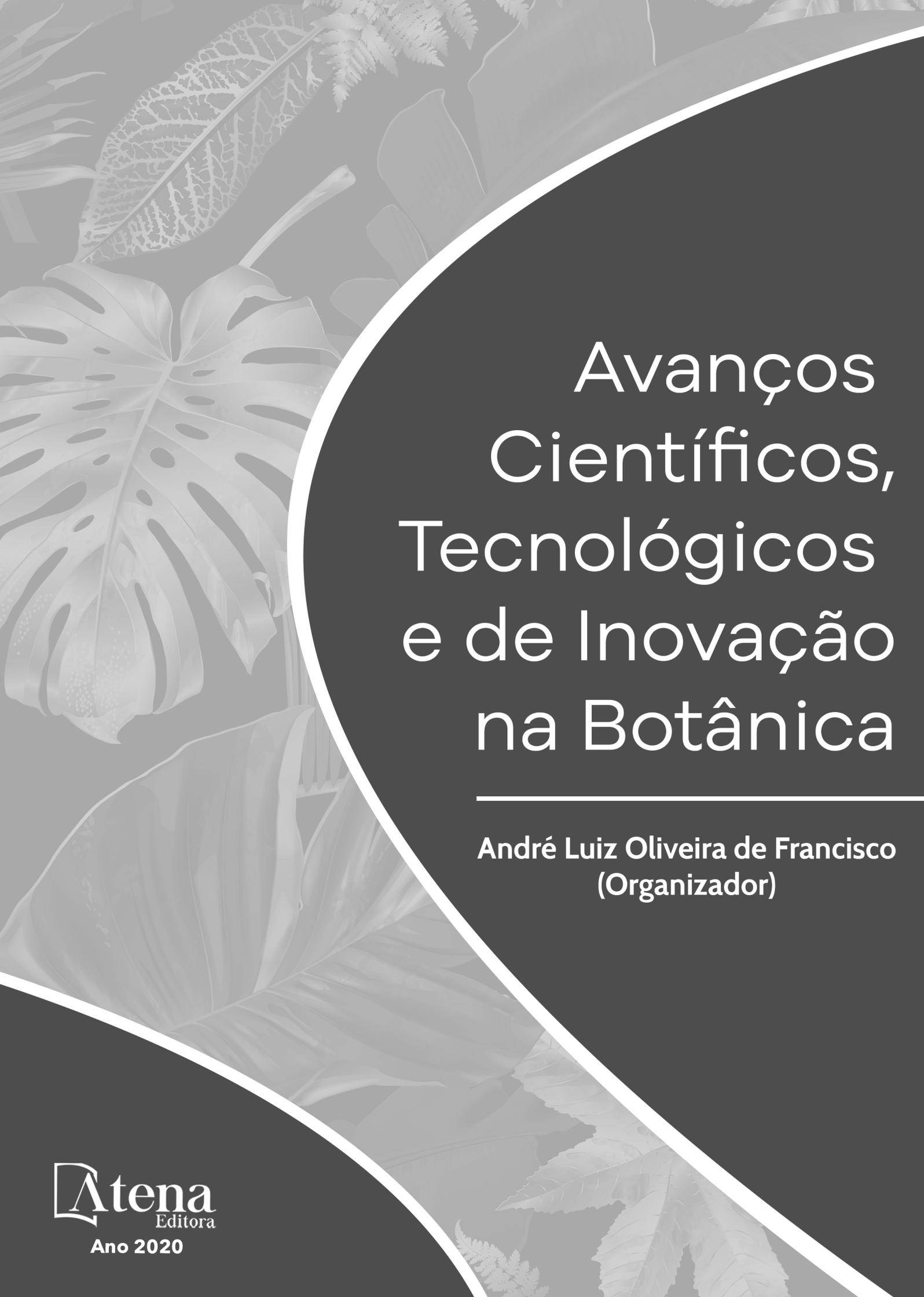




# Avanços Científicos, Tecnológicos e de Inovação na Botânica

---

André Luiz Oliveira de Francisco  
(Organizador)



# Avanços Científicos, Tecnológicos e de Inovação na Botânica

---

André Luiz Oliveira de Francisco  
(Organizador)

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação:** Lorena Prestes

**Edição de Arte:** Lorena Prestes

**Revisão:** Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie di Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná

Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Msc. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Dr. Adailson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Msc. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Msc. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
 Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
 Prof. Msc. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
 Prof. Msc. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
 Prof. Msc. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
 Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
 Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
 Prof. Msc. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof. Msc. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual de Maringá  
 Prof. Msc. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
 Prof<sup>a</sup> Msc. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
 Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

<b>Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)</b>	
A946	<p>Avanços científicos, tecnológicos e de inovação na botânica [recurso eletrônico] / Organizador André Luiz Oliveira de Francisco. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.</p> <p>Formato: PDF            Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader            Modo de acesso: World Wide Web            Inclui bibliografia            ISBN 978-85-7247-985-1            DOI 10.22533/at.ed.851201402</p> <p>1. Biologia vegetal. 2. Botânica – Tecnologia. 3. Meio ambiente – Conservação. I. Francisco, André Luiz Oliveira de.</p> <p style="text-align: right;">CDD 582.1</p>
<b>Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422</b>	

Atena Editora  
 Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
 contato@atenaeditora.com.br

## APRESENTAÇÃO

O livro Avanços Científicos, Tecnológicos e de Inovação na Botânica traz ao leitor temas originais e abordagens diferenciadas, sendo 7 capítulos, nos quais o leitor poderá desfrutar de pontos da biologia vegetal aplicada relacionado a temáticas anatômicas, histológicas, bioquímicas, fisiológicas todas com aplicações em diversos setores da ciência.

A obra tem como objetivo apresentar estudos científicos recentes e inovadores que buscam colocar enfoque em temáticas pouco abordadas (raras), mas com grande aplicabilidade e informações ainda pouco dominadas da biologia vegetal nos ambientes acadêmicos, promovendo atualização do conhecimento e abrindo caminho para novos enfoques e ideias de pesquisa.

A abrangência dos temas promove uma teia de informações que levam a diferentes áreas do conhecimento científico se encontrando em torno do amplo mundo a botânica. Temas como tecnologia de sementes, anatomia e morfologia vegetal, fisiologia vegetal, bioquímica se inter-relacionando num mesmo capítulo a fim de demonstrar dados ainda pouco conhecidos e utilizando-se de técnicas diversas, desde simples como avaliações histológicas a complexas como a cromatografia, levando ao leitor experiências de conhecimento diferenciadas.

A aplicação dos temas estudados é constante nos capítulos presentes na bibliografia, sempre com alcance a diferentes áreas do conhecimento inclusive em um mesmo capítulo. Esta abrangência de áreas na obra amplia a utilidade desta em diferentes ambientes acadêmicos, além de promover a apresentação e integração de temáticas pouco conhecidas entre as áreas do conhecimento.

Neste sentido ressaltamos a importância desta leitura de forma a incrementar o conhecimento da aplicabilidade da botânica e sua inter-relação com áreas do conhecimento correlatas, somando-se a estes, artigos com temas pouco retratadas. Assim tornando sua leitura uma abertura de fronteiras para sua mente com qualidade e didática promovida pela estrutura da Atena Editora. Boa leitura!

André Luiz Oliveira de Francisco

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA E HISTOQUÍMICA DA LÂMINA FOLIAR DE <i>SIDA rhombifolia</i> L.	
Rafaela Damasceno Sá Cledson dos Santos Magalhães Karina Perrelli Randau	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8512014021</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
GERMINAÇÃO <i>IN VITRO</i> E PROPAGAÇÃO DE <i>CYRTOPODIUM FLAVUM</i> (ORCHIDACEAE) UTILIZANDO O SECCIONAMENTO DE PROTOCORMOS	
Suzana Stefanello Fabielle Garcia Zandonadi da Cruz Carina Kozera Samara Zanella	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8512014022</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>24</b>
IDENTIFICAÇÃO DE ISOPRENOIDES NA FRAÇÃO HEXÂNICA DAS FOLHAS DE <i>MACHAERIUM ACUTIFOLIUM</i> POR CG-EM	
Adonias Almeida Carvalho Jurema Santana de Freitas Lucivania Rodrigues dos Santos Bruno Quirino Araújo Mariana Helena Chaves	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8512014023</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>35</b>
MUDANÇAS NA MORFOLOGIA DOS SILICOFITÓLITOS DE ACORDO COM A SENESCÊNCIA DAS FOLHAS DA ESPÉCIE <i>Brachiaria decumbens</i> WILD	
Heloisa Helena Gomes Coe Raphaella Rodrigues Dias Giliane Gessica Rasbold Sarah Domingues Fricks Ricardo Igo Fernando Lepsch	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8512014024</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>50</b>
ÓLEOS ESSENCIAIS DE CITRONELA ( <i>CYMBOPOGON NARDUS</i> L.) RENDLE - (POACEAE): COMPOSIÇÃO, ATIVIDADES ANTIOXIDANTE E ANTIBACTERIANA	
Stelina Timani Pinheiro Pedro Henrique Ferreira Tomé Mônica Hitomi Okura Nilvanira Donizete Tebaldi Nágilla Daliane Feliciano Edson José Fragiorge	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8512014025</b>	

