

INFLUÊNCIA DA SAZONALIDADE NO RENDIMENTO DE ÓLEOS ESSENCIAIS NO SUL DO BRASIL

INFLUENCE OF SEASONALITY ON ESSENTIAL OILS YIELD IN SOUTHERN BRAZIL

**Joseila Maldaner¹, Gerusa Pauli Kist Steffen², Madalena Boeni³, Ionara Fátima Conterato⁴,
Juliana Marchesan⁵, Adriane Luiza Schú⁶, Rosana Matos de Moraes⁷, Cleber Witt Saldanha⁸,
Evandro Luiz Missio⁹, Jorge Dubal Martins¹⁰ e Natielo Almeida Santana¹¹**

RESUMO

As diversas atividades biológicas atribuídas aos óleos essenciais (OEs) fazem com que o mercado desses produtos esteja em ascensão. Hoje se sabe que vários fatores influenciam na quantidade e qualidade desses metabólitos secundários, ou seja, sua produção responde variavelmente a fatores bióticos e abióticos, dentre eles a sazonalidade. Na intenção de se compreender os efeitos da sazonalidade no rendimento de OE, foram estudadas dez espécies aromáticas ao longo de dois anos, com repetidas coletas nas quatro diferentes estações do ano. Os resultados aqui apresentados mostram que o rendimento de OE variou em resposta às diferentes estações do ano para *Artemisia camphorata*, *Baccharis trimera*, *Cupressus sempervirens*, *Ocimum basilicum*, *Melaleuca alternifolia* e *Mentha* sp. Contudo, para *Corimbia citriodora*, *Foeniculum vulgare*, *Pinus elliottii* e *Schinus terebinthifolius* o rendimento não variou significativamente. As informações geradas neste estudo, embora preliminares, agregam à pesquisa no sentido de propor uma padronização no manejo das extrações,

1 Pesquisadora, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. E-mail: joseila-maldaner@agricultura.rs.gov.br, jomaldaner@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3008-5047>

2 Pesquisadora, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. E-mail: gerusa-steffen@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0464-567X>

3 Pesquisadora, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. E-mail: madalena-boeni@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2202-2011>

4 Pesquisadora, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. E-mail: ionara-conterato@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3583-9389>

5 Analista Agropecuário e Florestal, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. E-mail: juliana-marchesan@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2167-5862>

6 Analista Agropecuário e Florestal, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. E-mail: adriane-schu@seapi.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7792-3562>

7 Pesquisadora, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. E-mail: rosana-morais@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2694-4646>

8 Pesquisador, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. E-mail: cleber-saldanha@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6147-6027>

9 Pesquisador, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. E-mail: evandro-missio@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8582-0301>

10 Pesquisador, Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. E-mail: jorge-martins@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4177-2280>

11 Fiscal Estadual Agropecuário, Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação. E-mail: natielo-santana@agricultura.rs.gov.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2461-144X>

com o foco em períodos mais indicados para coletas, a fim de potencializar o rendimento desses raros produtos do metabolismo secundário vegetal.

Palavras-chave: Metabolitos secundários; Espécies aromáticas; Períodos de coleta; Produtividade de extrativo; Eficiência.

ABSTRACT

*The diverse biological activities attributed to essential oils (EOs) mean that the market for these products is on the rise. Today it is known that several factors influence the quantity and quality of these secondary metabolites, that is, their production responds variably to biotic and abiotic factors, including seasonality. In order to understand the effects of seasonality on EO yield, ten aromatic species were studied over two years, with repeated collections in four different seasons. The results presented here show that EO yield varied in response to different seasons for *Artemisia camphorata*, *Baccharis trimera*, *Cupressus sempervirens*, *Ocimum basilicum*, *Melaleuca alternifolia* and *Mentha sp.* However for *Corimbia citriodora*, *Foeniculum vulgare*, *Pinus elliottii* and *Schinus terebinthifolius* the yield did not vary significantly. The information generated in this study, although preliminary, adds to the research in order to propose a standardization in the management of extractions, focusing on the most suitable periods for collections, in order to enhance the yield of these rare products of plant secondary metabolism.*

Keywords: Secondary metabolites; Aromatic species; Collection periods; Extractive productivity; Efficiency.

