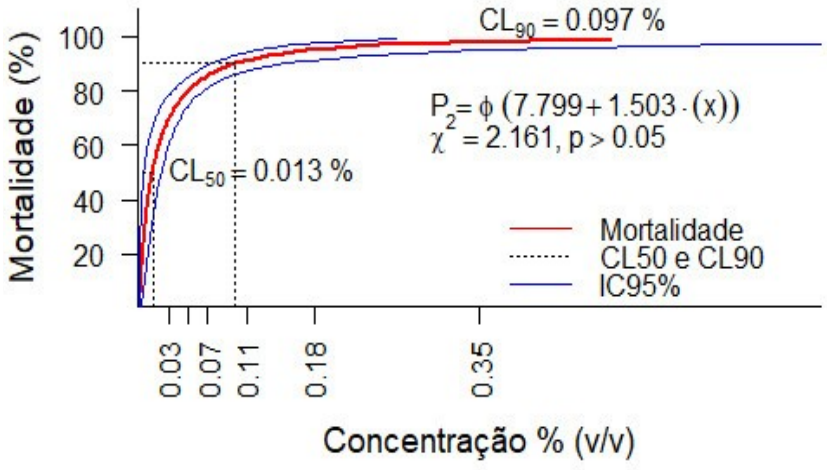
N	Inclinação (±EP)	CL50 (IC95) v/v	CL90 (IC95) v/v	χ^2	GL	p-valor
700	7.799 (0.185)	0.013 (0,004 - 0.022)	0.097 (0.074 - 0.149)	2.161	5	>0.05

Fonte: Autores (2026).

A nanoemulsão à base de OE de *C. flexuosus* apresentou atividade acaricida dependente da concentração contra fêmeas adultas de *T. urticae*. Com base na mortalidade cumulativa registrada 72 h após a aplicação, a análise Probit estimou uma CL_{50} de 0,013% (v/v) e uma CL_{90} de 0,097% (v/v) (Tabela 2; Fig. 1).

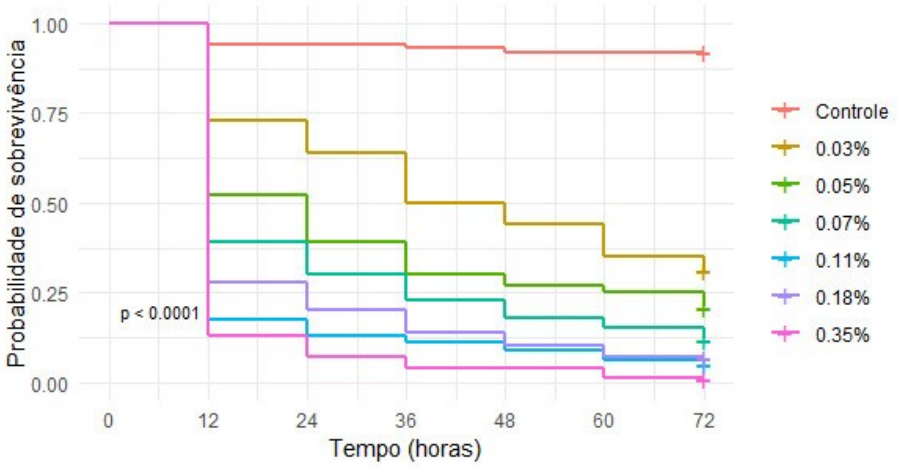
A elevada eficácia observada, mesmo em concentrações extremamente baixas, pode ser atribuída à tecnologia de nanoemulsificação. A redução das gotículas de óleo para a escala nanométrica aumenta a área de superfície específica e melhora a dispersão dos compostos hidrofóbicos em fase aquosa. Conforme discutido por McClements (2012), esse sistema coloidal cineticamente estável otimiza a entrega do ingrediente ativo, facilitando a penetração cuticular e a biodisponibilidade nas pragas-alvo.

Figura 1 - Curva Probit de concentração-mortalidade para a nanoemulsão de óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon flexuosus*) contra *Tetranychus urticae*, com base na mortalidade cumulativa registrada 72 h após o tratamento. A figura apresenta os valores estimados de CL_{50} e CL_{90} e seus respectivos intervalos de confiança de 95%.



Fonte: Autores (2026).

Figura 2 - Dinâmica da mortalidade de *Tetranychus urticae* sob diferentes concentrações da nanoemulsão de óleo essencial de *Cymbopogon flexuosus* ao longo de 12, 24, 36, 48, 60 e 72 h.



Fonte: Autores (2026).

Na análise de sobrevivência (Fig. 2), a mortalidade ocorreu de forma acelerada, principalmente nas primeiras 12 h após a aplicação direta. A concentração mais elevada (0,35% v/v) resultou em quase 100% de mortalidade em apenas 36 horas. A análise estatística pelo modelo de riscos proporcionais de Cox confirmou um efeito significativo entre os tratamentos (log-rank = 458; $p < 0,0001$), evidenciando que o incremento da concentração reduz drasticamente a longevidade dos ácaros.

