

ÓLEOS ESSENCIAIS DE PIPER L. (PIPERACEAE) E SUA APLICAÇÃO BIOTECNOLÓGICA NA AGRICULTURA: UMA REVISÃO DA LITERATURA

Deivisson Wolf Rodrigues¹ Universidade do vale do itajaí
Deivisson@univali.br**João Arthur dos Santos Oliveira²** Universidade Estadual de Maringá
Joaoarthur_oliveira@hotmail.com**Resumo**

A família Piperaceae, é uma família de plantas que está distribuída em regiões tropicais e subtropicais, com cerca de 3.700 espécies. O gênero *Piper* sp. vêm destacando-se na área da química e prospecção biotecnológica por apresentarem-se capazes de produzir óleos essenciais com potencial biotecnológico para o ramo da saúde e agricultura. Considerando as problemáticas ambientais e de saúde que envolvem o uso excessivo de defensivos agrícolas e o crescente anseio de alternativas mais sustentáveis para frear os efeitos adversos no ambiente, realizamos uma revisão da literatura acerca da prospecção biotecnológica de óleos essenciais obtidos de espécies do gênero *Piper* L. para o setor agrícola. A pesquisa dos trabalhos científicos foi realizada por meio das plataformas online Portal CAPES, SciELO, Science Direct e Google Acadêmico. Diferentes espécies de *Piper* sp. foram descritas produzindo óleos essenciais com aplicação biotecnológica visando o setor agrícola, destacando-se as atividades antifúngica contra *Fusarium* sp. e *Colletotrichum* sp., ovicida contra *Anticarsia gemmatilis*, inseticida contra *Callosobruchus maculatus*, acaricida contra *Tetranychus urticae* e nematocida sobre *Meloidogyne javanica*. As atividades apresentadas pelos óleos essenciais provenientes de *Piper* sp. estão atribuídos a diversidade de seus constituintes químicos representados em particular por terpenoides, taninos, flavonoides e polifenóis. Acreditamos que os óleos essenciais produzidos pelas espécies de *Piper* sp. estudadas até então, apresentam-se como uma alternativa *eco-friendly* para o setor agrícola possibilitando a redução do consumo e aplicação de agrotóxicos e derivados.

Palavras-chave: Prospecção biotecnológica; *eco-friendly*; setor agrícola.

ESSENTIAL OILS FROM *PIPER* L. (PIPERACEAE) AND THEIR BIOTECHNOLOGICAL APPLICATION IN AGRICULTURE: A LITERATURE REVIEW**Abstract**

The Piperaceae family is a plant family that is distributed in tropical and subtropical regions, with about 3.700 species. The genus *Piper* sp. has been standing out in the area of chemistry and biotechnological prospection for being capable of producing essential oils with biotechnological potential for health and agriculture fields. Considering the environmental and health problems involving the excessive use of pesticides and the growing desire for more sustainable alternatives to mitigate adverse effects on the environment, we carried out a literature review on biotechnological prospection of essential oils obtained from species of the genus *Piper* L. for the agricultural sector. The research of scientific works was carried out through the online platforms Portal CAPES, SciELO, Science Direct, and Academic Google. Different species of *Piper* sp. were described producing essential oils with biotechnological application aimed at the agricultural sector, highlighting the antifungal activities against *Fusarium* sp. and *Colletotrichum* sp., ovicide against *Anticarsi agemmatalis*, insecticide against *Callosobruchus maculatus*, acaricide against *Tetranychus urticae*, and nematocide against *Meloidogyne javanica*. The activities presented by essential oils from *Piper* sp. are attributed to the diversity of its chemical constituents represented in particular by terpenoids, tannins, flavonoids, and polyphenols. We believe that essential oils produced by *Piper* sp. studied so far, present themselves as an eco-friendly alternative for the agricultural sector, enabling the reduction of consumption and application of pesticides and derivatives.

Keywords: Biotechnological prospection; *eco-friendly*; agricultural sector.

1. INTRODUÇÃO

Os defensivos agrícolas, conhecidos popularmente como agrotóxicos, fazem parte de uma problemática de saúde pública da atualidade, por afetarem direta ou indiretamente os agricultores que trabalham nos sistemas de produção e, conseqüentemente, os consumidores dos produtos (RIGOTTO; VASCONSELOS; ROCHA, 2014; LEE; CHOI, 2020; RANI et al. 2021). Além da contaminação ambiental, intoxicações alimentares e o surgimento de doenças crônicas são exemplos de problemas gerados pelo uso excessivo destes agroquímicos (LOPES; ALBUQUERQUE, 2018).