INTRODUÇÃO

Óleos essenciais (OEs) são compostos oriundos do metabolismo secundário vegetal, geralmente constituídos por complexas misturas de moléculas voláteis a temperatura ambiente. São altamente concentrados em seus constituintes e, por isso, apresentam aromas característicos, em geral, agradáveis. Esses compostos desempenham diversas funções biológicas para as plantas, seja para defesa em resposta a estresses bióticos e abióticos, para atração de polinizadores, para repelência de herbívoros ou mesmo na comunicação planta-planta (FALLEH *et al.*, 2020).

Uma série de aplicações farmacológicas tem sido atribuída aos OEs, tais como propriedades antioxidantes (AHMED *et al.*, 2019), anti-inflamatórias (THITINARONGWATE *et al.*, 2022), anti-fúngicas (HOU *et al.*, 2022), antimicrobianas (YAMMINE *et al.*, 2022; HOU *et al.*, 2022) e anticâncer (LAURICELLA *et al.*, 2022). Além das aplicações farmacológicas, os OEs também têm sido utilizados como alternativa viável para controlar agentes fitopatogênicos e ervas indesejáveis de modo a atender demandas orgânicas e sustentáveis no setor agropecuário (OOTANI *et al.*, 2013; MALDANER *et al.*, 2020; 2022; 2023). A literatura relata a eficiência de OEs como agentes fungistáticos, inseticidas e/ou de repelência e como herbicidas (GONZALEZ-COLOMA, 2023). Todas essas propriedades, juntamente com o seu baixo poder residual e não toxicidade para mamíferos fazem dos OEs um produto de grande interesse científico, sendo amplamente explorados.

Tendo em vista a crescente apreciação dos OEs para os mais diferentes usos, o mercado global de OEs está aumentando dia a dia e foi superior a US\$ 7,51 bilhões em 2018, com um aumento estimado de mais de 9% da sua taxa de crescimento anual para o período de 2019 a 2026 (SHARMEEN *et al.*, 2021; YAMMINE *et al.*, 2024). Considerando essa ascensão no setor, a produção e extração desses metabólitos precisa ser otimizada de forma a entender melhor mecanismos envolvidos no processo de síntese desses compostos. Sabe-se que o rendimento, bem como a composição química, dos OEs é variável de espécie para espécie e pode sofrer influência de diferentes fatores, uma vez que esses metabólitos são produzidos como forma de defesa das plantas. Essa variação na produção de metabólitos secundários pode ter origem genética, mas também existem diversos fatores externos que podem influenciar a biossíntese de OEs, tais como condições ambientais, fatores de estresse (herbivoria, injúrias, déficit hídrico, padrão nutricional, temperatura), período de coleta do material, diferentes partes vegetais usadas na extração, além de métodos de extração (PETERS, 2016). Podem ser separados em fatores inerentes à própria planta como ciclo vegetativo, idade ou órgão vegetal utilizado, ou fatores ambientais, edáficos e climáticos, além ainda de manejos culturais de colheita e pós-colheita que podem exercer influência conjunta no metabolismo secundário, afetando diretamente o rendimento de OEs.