<b>CAPÍTULO 6 .....</b>	<b>64</b>
POLÍMEROS DE PAREDE CELULAR E CARBOIDRATOS NÃO ESTRUTURAIIS DE ESPÉCIES ARBÓREAS PIONEIRAS E NÃO PIONEIRAS DA FLORESTA ATLÂNTICA DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL	
Bernardo Pretti Becacici Macieira	
DOI 10.22533/at.ed.8512014026	
<b>CAPÍTULO 7 .....</b>	<b>78</b>
PRODUÇÃO E VARIAÇÕES QUÍMICAS DE ÓLEOS ESSENCIAIS: UMA BREVE REVISÃO SOBRE OS FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE E A QUANTIDADE	
Ygor Jessé Ramos	
Jéssica Regina Sales Felisberto	
Claudete da Costa - Oliveira	
Elisama Duarte de Pontes	
Daniel de Brito Machado	
Irene Candido Fonseca	
Davyson de Lima Moreira	
DOI 10.22533/at.ed.8512014027	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR.....</b>	<b>105</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO .....</b>	<b>106</b>

## PRODUÇÃO E VARIAÇÕES QUÍMICAS DE ÓLEOS ESSENCIAIS: UMA BREVE REVISÃO SOBRE OS FATORES QUE AFETAM A QUALIDADE E A QUANTIDADE

Data de aceite: 06/02/2020

Data de submissão: 09/11/2019

### **Ygor Jessé Ramos**

Doutorando, Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ

Link para Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3271824948370332>

### **Jéssica Regina Sales Felisberto**

Mestranda, Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ

Link para Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8276429436003589>

### **Claudete da Costa - Oliveira**

Mestranda, Pós-graduação em Pesquisa Translacional em Fármacos e Medicamentos, Farmanguinhos, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro – RJ

Link para Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2542263326143652>

### **Elisama Duarte de Pontes**

Mestranda, Pós-graduação em Pesquisa Translacional em Fármacos e Medicamentos, Farmanguinhos, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro – RJ

Link para Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1590026264641174>

### **Daniel de Brito Machado**

Mestrando, Pós-Graduação em Biologia Vegetal da Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ

Link para Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1030945110658186>

### **Irene Candido Fonseca**

Iniciação Tecnológica, Farmanguinhos, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro – RJ

Link para Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7423354520981285>

### **Davyson de Lima Moreira**

Pesquisador Titular, Departamento de Produtos Naturais, Farmanguinhos, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro – RJ

Link para Currículo Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7863875298510179>

**RESUMO:** A regulação biossintética dos constituintes de óleos essenciais é determinada por expressão gênica, no entanto, sabe-se que a síntese de metabólitos especiais está intimamente relacionada com as respostas ao meio no qual o vegetal está inserido. Portanto, este capítulo tem como objetivo realizar uma breve revisão dos diversos fatores que podem alterar a qualidade, produção e composição química de óleos essenciais. Abordagem centrada, também, nos fatores classificados como bióticos, abióticos e os provenientes de ações de transformações de plantas com potenciais econômicos. Com o levantamento