Em 2004, Schulz (2004), estimou que cerca de 10% dos agrotóxicos aplicados atingem áreas não-alvo, ou seja, regiões que inicialmente não foi realizada a aplicação direta

destes produtos. De acordo com dados da FAO (*Food and Agriculture Organization of the United States*), a aplicação mundial destes defensivos agrícolas aumentou 3% entre os anos de 2015 a 2019, com uma diferença de uso de aproximadamente 63 mil toneladas usadas. Considerando que a aplicação em 2004 saltou de 3,3 milhões de toneladas para 4,1 milhões em 2019 (FAO, 2021), acreditamos que as áreas atingidas indiretamente por estes defensivos químicos tenham aumentado.

A presença destes agrotóxicos no ambiente traz diversos prejuízos aos ecossistemas e a saúde humana (SALVAGNI et al. 2011; SABARWAL et al. 2018; PORTER et al. 2018), assim, na busca por produtos naturais que mitiguem essas problemáticas, o uso de óleos essenciais com propriedades biotecnológicas importantes para o setor

agrícola como atividades antimicrobianas, inseticidas, e outras, são de extrema valia tornando-os uma alternativa de menor impacto ambiental quando comparado com outros produtos de origem sintética (OOTANI et al. 2013; BIZZO et al. 2009; HERMAN et al. 2019).

Produzidos em diferentes partes da planta, os óleos essenciais são caracterizados como compostos aromáticos e voláteis, gerados no metabolismo secundário vegetal, constituídos principalmente por terpenos e fenilpropanoides (KNAAK; FIUZA, 2010).

Naturalmente são produzidos com a finalidade de proteção, atração de polinizadores, controle osmótico e de temperatura foliar (WOLFFENBÜTTTEL, 2019), entretanto, podem ser amplamente utilizados na indústria cosmética/perfumaria, alimentícia na forma de aditivos alimentares, no setor farmacêutico, entre outros, além de seu crescente uso na aromaterapia (RAUT; KARUPPAYIL, 2014).

A família Piperaceae, é uma família de plantas que está distribuída em regiões tropicais e subtropicais, com cerca de 3.700 espécies descritas e agrupadas em cinco principais gêneros: *Macropiper*, *Zippelia*, *Manekia*, *Peperomia* e *Piper*, sendo os três últimos recorrentes na Amazônia e Mata Atlântica (BRITO; PEREIRA, 2019). No Brasil, o gênero *Piper* L. é considerado o quinto mais diverso, com aproximadamente 291 espécies (MELO; ALVES, 2019).

Espécies do gênero *Piper* vêm destacando-se em pesquisas na área da química

e prospecção biotecnológica por apresentarem-se capazes de produzir metabólitos secundários e óleos essenciais com potencial biotecnológico para a agricultura (OLIVEIRA et al. 2020) como atividade antimicrobiana contra fitopatógenos (CHANPRAPAI et al. 2017; VALADARES et al. 2018), inseticida e repelente (BRÚ et al. 2016), ovicida (KRINSKI et al. 2018), acaricida (ARAÚJO et al. 2012), entre outras.

Os óleos essenciais são produtos naturais com uma grande diversidade química que podem ser aplicados em diferentes áreas, especialmente na área da agricultura. Cada vez mais, se intensifica a busca por alternativas *eco-friendly* que contribuam com o meio ambiente, possibilitando a redução do consumo e aplicação de agrotóxicos e derivados. Diante desta perspectiva, realizamos uma revisão da literatura acerca da prospecção biotecnológica

de óleos essenciais obtidos de espécies do gênero *Piper* L. no setor agrícola como alternativa sustentável aos produtos xenobióticos de origem sintética.

2. METODOLOGIA

A pesquisa dos trabalhos científicos foi realizada por meio das plataformas online Portal CAPES, SciELO, Science Direct e Google Acadêmico priorizando o período de busca de 2010 a 2021. Empregou-se os

descritores em português e inglês: *Piper* AND óleos essenciais (*essential oil*), óleos essenciais de *Piper* (*essential oil from Piper*) AND controle de patógenos (*pathogen control*) e *Piper* AND aplicação biotecnológica (*biotechnological application*).