Diversos trabalhos citam alteração na constituição e a qualidade dos OEs de acordo com o local ou período de coleta (LUZ *et al.*, 2020, NI *et al.*, 2021). Souza *et al.* (2017) afirmaram que o rendimento e a composição de OEs são influenciados pela sazonalidade, temperatura e luz, onde *Croton argyrophylloides* Muell. Arg. e *C. jacobinensis* Baill. apresentaram maior rendimento na estação seca, enquanto *C. sincorensis* Mart. ex Müll. Arg. teve maior rendimento na estação chuvosa. De maneira semelhante, Elsharkawy e Nahed (2018) observaram que a espécie *Achillea fragrantissima* (Forssk.) Sch.Bip. apresenta variações no rendimento e composição de seu OE em estação chuvosa e seca, como mecanismos de tolerância ao estresse pela seca. Para *Eucalyptus bosistoana* F.Muell., Rajapaksha *et al.* (2022) recomendam a coleta de folhas maduras durante o verão, período em que a produção de OE é otimizada. Semelhantemente, tanto a produção quanto a maior concentração de componentes majoritários (mentol) no OE de menta foram obtidos em extrações realizadas no verão e na primavera (ALVARENGA *et al.*, 2021).

Compreender a relação da produção de OEs de determinadas espécies ao longo das estações do ano é uma resposta valiosa visto que estes são obtidos sempre em pequenas quantidades, embora com altíssima concentração em seus componentes. Além disso, havendo variações na composição química dos OEs, de acordo com a sazonalidade, é esperado que haja também variações em sua bioatividade, de modo que estudos nesse sentido têm potencial de ampliar ainda mais o conhecimento sobre os OEs. Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar períodos em que o rendimento possa ser otimizado, o que certamente trará benefícios para o mercado dos OEs.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no Centro Estadual de Diagnóstico e Pesquisa Florestal, localizado em Santa Maria - RS, onde amostras da parte aérea (somente caules e folhas) de dez espécies aromáticas: cânfora-de-jardim (*Artemisia camphorata* Vill.), carqueja (*Baccharis trimera* (Less.) DC.), cipreste (*Cupressus sempervirens* L.), eucalipto-cheiroso (*Corymbia citriodora* Hill & Johnson), funcho (*Foeniculum vulgare* Mill.), manjerição (*Ocimum basilicum* L.), melaleuca (*Melaleuca alternifolia* Cheel.), menta (*Mentha* sp.), pinus (*Pinus elliottii* Engelm.) e aroeira vermelha (*Schinus terebinthifolius* Raddi.), foram coletadas nas quatro estações do ano. Todas as coletas ocorreram no período da manhã. As plantas aromáticas anuais e bianuais foram coletadas no Relógio do Corpo Humano do referido centro de pesquisa, e as espécies perenes também foram obtidas na área de abrangência do mesmo. Foram feitas coletas em triplicatas para cada espécie, sendo cada uma delas compostas por três amostras, em cada uma das quatro estações do ano, ao longo dos anos de 2021 e 2022.

Figura 1 - Espécies aromáticas utilizadas no estudo



Fonte: Construção dos Autores

Após a coleta das plantas, a massa fresca foi aferida em balança analítica para cálculos relativos do percentual do rendimento de OE. As extrações se deram pela técnica de hidrodestilação por arraste de vapor em aparelho tipo Clevenger modificado, durante 2,5 a 3 horas e ocorreram em triplicatas. Nesse processo, o volume de água adicionado manteve a proporção de 5x em relação à massa fresca de material vegetal. Os OEs extraídos foram armazenados em microtubos do tipo *eppendorf* e mantidos em refrigerador a 4 °C.

O teor de OE (% m/m) de cada uma das espécies foi calculado com base na massa de OE obtido e relacionado com a massa fresca total do material, expresso em porcentagem.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e à verificação das diferenças estatísticas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro, com auxílio do software estatístico Sisvar 5.6 (FERREIRA *et al.*, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados aqui apresentados mostram que o rendimento de OE variou significativamente para seis (*A. camphorata*, *B. trimera*, *C. sempervirens*, *O. basilicum*, *M. alternifolia* e *Mentha* sp.) das dez espécies testadas em função das coletas nas diferentes estações do ano (Tabela 1).

Tabela 1 - Rendimento de óleo essencial (%) de dez espécies aromáticas nas quatro estações do ano no Sul do Brasil.