realizado, registra-se que as concentrações de substâncias presentes em óleos essenciais são frequentemente afetadas por diferentes fatores, como temperatura, intensidade luminosa, estresse hídrico, disponibilidade de nutrientes no solo, predação, parasitismo, ciclo circadiano, sazonalidade, estímulos mecânicos, dentre outros. Igualmente, imprecisões nos processos de manipulação da planta, da qual serão obtidos os óleos essenciais, também exercem força atuante no acúmulo de metabólitos especiais que constituem os óleos essenciais, tendo como exemplo as condições de coleta, monda, limpeza, bioeliminação, armazenamento, processos de secagem, estabilização, cominuição e os diferentes tipos de extrações. Estes fatores podem causar uma alteração significativa na qualidade e quantidade das substâncias químicas componentes de óleos essenciais. Muitas das vezes é difícil atribuir uma mudança a um fator específico, pois geralmente, a influência é complexa e envolve vários agentes de estresse simultaneamente, alterando as características dos voláteis, particularmente, a composição química que está diretamente associado ao seu valor terapêutico. Nesse contexto, a compreensão dos aspectos que atuam no controle de qualidade e produção de óleos essenciais é um tema importante a ser investigado e merece atenção por parte da comunidade científica, pois podem ocasionar problemas de saúde, implicações ecológicas e industriais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ecologia química; Fatores Abióticos; Fatores Bióticos; Tecnologia Farmacêutica.

## PRODUCTION AND CHEMICAL VARIATIONS OF ESSENTIAL OILS: A BRIEF REVIEW OF FACTORS AFFECTING QUALITY AND QUANTITY

**ABSTRACT:** The biosynthetic regulation of essential oil constituents is determined by gene expression, however, it is known that the synthesis of special metabolites is closely related to the responses to the environment in which the vegetable is introduced. Therefore, this chapter aims to conduct a brief review of the many factors that may alter the quality and production of essential oils. Approach also focused on factors classified as biotic, abiotic and those resulting from actions of plant transformations with economic potential. Based on literature records, it was registered that the concentrations of the substances in the essential oils would often be affected by different factors, such as temperature, light intensity, water stress, soil nutrients, predation, parasitism, circadian cycle, seasonality, mechanical stimuli, among others. Likewise, inaccuracies in the handling processes of the plant, from which the essential oils will be obtained, also exert an active force in the accumulation of these metabolites, such as the conditions of collection, weeding, cleaning, bioelimination, storage, drying processes, stabilization, comminution and the different types of extractions. These factors can cause a significant change in the composition of the volatiles. It is often difficult to assign a change to a specific factor, as the influence is often complex and involves several stressors simultaneously, changing the characteristics of volatiles, particularly the chemical composition that is directly associated with their therapeutic value. In this context, the understanding of the aspects that act in the quality control and production of essential

oils is an important subject to be investigated and deserves attention from the scientific community, as they may cause health problems, ecological and industrial implications.

**KEYWORDS:** Chemical ecology; Abiotic factors; Biotic factors; Pharmaceutical technology.

## 1 | INTRODUÇÃO

Óleos essenciais (OE) são misturas complexas de substâncias lipossolúveis, voláteis, geralmente odoríferas e aromáticas produzidas a partir do metabolismo especial de plantas. Geralmente, essa mistura é composta de substâncias como os terpenos (monoterpenos e sesquiterpenos), arilpropanoides e, raramente, substâncias leves sulfuradas e nitrogenadas (MAGEL *et al.*, 2006; LEE; DING, 2016).

O acúmulo dessas micromoléculas em misturas complexas tem ação de proteção e sinalização inter e intra-específica para o vegetal, ademais, estudos recentes demonstraram a sua relevância para a saúde humana (BOUYAHYA *et al.*, 2017; SALEHI *et al.*, 2018; SALEM *et al.*, 2018;).

Em geral, a regulação biossintética dos constituintes químicos dos OE é determinada por expressão gênica, no entanto, sabe-se que a qualidade da constituição fitoquímica dos OE produzida pelo vegetal pode sofrer variações decorrentes da influência de processos bioquímicos, ecológicos, fisiológicos, ambientais e manipulação da planta (YOSR *et al.*, 2013; BOUYAHYA *et al.*, 2017). Assim, os voláteis podem se converter facilmente por reações de oxidação, isomerização, ciclização polimerização ou desidrogenação, acionadas enzimaticamente ou quimicamente. Essa variação causada pelas respostas ambientais e fisiológicas tem sido um dos principais obstáculos para garantir a qualidade de OE, como também, a colheita, pós-colheita e ações de transformações na produção industrial de fitomedicamentos e até mesmo de cosméticos (BOUYAHYA *et al.*, 2017; SALEHI *et al.*, 2018; SALEM *et al.*, 2018).