Dos trabalhos encontrados a partir dos descritores citados, foram selecionados aqueles que descreviam a obtenção, elucidação química e aplicação de óleos essenciais obtidos de espécies de *Piper* com potencial biotecnológico para agricultura, em particular para atividade antimicrobiana, inseticida, nematocida e acaricida.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Prospecção dos óleos essenciais de *Piper* sp.: panorama geral

Considerando a obtenção de óleos, sua extração é comumente realizada a partir de

folhas por hidrodestilação, com aparato tipo Clevenger. Neste sistema que aquece o material vegetal em contato com a água destilada em uma manta de aquecimento, ocorre o aumento da temperatura gradativamente, gerando um vapor que contém as substâncias voláteis presentes na planta. Este vapor gerado pelo aumento da temperatura no balão passa, em seguida, por um resfriamento no condensador da vidraria, formando ao final do processo duas fases líquidas que podem ser separadas resultando no óleo essencial (SILVEIRA et al. 2012).

A tabela 1 apresenta 24 espécies de *Piper* sp. das quais foram obtidos óleos essenciais com sua respectiva aplicação biotecnológica visando o setor agrícola. 33,3% destacam-se com atividade antifúngica (especialmente contra *Fusarium* sp. e *Colletotrichum* sp.), 62,5% ovicida contra *Anticarsi agemmatalis* e 12,5% inseticida ou acaricida.

Tabela 1. Aplicação biotecnológica de óleos essenciais de *Piper* sp. para o ramo agrícola considerando o controle de patógenos e insetos-praga.

Espécie	Atividade	Patógeno alvo	Referência
<i>P. aduncum</i>	Antifúngica	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	CRUZ et al. 2012
		<i>Botryosphaeria dothidea</i>	SILVA et al. 2012
		<i>Rhizoctonia solani</i>	BRAMBILLA et al. 2012
		<i>Moniliophthora perniciosa</i>	ROCHA et al. 2013
		<i>Fusarium solani</i>	SCALVENZI et al. 2016
		<i>Phytophthora</i> sp.	VALADARES et al. 2018
		<i>Sclerotinias clerotiorum</i>	OLIVEIRA et al. 2019
		<i>Colletotrichum theobromicola</i>	
	Inseticida	Cupins (Ordem Blattodea, Subordem Isoptera)	SANTOS et al. 2018

	Ovicida	<i>Anticarsia gemmatalis</i>	KRINSKI et al. 2018
	Acaricida	<i>Tetranychus urticae</i>	ARAÚJO et al. 2012
<i>P. nigrum</i>	Antifúngica	<i>Phakopsora euvitis</i>	FIALHO et al. 2015
		<i>Fusarium oxysporum</i>	CASTELLANOS et al. 2020
		<i>Aspergillus niger</i>	ZHANG et al. 2021
		<i>Aspergillus flavus</i>	
	Inseticida	<i>Callosobruchus maculatus</i>	BOODRAM et al. 2019
<i>P. hispidinervum</i>	Antifúngica	<i>Colletotrichum theobromicola</i>	OLIVEIRA et al. 2019
	Antialimentar	<i>Spodoptera littoralis</i>	
		<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	ANDRÉS et al. 2017
		<i>Myzus persicae</i>	
		<i>Rhopalosiphum padi</i>	
<i>P. marginatum</i>	Nematicida	<i>Meloidogyne javanica</i>	ANDRÉS et al. 2017
	Antifúngica	<i>Fusarium oxysporum</i>	
		<i>Alternaria solanii</i>	OLIVEIRA et al. 2019
		<i>Colletotrichum theobromicola</i>	
	Larvicida	<i>Aedes aegypti</i>	BRÚ et al. 2016
	Repelente	<i>Tribolium castaneum</i>	BRÚ et al. 2016
	Antialimentar	<i>Spodoptera littoralis</i>	BRÚ et al. 2016
	Inseticida	<i>Solenopsis saevissima</i>	BRÚ et al. 2016
<i>P. sarmentosum</i>	Ovicida	<i>Anticarsia gemmatalis</i>	KRINSKI et al. 2018
	Antifúngica	<i>Rhizoctonia solani</i>	CHANPRAPAI et al. 2017
		<i>Bipolaris oryzae</i>	
	Antibacteriana	<i>Xanthomonas oryzae</i>	CHANPRAPAI et al. 2017
<i>P. callosum</i>	Antifúngica	<i>Colletotrichum theobromicola</i>	OLIVEIRA et al. 2019
<i>P. malacophyllum</i>			
<i>P. caldense</i>			
<i>P. fuligineum</i>			
<i>P. mosenii</i>			
<i>P. abutiloides</i>			
<i>P. amalago</i>			
<i>P. arboreum</i>	Ovicida	<i>Anticarsi agemmatalis</i>	KRINSKI et al. 2018
<i>P. crassinervium</i>			
<i>P. fuligineum</i>			
<i>P. gaudichaudianum</i>			
<i>P. lhotzkyanum</i>			
<i>P. tuberculatum</i>			
<i>P. umbellatum</i>			
<i>P. chaba</i>			
		<i>Fusarium oxysporum</i>	
		<i>Phytophthora capsici</i>	
		<i>Colletotrichum capsici</i>	RAHMAN et al. 2010