Espécie/Estação	Verão	Outono	Inverno	Primavera
<i>A. camphorata</i>	0,1517 ab*	0,1727 ab	0,0663 b	0,2221 a
<i>B. trimera</i>	0,1433 c	0,2231 bc	0,5183 ab	0,7999 a
<i>C. sempervirens</i>	0,2668 b	0,1840 b	0,4373 a	0,1714 b
<i>C. citriodora</i>	0,1852 a	0,1487 a	0,1939 a	0,1450 a
<i>F. vulgare</i>	0,2680 a	0,2068 a	0,1218 a	0,1636 a
<i>O. basilicum</i>	0,3104 ab	0,4969 a	0,0748 c	0,1325 bc
<i>M. alternifolia</i>	0,4985 b	1,144 a	0,5383 ab	0,8071 ab
<i>Mentha</i> sp.	0,4431 a	0,1180 c	0,0632 c	0,2412 b
<i>P. elliotii</i>	0,1090 a	0,1102 a	0,0479 a	0,0857 a
<i>S. terebinthifolius</i>	0,1443 a	0,1702 a	0,2506 a	0,2517 a

*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade de erro. Fonte: Construção dos Autores

Variações na concentração, no teor e na composição dos OEs em resposta à sazonalidade são esperadas para a maioria das espécies (TAIZ *et al.*, 2017; ALVARENGA *et al.*, 2021; KUMAR; LAL, 2022). Essas alterações são intrínsecas à própria espécie, de modo que identificar a melhor época para as coletas de cada espécie resultam na otimização do rendimento desses raros produtos do metabolismo secundário vegetal.

Por outro lado, *C. citriodora*, *F. vulgare*, *P. elliotii* e *S. terebinthifolius* não tiveram o rendimento de OE alterado significativamente ao longo das estações do ano (Tabela 1). Interessante

observar que, a exceção do *F. vulgare*, foram as espécies perenes que não apresentaram variação significativa no rendimento de OE, o que pode ser atribuído à uma possível adaptação dessas espécies ao longo do tempo.

No caso do *F. vulgare*, o rendimento foi estatisticamente semelhante nas diferentes estações do ano, com uma tendência à redução na primavera e no inverno. Esse resultado corrobora, em partes com Souza *et al.* (2005), os quais relataram variação considerável no teor de óleo essencial de funcho, em relação à fenofases vegetativa e reprodutiva da planta, uma vez que no final da primavera as folhas produziram teor de OE menor do que o encontrado no final do inverno e durante o verão. Para esses autores, isso pode ser explicado pelo início da fenofase reprodutiva da planta (início do período de floração) e pela redução dos ductos secretores.

O OE de *C. citriodora* é um dos mais amplamente empregados e do qual se tem estudos há mais tempo. Já Wang *et al.* (1997) relataram que o rendimento em OE dessa espécie é afetado por condições ecofisiológicas, e que as melhores estações para a coleta de folhas e extração de óleo são inverno e primavera. Os resultados desses autores podem ser atribuídos ao fato de que durante o inverno e a primavera os eucaliptos praticamente paralisam o seu crescimento, na região em que o trabalho foi desenvolvido, devido à ocorrência de reduzida precipitação e baixas temperaturas.