Portanto, este capítulo tem como objetivo realizar uma breve revisão dos diversos fatores que podem alterar a qualidade, produção e composição química de OE. Abordagem centrada, também, nos fatores classificados como bióticos, abióticos e os provenientes de ações de transformações de plantas com potenciais econômicos.

## 2 | QUAIS SÃO AS FUNÇÕES EXERCIDAS POR ÓLEOS ESSENCIAIS E QUAIS FATORES ALTERAM SUA COMPOSIÇÃO?

Os OE exercem várias funções ecológicas, dentre essas estão a comunicação entre plantas (volatilização e lixiviação); defesa contra outras plantas (alelopatia positiva e negativa); defesa contra parasitas, incluindo fungos e bactérias; defesa contra herbivoria; atração de disseminadores de sementes e polinizadores; interação com feromônios; proteção contra estresses ambientais (antioxidantes); atração de

inimigos naturais de herbívoros (ABBAS *et al.*, 2017; LOAIZA; CÉSPEDES, 2007).

Vale ressaltar que a biossíntese da maioria dos metabólitos especiais, incluindo terpenos e arilpropanoides, tende a ocorrer em estágios específicos durante o desenvolvimento da planta e dentro de tecidos específicos. Dependendo do tecido/ parte da planta em estudo, composições químicas totalmente diferentes podem ser obtidas (ABBAS *et al.*, 2017; YU; UTSUMI, 2009). Essa diferenciação na distribuição/ armazenamento dos processos de biossíntese e de substâncias que compõe os OE nos diferentes compartimentos vegetativos tem inter-relação com a questão evolutiva específica de cada táxon, denominado de co-evolução bioquímica. Esse fato sugere uma especialização a depender das relações ecológicas estabelecidas durante a história dessa espécie no ambiente (GOTTLIEB *et al.*, 1996; FIGUEIREDO *et al.*, 2008; GOTTLIEB *et al.*, 2012).

O ambiente também influencia de forma direta na produção/composição química dos OE nas plantas de maneira qualitativa e quantitativa. As plantas respondem aos estímulos externos, com finalidade de sobreviver às adversidades impostas, através de modificações morfológicas ou fisiológicas como respostas imediatas. Dessa forma, didaticamente, é possível compreender que os fatores que influenciam/ alteram a produção de OE são três: os **bióticos**, **abióticos** e **bioquímicos/genéticos** (GOTTLIEB *et al.*, 2012; LOAIZA; CÉSPEDES, 2007; GOBBO-NETO; LOPES, 2007).

Os fatores bióticos envolvem a própria planta, como o estágio de desenvolvimento dos órgãos, dos tecidos, das células produtoras e dos estágios fenológicos. Outrossim, ainda existem modificações associadas às funções ecológicas, anteriormente mencionadas (ABBAS *et al.*, 2017; FIGUEIREDO *et al.*, 2008; LOAIZA; CÉSPEDES, 2007);

Os fatores abióticos podem ser considerados aqueles que são derivados de aspectos físicos, químicos ou físico-químicos do meio ambiente, tais como a qualidade luminosa disponível, variações climáticas (umidade relativa, ventos, temperatura e precipitações), disponibilidade de nutrientes e de água, danos físicos, composição atmosférica (poluição), presença de reguladores do crescimento e variações sazonais (ABBAS *et al.*, 2017; FIGUEIREDO *et al.*, 2008; LOAIZA; CÉSPEDES, 2007);

Os fatores genéticos e bioquímicos são os intrínsecos, tais como as multifuncionalidades enzimáticas, alterações epigenéticas que incluem mudanças na estrutura da cromatina (remodelação da cromatina/ metilação do DNA), transcrição de genes inativos, como também estenose do cromossomo (dilatação, duplicação, inversão, translocação, *crossing over*) (ABBAS *et al.*, 2017; YU; UTSUMI, 2009; LOAIZA; CÉSPEDES, 2007).