<i>Fusarium solani</i>			
<i>Rhizoctonia solani</i>			
<i>P. betle</i>	Antifúngica	<i>Penicillium expansum</i>	BASAK et al. 2015
<i>P. mikanianum</i>	Acaricida	<i>Rhipicephalus microplus</i>	FERRAZ et al. 2010
<i>P. xylostoides</i>	Acaricida	<i>Rhipicephalus microplus</i>	FERRAZ et al. 2010
<i>P. capitarianum</i>	Larvicida	<i>Aedes aegypti</i>	FRANÇA et al. 2021
<i>Aedes albopictus</i>			

Atividade antifúngica e antimicrobiana

As atividades antibacteriana e antifúngica apresentadas pelos óleos essenciais provenientes de *Piper* sp. estão atribuídos a diversidade de seus constituintes químicos representados em particular terpenoides, taninos, flavonoides e polifenóis (OOTANI et al. 2013). O óleo essencial da espécie *P. aduncum*, por exemplo, possui monoterpenos (piperitona) e sesquiterpenos (nerolidol, beta-cariofileno) e fenilpropanoide (dilapiol) como constituintes majoritários (VALADARES et al. 2018; SANTOS et al. 2018).

Estes óleos essenciais afetam a permeabilidade e funcionamento de membranas dos micro-organismos patogênicos, contudo, eles também podem inibir a formação da parede celular, a divisão celular ou os processos de transcrição e tradução ((MORAIS; MARINHO-PRADO, 2016; RAVEAU; FONTAINE; SAHRAOUI, 2020).

P. sarmentosum é capaz de produzir um óleo essencial com atividade antibacteriana contra *Xanthomonas oryzae*. Quimicamente, este óleo essencial é constituído principalmente de fenilpropanoide (miristicina) e sesquiterpenos (trans-cariofileno, alfa-copaeno

e germacreno-D) sendo o principal agente antibacteriano o fenilpropanoide miristicina (CHANPRAPAI et al. 2017). Contra fungos o óleo essencial de *P. aduncum* têm apresentado resultados promissores (VALADARES et al. 2018; SANTOS et al. 2018).

Além da atividade antibacteriana, muitos fungos fitopatogênicos de importância agrícola como *Colletotrichum* sp., *Fusarium* sp., *Aspergillus* sp., entre outros, já foram reportados controlados pelos óleos essenciais produzidos por *P. aduncum* (CRUZ et al. 2012; ROCHA et al. 2013; SCALVENZI et al. 2016; VALADARES et al. 2018; OLIVEIRA et al. 2019), *P. nigrum* (FIALHO et al. 2015; CASTELLANOS et al. 2020; ZHANG et al. 2021), *P. hispidinervum* (ANDRÉS et al. 2017), *P. marginatum* (OLIVEIRA et al. 2019), *P. chaba* (RAHMAN et al. 2010) e *P. betle* (BASAK et al. 2015).

Biocontrole de insetos-praga

O uso de óleos essenciais para o controle de insetos está relacionado notadamente as atividades inseticidas, repelente, larvicida, inibitória alimentar ou de

oviposição (MORAIS; MARINHO-PRADO, 2016).

O óleo essencial de *P. marginatum* tem sido estudado devido sua diversidade química de terpenoides e sesquiterpenoides dos quais estão relacionados com a atividade biocontroladora de insetos-praga (BRU; GUZMAN; 2016).