A. camphorata, *O. basilicum* e *Mentha* sp. tiveram sua produção de OE sensivelmente reduzida no inverno (Tabela 1). De um modo geral, a redução dos teores de OE, principalmente no inverno e outono, pode ser explicada pelo acionamento do mecanismo natural de fonte-dreno, que degrada metabólitos secundários e direciona seus compostos químicos para a manutenção do metabolismo primário das plantas (TAIZ *et al.*, 2017). Ou seja, essas variações possivelmente estão relacionadas ao ciclo fisiológico das plantas, que no período de inverno, em geral apresentam redução na atividade biossintética, o que foi observado para algumas das espécies neste estudo. Além disso, as variações de irradiância nas diferentes estações do ano também podem ser responsáveis pelas alterações observadas no rendimento de OEs. Assis *et al.* (2022) observaram que para *A. camphorata* o teor percentual de OE foi maior nas plantas sob 60 e 20 % de irradiância do que naquelas expostas a pleno sol. Por outro lado, Ventrella e Ming (2000) demonstraram que plantas de *Melissa officinalis* L. submetidas a um maior nível de irradiância tiveram aumento no teor de OE. Isto demonstra que diferentes espécies respondem de maneira distinta ao nível de irradiância na produção de OEs. Conforme Li *et al.* (2020), a radiação solar é essencial para as funções fisiológicas da planta e pode influenciar no acúmulo de metabólitos secundários, pois o nível de radiação afeta a assimilação de carbono e, conseqüentemente, a produção de OEs, uma vez que a síntese desses óleos envolve vias bioquímicas do metabolismo primário (THAKUR; KUMAR, 2021). Assim, o ganho no rendimento e nas propriedades medicinais das plantas pode ser alcançado por meio de ajustes adequados e específicos na intensidade de luz em diferentes espécies (LI *et al.*, 2020).

Kumar e Lal (2022) observaram que o teor, o rendimento e a composição química do OE de *Ocimum gratissimum* L. são altamente afetados pela sazonalidade. Diferentemente dos resultados

apresentados neste trabalho para esse gênero, estes autores reportam que em coletas de inverno obtiveram a maior produção de OE por parcela, e no que se refere à composição química a predominância do eugenol foi intensificada no outono.

O rendimento de OE de *B. trimera* e de *M. alternifolia* foi reduzido quando as plantas foram coletadas no verão. A *M. alternifolia* é uma espécie bastante sensível à desidratação, o que pode justificar a redução no rendimento no período de verão, quando a desidratação das folhas pode ter sido acompanhada de redução no rendimento de OE. Em concordância com nossos resultados, Borella *et al.* (2006) observaram um maior rendimento de OE de *B. trimera* nas coletas de inverno e sugeriram que as características típicas do outono e do inverno no sul do país como baixas temperaturas e grande precipitação, contribuíram significativamente para a produção do OE nesta espécie.

Incremento no rendimento de OE foi observado para *A. camphorata* e *B. trimera* no período da primavera. *C. sempervirens* apresentou maior rendimento no inverno, enquanto que para as espécies *O. basilicum* e *M. alternifolia* esse incremento foi observado no outono e para a *Mentha* sp., no verão (Tabela 1). Otimizar a extração de OEs ou mesmo induzir as vias de síntese dos mesmos tem sido alvo de estudos há algum tempo, especialmente para espécies cujos OEs apresentam grande valor econômico (FIGUEIREDO *et al.*, 2006; SALES, 2015).

Os dados obtidos neste estudo para a *Mentha* sp. estão em concordância com os encontrados por Alvarenga *et al.* (2021), os quais observaram que o maior rendimento de OE foi obtido para *M. x piperita* L. na primavera e para *M. viridis* L. na primavera e no verão. Esses autores também relatam que obtiveram maior proporção de mentol (composto de interesse comercial) nos OEs extraídos no verão e na primavera. Essas informações concordam com o que já havia sido previamente reportado por De Souza (2020), que verificou aumento na qualidade de OE de menta no transplante no verão, pois o transplante no inverno favorece a produção do composto mentofurano, o qual reduz a qualidade do OE.

Neste estudo foi possível destacar algumas espécies que tiveram seu rendimento de OE mais afetado pelo fator sazonalidade, por exemplo, *M. alternifolia*, *A. camphorata* e *C. sempervirens* apresentaram variação de cerca de três vezes comparando-se a estação mais produtiva e a menos produtiva. *B. trimera* teve um incremento de quase seis vezes no rendimento de OE na primavera, quando comparada ao rendimento obtido no verão. Enquanto *O. basilicum* e *Mentha* sp. tiveram a produtividade aumentada em cerca de sete vezes. Isso demonstra a importância dessas informações, especialmente para espécies cujos OEs apresentam valor comercial (Tabela 1).