Entende-se que esses fatores não são dissociados e somam-se uns aos outros (ABBAS *et al.*, 2017; FIGUEIREDO *et al.*, 2008). Essas alterações nas composições químicas dos OE, derivadas da diversidade de rotas metabólicas e de enzimas catalisadoras de múltiplos substratos, direcionam-se a promover riquezas estruturais e uma complexidade biossintética em plantas, que muitas das vezes, apresentam-se

restritas a uma determinada família vegetal e, em alguns casos, em uma única espécie (WENG *et al.*, 2012).

### 3 | COMO A BIODIVERSIDADE CORROBORA COM A VARIAÇÃO QUÍMICA E PROMOVE CLASSIFICAÇÕES PARA OS ÓLEOS ESSENCIAIS?

A quimiodiversidade ou diversidade química é oriunda das diversas variações proveniente das relações entre e intra os ecossistemas existentes, por meio da plasticidade fenotípica (GUO *et al.*, 2008; WENG *et al.*, 2012).

Assim como a biodiversidade, entender os conceitos de variações intraespecíficas é fundamental para compreender a quimiodiversidade. Ainda, as variações são medidas pelas expressões fenotípicas (fisiológico e morfológico), que são derivadas de um genótipo, quando exposto a diferentes ambientes (GUO *et al.*, 2008; WENG *et al.*, 2012).

Os OE são misturas que possuem classes de substâncias com o maior número em diversidade estrutural, sendo, então, importantes para os estudos sobre variações químicas em plantas e de contribuições para o entendimento da quimiodiversidade. Como resultado, a característica mais apreciável nos OE é o aspecto sensorial olfativo, pois as alterações associadas às variações na composição química, frequentemente, são perceptíveis ao sistema olfativo humano e animal (SIMÕES *et al.*, 2017).

Até o final do Século XIX, pesquisadores já possuíam a compreensão de que os OE podiam ter sua composição química modificada de acordo com a região na qual as plantas eram cultivadas. Sendo assim, os OE comerciais recebiam, muitas vezes, o nome dessas regiões, que se denominavam geotipos (WOLFFENBÜTTEL, 2016). A primeira tentativa de classificação desses OE foi proposta em 1975 por Pierre Franchomme, com uma terminologia denominada por ele como “assinatura bioquímica das plantas”, ou *chemotype* (ou *chimiotype* ou *race chimique*). Esses **quimiotipos** (QT) tinham como definição apenas a variação no componente principal dos OE de uma mesma espécie, nos diferentes ambientes. Em 2006, essa definição foi formalizada pela União Europeia pelo *Registration, evaluation and authorisation of chemicals* (REACH) (FRANCHOMME *et al.*, 2001).

Com os avanços dos estudos sobre os polimorfismos químicos dos OE surgiram diversos conceitos associados aos termos de Pierre Franchomme. O significado somente atinge a mais ampla compreensão, até o momento, quando foram considerados os fatores extrínsecos (a soma dos fatores bióticos, abióticos e de ações antrópicas), e fatores intrínsecos (fatores bioquímicos e genéticos) (Figura 2). O entendimento sobre os fenômenos das variações intraespecíficas ampliou o conceito de QT e houve a introdução de outras classificações para OE, entre essas estão **geotipo** e **ecotipo**. Assim, esses termos são definidos como:

**I - Quimiotipos** (*i.e.* raça química): variações intraespecíficas contínuas expressas na alteração da substância química majoritária do OE de uma espécie,

que são derivadas de pequenas alterações genéticas, e que proporcione pouco ou nenhum efeito na morfologia e grande mudança no fenótipo químico, sem inviabilizar o cruzamento com sucesso com outro membro da mesma espécie e podendo garantir a transferência da modificação hereditariamente. Tem como requisito uma expressão fenotípica química diferente, mesmo quando cultivado em ambiente diferente do habitat, com a existência de uma mesma espécie com elevado grau de concordância no genótipo (GUO *et al.*, 2008; HILAN *et al.*, 2011; POLATOGLU, 2013; HASHEMI *et al.*, 2018).

**II – Ecotipos** (*i.e.* raça ecológica): variações intraespecíficas contínuas expressas na alteração da substância química majoritária do OE de uma espécie, derivadas de alterações genéticas, com modificações morfológicas significativas e sem inviabilizar o cruzamento com sucesso com outro membro da mesma espécie. Tem como requisito a possibilidade de ter uma expressão fenotípica química e morfológica diferente, mesmo quando cultivado em ambiente diferente do habitat, com a existência de uma mesma espécie com elevado grau de concordância no genótipo (GUO *et al.*, 2008; HASHEMI *et al.*, 2018).