No trabalho realizado por Andrés et al. (2017), foi relatado o efeito anti-alimentar do óleo essencial de *P. hispidinervum* inserido na dieta dos insetos *Spodoptera littoralis*, *Leptinotarsa decemlineata*, *Myzus persicae* e *Rhopalosiphum padi*. Os autores explicam esta atividade por meio da composição química do óleo, composto majoritariamente pelo fenilpropanoide safrole o monoterpeno terpinoleno, substâncias que sinergicamente aumentam o potencial biológico para o uso inseticida.

O fenilpropanoide safrol e o monoterpeno terpinoleno atuam sinergicamente no efeito anti-alimentar quando inserido na dieta dos insetos *Spodoptera littoralis*, *Leptinotarsa decemlineata*, *Myzus persicae* e *Rhopalosiphum padi*. Estes dois compostos estão presentes no óleo essencial de *P. hispidinervum* (ANDRÉS ET al. 2017).

Os óleos de *P. malacophyllum*, *P. caldense*, *P. fuliginum*, *P. mosenii*, *P. marginatum*, *P. aduncum* e *P. nigrum* também apresentam potencial biotecnológico contra insetos, notadamente atuando em ovos de *A. agemmatalis* (KRINSKI et al. 2018) e ação inseticida em *S. saevissima* (BRÚ et al. 2016),

cupins (SANTOS et al. 2018) e *C. maculatus* (BOODRAM et al. 2019). Os óleos essenciais destas espécies são capazes de limitar as trocas gasosas destes insetos com o ambiente, especialmente quando aplicados sob ovos, prejudicando assim o seu desenvolvimento (KRINSKI et al. 2018).

Atividade nematicida e acaricida

Os compostos dos óleos essenciais atuam diretamente sobre os patógenos ou como indutores de resistência no mecanismo de defesa nas plantas. Porém, a ação nematicida envolvendo os óleos essenciais ainda não está completamente elucidada (MOREIRA et al. 2015).

Os nematoides, por serem patógenos minúsculos, podem atribuir uma predisposição na planta hospedeira no aparecimento de patógenos secundários, por isso se faz a busca por nematicidas naturais que sejam eficazes ou que contribuam no desenvolvimento de derivados (SAROJ et al. 2019).

Andrés et al. (2017) testaram o efeito do óleo essencial de *P. hispidinervum* sobre o nematoide *Meloidogyne javanica*. O óleo essencial produzido por esta espécie vegetal quando estudado em condições in vitro, demonstrou a capacidade de reduzir a eclosão de ovos de *M. javanica*, e em estudos in vivo em raízes de tomateiro, o óleo essencial foi capaz de diminuir a penetração deste nematoide nas raízes. Quimicamente, este óleo essencial de *P. hispidinervum* apresentou os compostos safrol e terpinoleno como constituintes

majoritários, sendo o efeito biocida sobre *M. javanica* encontrado pelos autores atribuídos pela sinergia destes dois compostos.

Além da atividade contra nematoides, muitas plantas também vêm sendo estudadas como uma alternativa no combate a ácaros. O mecanismo de ação dos óleos essenciais pode estar relacionado à penetração dos constituintes químicos por meio da cutícula dos artrópodes, causando um efeito neurotóxico (VIEIRA; ANDRADE; NASCIMENTO, 2012).

Ferraz et al. (2010) observaram o efeito tóxico dos óleos de *P. mikanianum* e *P. xylosteoides* sobre larvas recém eclodidas de *Rhipicephalus microplusem*. Empregando o ensaio de imersão larval, o óleo essencial produzido por *P. mikanianum* apresentou melhores resultados contra as larvas de *R. microplusem* quando comparado com o óleo essencial obtido de *P. xylosteoides*. Safrol e dilapiol foram encontrados como componentes dos óleos essenciais quanto sua atividade acaricida de ambas plantas.

O efeito do óleo essencial de *P. aduncum* sobre o ácaro *Tetranychus urtica* por meio do teste de fumigação em placas de petri foi estudado por Araújo et al. (2012). A toxicidade do óleo essencial avaliado, foi atribuída a sinergia das substâncias nerolidol e beta-cariofileno, sendo o beta-cariofileno testado isoladamente, demonstrando os melhores resultados contra *T. urtica*.

4. CONCLUSÃO

As espécies do gênero *Piper* L. têm ganhado destaque na busca por produtos naturais, como os óleos essenciais e seus compostos, que tenham o potencial de uso econômico. Para o setor agrícola, os óleos essenciais produzidos por estas plantas são de extrema valia por apresentarem atividade antifúngica, contra insetos-praga, nematicida, entre outras.