Soma-se a isso o fato de que variações sazonais de rendimento dos OEs podem, muitas vezes, estar acompanhadas de variações na composição química dos mesmos, e, conseqüentemente, as atividades biológicas atribuídas a eles podem também ser alteradas, o que afeta diretamente a aplicabilidade desses bioinsumos. Portanto, a padronização do manejo e a definição de períodos de coletas são importantes para obtenção de um extrativo de qualidade, com rendimento satisfatório.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O rendimento dos óleos essenciais é influenciado pela sazonalidade para a maioria das espécies aromáticas avaliadas neste estudo, sendo que a sazonalidade pode também afetar a concentração e a qualidade dos componentes majoritários dos OEs, influenciando diretamente as aplicações destes potenciais produtos nos mais diversos setores econômicos. Assim, as informações apresentadas neste trabalho, analisadas de forma conjunta, conduzem a uma padronização nas práticas de coleta de espécies aromáticas visando a extração de OEs, de modo a proporcionar a otimização do processo de extração e a obtenção de extrativo de melhor qualidade.

REFERÊNCIAS

- AHMED, D. *et al.* Genotyping by sequencing can reveal the complex mosaic genomes in gene pools resulting from reticulate evolution; a case study in diploid and polyploid citrus. **Annals of Botany**, v. 123, p. 1231–1251, 2019.
- ALVARENGA, J. P. *et al.* Seasonal variation in essential oil content and chemical profile of mint in southeast of Brazil. Variação sazonal no teor e perfil químico do óleo essencial de menta no sudeste do Brasil. **Ciência Rural**, v. 51, n. 11, e20200979, 2021.
- ASSIS, R. M. A. *et al.* Efeito de níveis de irradiância na produção de biomassa, teor de óleo essencial e anatomia de *Artemisia alba* Turra. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 13, e377111335565, 2022.
- BORELLA, J. C. *et al.* Variabilidade sazonal do teor de saponinas de *Baccharis trimera* (Less.) DC (Carqueja) e isolamento de flavona. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 16, n. 4, p. 557-561, 2006.
- De SOUZA, J. M. **Produção de fitomassa de manjerona e menta em intervalos de colheita e de óleo essencial em estações do ano.** 2020. 143 p. Tese (Curso de Pós- Graduação em Agronomia, UFSM).
- ELSHARKAWY, E.; NAHED, N. E-D. Effect of seasonal variations on the yield of essential oil and antioxidant of *Achillea fragrantissima* (Forssk) Sch. Bip. **African Journal of Biotechnology**, v. 17, n. 28, p. 892-897, 2018

FALLEH, H. *et al.* Essential oils: A promising eco-friendly food preservative. **Food Chemistry**, v. 330, 2020.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência Agrotecnologia**, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FIGUEIREDO, R.O.; DELACHIAVE, M.E.A.; MING, L.C. Reguladores vegetais na produção de biomassa e teor de óleos essenciais em *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, em diferentes épocas do ano. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 8, n. 3, p. 31-35, 2006.

GONZALEZ-COLOMA, A. Essential Oils as Biopesticide Ingredients. **Agriculture**, v. 13, n. 6, p. 1141 2023.

HOU, T. *et al.* Essential oils and its antibacterial, antifungal and anti-oxidant activity applications: A review. **Food Bioscience**, v. 47, 2022.

JAFARI-KOULAEI, A. *et al.* A systematic review of the effects of aromatherapy with lavender essential oil on depression. **Central Asian journal of global health**, v. 9, n. 1, e442, 2020.

KUMAR, A.; LAL, R. K. The consequence of genotype \times environment interaction on high essential oil yield and its composition in clove basil (*Ocimum gratissimum* L.). **Acta Ecologica Sinica**, v. 42, n. 6, p. 633-640, 2022.