Discussão

Durante os bioensaios, observou-se que os indivíduos expostos à nanoemulsão apresentaram deformações físicas severas, com aspecto flácido e "derretido" sobre a superfície foliar logo após a pulverização. Esse efeito pode estar relacionado à ação do citral (69,09%), principal componente do óleo de *Cymbopogon flexuosus*. Por sua natureza lipofílica e reativa, o citral pode interagir com os lipídios da cutícula do ácaro, comprometendo a integridade do tegumento e favorecendo a dessecação. Esse efeito, associado à possível obstrução dos espiráculos pelas gotas da nanoemulsão, contribui para o rápido colapso e a mortalidade observada nas maiores concentrações, conforme discutido por Rincón *et al*. (2019) e *et al*. (2018).

A elevada eficácia da nanoemulsão, mesmo em baixas concentrações, também pode estar relacionada à redução do tamanho das gotículas, que aumenta a área superficial do óleo e favorece sua dispersão e contato com os ácaros. Além disso, a estrutura nanoemulsionada pode reduzir a rápida volatilização dos compostos, prolongando sua persistência sobre as folhas. Segundo Kaur *et al*. (2021), sistemas nanoestruturados podem aumentar a persistência dos compostos no dossel e favorecer o contato residual na face abaxial, região preferencial de colonização de *T. urticae*.

Portanto, os resultados demonstram o elevado potencial da nanoemulsão de *C. flexuosus* como biopesticida botânico para o controle sustentável do ácaro-rajado no Manejo Integrado de Pragas. Entretanto, são necessários estudos em condições de campo para confirmar sua eficácia sob diferentes condições ambientais e avaliar sua viabilidade prática.

Conclusão

A nanoemulsão à base de óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon flexuosus*) demonstrou efeito acaricida crescente sobre o ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) em condições controladas de laboratório.

Referências

ABBOTT, W. S. A method of computing the effectiveness of an insecticide. **Journal of Economic Entomology**, v. 18, n. 2, p. 265-267, 1925 [18, p. 537].

BELCHIOR, D. C. V. *et al*. Impactos de agrotóxicos sobre o meio ambiente e a saúde humana. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 135-151, 2017 [18, p. 557].

GUIMARÃES, L. G. L. *et al*. Atividades antioxidante e fungitóxica do óleo essencial de capim-limão e do citral. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 464-472, 2011 [18, p. 558].

KAUR, H. *et al*. Chemical composition and antifungal potential of citronella (Cymbopogon nardus) leaves essential oil and its major compounds. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 24, n. 4, p. 571-581, 2021.

MAR, J. M. *et al*. *Lippia origanoides* essential oil: An efficient alternative to control *Aedes aegypti*, *Tetranychus urticae* and *Cerataphis lataniae*. **Industrial Crops and Products**, v. 111, p. 292-297, 2018 [18, p. 559].

MCCLEMENTS, D. J. Nanoemulsions versus microemulsions: Terminology, differences, and similarities. **Soft Matter**, v. 8, n. 6, p. 1719-1729, 2012 [18, p. 559].

OAYA, C. S. *et al*. Impact of synthetic pesticides utilization on humans and the environment: An overview. **Agricultural Science & Technology**, v. 11, n. 4, p. 279-286, 2019 [20, p. 566].

OLADEJI, O. S. *et al*. Phytochemistry and pharmacological activities of *Cymbopogon citratus*: A review. **Scientific African**, v. 6, p. e00137, 2019 [18, p. 559].

ORTIZ-ZAMORA, L. *et al*. Preparation of non-toxic nano-emulsions based on a classical and promising Brazilian plant species through a low-energy concept. **Industrial Crops and Products**, v. 158, p. 112989, 2020 [18, p. 559].

PIFFER, A. B. M.; HOLTZ, A. M.; NETO, V. B.; de PAULA MARCHIORI, J. J. *et al*. Can soil conditioners of plant origin be used for pest control? **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, v. 21, n. 10, p. 15883-15900, 2023 *(Nota: Esta é a referência real do mapa adaptado de Marchiori et al., 2023, no qual o pesquisador de Paula Marchiori é coautor)* [17, p. 525].

R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2023 [18, p. 560].

RINCÓN, R. A.; RODRÍGUEZ, D.; COY-BARRERA, E. Botanicals against *Tetranychus urticae* Koch under laboratory conditions: A survey of alternatives for controlling pest mites. **Plants**, v. 8, n. 8, p. 272, 2019 [18, p. 560].

SILVA, T. H. C. *et al*. O uso indiscriminado de agrotóxicos na agricultura, seus impactos na saúde do trabalhador rural e a consequente responsabilidade civil no Brasil. **Revista de Direito Sanitário**, v. 22, n. 2, p. e0007, 2022 [20, p. 566].

WIESBROOK, M. L. Natural indeed: are natural insecticides safer and better than conventional insecticides? **Illinois Pesticide Review**, v. 17, n. 3, p. 1-8, 2004 [18, p. 561].

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (Fapes), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) pelo apoio e concessão de bolsas de pesquisa.