Embora os óleos essenciais destas plantas apresentem resultados positivos em condições *in vitro*, avaliação em sistemas *in vivo* em campo fazem-se necessárias para elucidar o potencial destes produtos de origem vegetal como ferramenta alternativa aos produtos químicos, além de sua produção em larga escala.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. J. C.; CÂMARA, C. A. G.; BORN, F. S.; MORAES, M. M.; BADJI, C. A. Acaricidal activity and repellency of essential oil from *Piper aduncum* and its components against *Tetranychus urticae*. **Experimental and Applied Acarology**, v. 57, n. 2, p. 139-155, 2012.
- ANDRÉS, M. F. ROSSA, G. E.; CASSEL, E.; VARGAS, R. M. F.; SANTANA, O.; DÍAZ, C. E.; GONZÁLEZ-COLOMA, A. Biocidal effects of *Piper hispidinervum* (Piperaceae) essential oil and synergism among its main components. **Food and Chemical Toxicology**, v. 109, p. 1086-1092, 2017.
- BASAK, S.; GUHA, P. Use of predictive model to describe sporicidal and cell viability efficacy of betel leaf (*Piper betle* L.) essential oil on *Aspergillus flavus* and *Penicillium expansum* and its antifungal activity in raw apple juice. **LWT – Food Science and Technology**, v. 80, p. 510-516, 2017.

BIZZO, H. R.; HOVEL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Óleos essenciais no Brasil: Aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 588-594, 2009.

BRAMBILLA, I.; SOUZA, M. G.; CORDEIRO, O. A.; SOUZA, A. G. C.; CHAVES, F. C. M.; OLIVEIRA, M. R. Atividade antifúngica de óleos essenciais no controle de *Moniliophthora perniciosa*. In: MORAIS, R. R.; BOJINK, C. L.; SILVA, K. E.; QUISEN, R. C. **Anais da IX Jornade Iniciação Científicada Embrapa Amazônia Ocidental**. 1. ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2012. p. 51-58.

BOODRAM, R.; KHAN, A. Bioactivity of *Citrus aurantifolia*, *Citrus limon* and *Piper nigrum* essential oils on *Callosobruchus maculatus* (F.) (Coleoptera: Bruchidae). **Journal of Biopesticides**, v. 12, n. 1, p. 76-82, 2019.

BRÚ, J.; GUZMAN, J. D. Folk medicine, phytochemistry and pharmacological application of *Piper marginatum*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 26, n. 6, p. 767-779, 2016.

BRITO, A. C.; PEREIRA, L. A. Nível de conservação de *Peperomia Ruiz & Pav.* (PIPERACEAE) no estado do Amapá. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 34, n. 2, p. 46-58, 2019.

CASTELLANOS, L. M.; OLIVAS, N. A.; AYALA-SOTO, J.; CONTRERAS, C. M.; ORTEGA, M. Z.; SALAS, F. S.; HERNÁNDEZ-OCHOA, L. *In Vitro* and *In Vivo* antifungal activity of clove (*Eugenia caryophyllata*) and pepper (*Piper nigrum* L.): Essential oils and functional extracts against *Fusarium oxysporum* and *Aspergillus niger* in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). **International Journal of Microbiology**, v. 2020, p. 1-8, 2020.

CRUZ, M. M.; LINS, S. R. O.; OLIVEIRA, S. M. A.; BARBOSA, M. A. G. Efeito de óleos essenciais e revestimentos comestíveis sobre podridões pós-colheita em manga. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 1-6, 2012.

CHANPRAPAI, P.; CHAVASIRI, W. Antimicrobial activity from *Piper sarmentosum* Roxb. against rice pathogenic bacteria and fungi. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 11, p. 2513-2524, 2017.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED STATES. **Faostat**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 08 ago. 2021.

FERRAZ, A. B. F.; BALBINO, J. M.; ZINI, C. A.; RIBEIRO, V. L. S.; BORDIGNON, S. A. L.; VON POSER, G. Acaricidal activity and chemical composition of the essential oil from three *Piper* species. **Parasitology Research**, v. 107, n. 1, p. 243-248, 2010.

FIALHO, R. O.; PAPA, M. F. S.; PEREIRA, D. A. S. Efeito fungitóxico de óleos essenciais sobre *Phakopsora euvitis*, agente causal da ferrugem da videira. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 82, p. 1-7, 2015.