LAURICELLA, M. *et al.* Essential oil of *Foeniculum vulgare* subsp. piperitum fruits exerts an anti-tumor effect in triple-negative breast cancer cells. **Molecular Medicine Reports**, v. 263, 243, 2022.

LI, Y. *et al.* The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 148, p. 80-89, 2020.

LUZ, T. R. S. A. *et al.* Seasonal variation in the chemical composition and biological activity of the essential oil of *Mesosphaerum suaveolens* (L.) Kuntze. **Industrial Crops and Products**, v. 153, 2020.

MALDANER, J. *et al.* Rue and Brazilian peppertree essential oils inhibit the germination and initial development of the invasive plant lovegrass. **International Journal of Environmental Studies**. v. 77, n. 2, p. 255-263, 2020.

MALDANER, J. *et al.* Bioherbicide and anesthetic potential of *Aniba canelilla* essential oil, a contribution to the demands of the agricultural sector. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 42, p. 102353, 2022.

MALDANER, J. *et al.* Bioherbicide potential of essential oils from plant species used in folk medicine and cuisine in the Amazon region. **South African Journal of Botany**, v. 162, p. 761-766, 2023.

NI, Z. J. *et al.* Recent updates on the chemistry, bioactivities, mode of action, and industrial applications of plant essential oils. **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 78-89, 2021.

OOTANI, M. A. *et al.* Use of essential oils in agriculture. **Journal of biotechnology and biodiversity**, v. 4, n. 2, p. 162-174, 2013.

PETERS, M. **Essential oils: historical significance, chemical compositions and medicinal uses and benefits**. Nova Science Publishers, 2016, 215 p.

RAJAPAKSHA, C. *et al.* Seasonal variation of yield and composition in extracts from immature and mature *Eucalyptus bosistoana* leaves. **Flavour Fragrance Journal**, v. 38, n. 4, p. 293-300, 2023.

SALES, H.J.S.P. *Lavandula* L. - aplicação da cultura in vitro à produção de óleos essenciais e seu potencial económico em Portugal. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 992-999, 2015.

SHARMEEN, J. B. *et al.*, Essential oils as natural sources of fragrance compounds for cosmetics and cosmeceuticals. **Molecules**, v. 26, p. 666, 2021.

SOUZA, L. A. *et al.* Sazonalidade dos ductos secretores e óleo essencial de *Foeniculum vulgare* var. *vulgare* Mill. (Apiaceae). **Revista Brasileira de Farmacologia**, v. 5, n. 2, p. 155-161, 2005.

SOUZA, G.S. *et al.* Chemical composition and yield of essential oil from three *Croton* species. **Ciencia Rural**, v. 47, n. 8, e20161054, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 888 p. , 2017.

THAKUR, M.; KUMAR, R. Microclimatic buffering on medicinal and aromatic plants: A review. **Industrial Crops and Products**, v. 160, p. 113144, 2021.

THITINARONGWATE, W. *et al.* Anti-Inflammatory Activity of Essential Oil from *Zingiber ottensii* Valetton in Animal Models. **Molecules**, v. 27, n. 13, p. 4260, 2022.

VENTRELLA, M. C.; MING, L. C. Produção de matéria seca e óleo essencial em folhas de erva-cidreira sob diferentes níveis de sombreamento e épocas de colheita. **Horticultura Brasileira**, v. 18, p. 972-974, 2000.

YAMMINE, J. *et al.* Enhanced antimicrobial, antibiofilm and ecotoxic activities of nanoencapsulated carvacrol and thymol as compared to their free counterparts. **Food Control**, v. 143, p. 109317, 2022.

YAMMINE, J. *et al.* Advances in essential oils encapsulation: development, characterization and release mechanisms. **Polymer Bulletin**, v. 81, p. 3837-3882, 2024.