FRANÇA, L. P.; AMARAL, A. C. F.; RAMOS, A. S.; FERREIRA, J. L. P.; MARIA, A. C. B.; OLIVEIRA, K. M. T.; ARAUJO JUNIOR, E. S.; BRANCHES, A. D. S.; SILVA, J. N.; SILVA, N. G.; BARROS, G. A.; CHAVES, F. C. M.; TADEI, W. P.; SILVA, J. R. A. *Piper capitarianum* essential oil: a promising insecticidal agent for the management of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 9760–9776, 2021.

HERMAN, R. A.; AYEP, E.; SHITTU, S.; FOMETU, S. S.; WNAG, J. Essential oils and their applications - A mini review. **Advances in Nutrition & Food Science**, v. 4, n. 4, p. 1-13, 2019.

KRINSKI, D.; FOERSTER, L. A.; DESCHAMPS, C. Ovicidal effect of the essential oils from 18 Brazilian *Piper* species: controlling *Anticarsia agemmatilis* (Lepidoptera, erebidae) at the initial stage of development. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 40, n. 1, p. 1-10, 2018.

KNAAK, N.; FIUZA, L. M. Potencial dos óleos essenciais de plantas no controle de insetos e

microrganismos. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 5, n. 2, p. 120-132, 2010.

LEE, G. H.; CHOI, K. C. Adverse effects of pesticides on the functions of immune system. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 235, p. 1-7, 2020.

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: Uma revisão sistemática. **Saúde em Debate**, v. 42, n. 117, p. 518-534, 2018.

MELO, A.; ALVES, M. Novos registros de espécies de *Piper* L. (Piperaceae) em estados da Amazônia brasileira. **Biota Amazônica**, v. 9, n. 1, p. 26-30, 2019.

MORAIS, L. A. S.; MARINHO-PRADO, J. S. Plantas com atividade inseticida. In: EMBRAPA. **Defensivos agrícolas naturais: uso e perspectivas**. Brasília: Embrapa, 2016. Cap. 19. p. 542-585.

MOREIRA, F. J. C.; SANTOS, C. D. G.; INNECCO, R.; SILVA, G. S. Controle alternativo de nematoide das galhas (*Meloidogyne incognita*) raça 2, com óleos essenciais em solo. **Summa Phytopathologica**, v. 41, n. 3, p. 207-213, 2015.

OLIVEIRA, M. L. B.; FRANÇA, T. A. R.; CAVALCANTE, F. S.; LIMA, R. A. O gênero *Piper* no Brasil: O estado da arte da pesquisa. **Biodiversidade**, v. 19, n. 3, p. 198-210, 2020.

OLIVEIRA, S. S.; HANADA, R. E.; CHAVES, F. C. M.; NASCIMENTO, G. O.; ASSIS, L. A. G.; OLIVEIRA, S. S.; OLIVEIRA, M. R. Fungitoxicidade de óleos essenciais de *Piper* spp. sobre *Colletotrichum theobromicola*. **Diversidade Microbiana da Amazônia**, v. 3, n. 1, p. 29-33, 2019.

OOTANI, M. A.; AGUIAR, R. W.; RAMOS, A. C. C.; BRITO, D. R.; SILVA, J. B.; CAJAZEIRA, J. P. Use of essential oils in agriculture. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 4, n. 2, p. 162-175, 2013.

PORTER, S. N.; HUMPHRIES, M. S.; BUAH-KWOFIE, A.; SCHLEYER, M. H.

Accumulation of organochlorine pesticides in reef organisms from marginal coral reefs in South Africa and links with coastal groundwater. **Marine Pollution Bulletin**, v. 137, p. 295-305, 2018.

RAHMAN, A.; AL-REZA, S. M.; KANG, S. C. Antifungal Activity of essential oil and extracts of *Piper chaba* hunter against phytopathogenic fungi. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 88, n. 4, p. 573-579, 2010.

RANI, L.; THAPA, K.; KANOJIA, N.; SHARMA, N.; SINGH, S.; GREWAL, A. S.; SRIVASTAV, A. L.; KAUSHAL, J. An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. **Journal of cleaner production**, v. 283, p. 1-33, 2021.

RAUT, J. S.; KARUPPAYIL, S. M. A status review on the medicinal properties of essential oils. **Industrial Crops and Products**, v. 62, p. 250-264, 2014.

RAVEAU, R.; FONTAINE, J.; SAHRAOUI, A. L-H. Essential oils as potential alternative biocontrol products against plant pathogens and weeds: A Review. **Foods**, v. 9, n. 365, p. 1-31, 2020.

ROCHA, S. I. B.; MAJOLO, C.; SOUZA, M. G.; CHAVES, F. C. M. Atividade antifúngica de óleo essencial de *Piper aduncum* por bioautografia indireta no controle de *Moniliophthora perniciosa*. In: QUISEN, R. C. **Anais da X Jornada de Iniciação Cinética da Embrapa Amazônia Ocidental**. 1. ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2013. p. 227-237.

RIGOTTO, R. M.; VASCONCELOS, D. P.; ROCHA, M. M. Pesticide use in Brazil and problems for public health. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 30, n. 7, p. 1360-1362, 2014.

SABARWAL, A.; KUMAR, K.; SINGH, R. P. Hazardous effects of chemical pesticides on human health—Cancer and other associated disorders. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 63, p. 103-114, 2018.

SALVAGNI, J.; TERNUS, R. Z.; FUENTEFRIA, A. M. Assessment of the genotoxic impact of pesticides on farming communities in the countryside of Santa Catarina State, Brazil. **Genetics and Molecular Biology**, v. 34, n. 1, p. 122-126, 2011.

SANTOS, A. T. B.; BRAVIM, A. T.; BATISTA, R. S.; LOPES R. P.; MENINI, L.; SOUZA, A. O. Avaliação do potencial inseticida de óleos essenciais de *Baccharis dracunculifolia* e *Piper aduncum* em cupins, em condições de laboratório. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 1, p. 1-7, 2018.

SAROJ, A.; ORIYOMI, O. V.; NAYAK, A. K.; HAIDER, S. Z. Phytochemicals of plant-derived essential oils: A novel green approach against pests. In: EGBUNA, C.; SAWICKA, B. **Natural remedies for pest, disease and weed control**. Academic Press, 2019. p. 65-79.

SCALVENZI, L.; YAGUACHE-CAMACHO, B.; MARTÍNEZ, P. C.; GUERRINI, A. Actividad antifúngica *in vitro* de aceites esenciales de *Ocotea quixos* (Lam.) Kosterm. y *Piper aduncum* L. **Bioagro**, p. 39-46, 2016.

SCHULZ, R. Field Studies on Exposure, Effects, and Risk Mitigation of Aquatic Nonpoint-Source Insecticide Pollution: A Review. *Journal of environmental quality*, v. 33, n. 2, p. 419-448, 2004.

SILVA, V. M.; COSTA-CARVALHO, R. R.; FONTES, M. G.; ARAÚJO, E. R.; SILVA-JUNIOR, W. J.; BLANK, A. F.;

LARANJEIRA, D. Atividade antifúngica de óleos essenciais na inibição do crescimento de *Rhizoctonia solani*. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p.2141-2145, 2012.

SILVEIRA, J. C.; BUSATO, N. V.; COSTA, A. O. S.; COSTA JUNIOR, E. F. Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 2018-2052, 2012.

VALADARES, A. C. F.; ALVES, C. C. F.; ALVES, J. M.; DE DEUS, I. P.B.; OLIVEIRA FILHO, J. G.; DOS SANTOS, T. C. L.; JUNIOR DIAS, H.; CROTTI, A. E. M.; MIRANDA, M. L. D. Essential oils from *Piper aduncum* inflorescences and leaves: chemical composition and antifungal activity against *Sclerotinia sclerotiorum*. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 3, p. 2691-2699, 2018.

VIEIRA, G. H. C.; ANDRADE, W.P.; NASCIMENTO, D. M. Uso de óleos essenciais no controle do ácaro *Varroa destructor* em *Apis mellifera*. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 3, p. 317-322, 2012.

WOLFFENBÜTTEL, A. N. **Base da Química dos Óleos Essenciais e Aromaterapia**. 3. ed.: Editora Laszlo, 2019. 494 p.

ZHANG, C.; ZHAO, J.; FAMOUS, E.; PAN, S.; PENG, X.; TIAN, J. Antioxidant, hepatoprotective and antifungal activities of black pepper (*Piper nigrum* L.) essential oil. **Food Chemistry**, v. 346, p. 128845, 2021.