**III – Geotipos** (*i.e.* respostas ambientais; variações químicas): variações intraespecíficas descontínuas expressas nas alterações da substância química majoritária do OE de uma espécie, derivados, exclusivamente, das pressões associadas aos fatores abióticos e bióticos, sem inviabilizar o cruzamento com sucesso com outro membro da mesma espécie. Estes polimorfismos químicos estão associados aos processos de aclimatização, tendo como requisito ter uma expressão fenotípica química e morfológica igual, mesmo quando cultivado em ambiente diferente do habitat, com a existência de uma mesma espécie com elevado grau de concordância no genótipo (KURLOVICH, 1998; GUO *et al.*, 2008; WOLFFENBÜTTEL, 2016; HASHEMI *et al.*, 2018;).

Na literatura, muitas vezes, o termo QT é utilizado como sinônimo para geotipo e ecotipo. Para Guo e colaboradores (2008) esse fato advém da carência de orientação teórica sistemática sobre a temática. Segundo esses autores, existe uma relação muito alta entre o aumento de plasticidade fenotípica e o ecotipo. Relatam também, que existe uma relação entre plasticidade fenotípica morfológica com os quimiotipos, mas não é condicionante. Então, é postulado que todo QT pode ser um ecotipo e nem todo ecotipo é um QT (Figura 1). Para isso, é necessária uma análise sobre todos os fatores (ambientais e morfológicos), com finalidade de atribuir corretamente o conceito aos resultados (GUO *et al.*, 2008; POLATOGLU, 2013).

Comumente, o termo geotipo não é mais empregado cientificamente, apenas com finalidades comerciais, adotando apenas a nomenclatura variação química e para descrever OE típicos de uma certa regiões (HASHEMI *et al.*, 2018; WOLFFENBÜTTEL, 2016). O termo ecotipo foi introduzido recentemente para os estudos de OE (GUO *et al.*, 2008). Alguns autores apontam a existência dos QT em OE como um processo de especiação (FRELLO; HESLOP-HARRISON, 2000; TAVARES *et al.*, 2005).

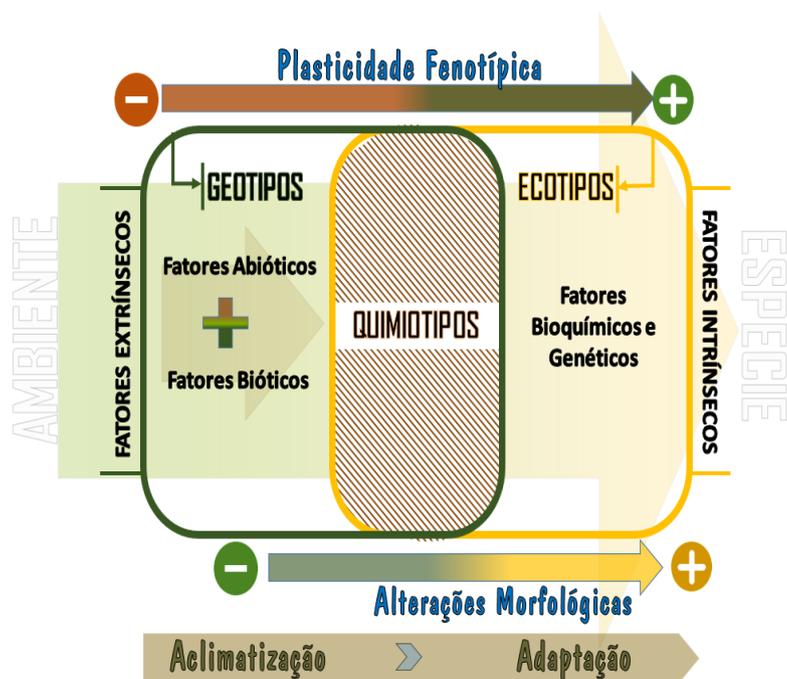


Figura 1. Esquema representativo das relações entre os conceitos de quimiotipos, ecotipos e geotipos em relações aos fatores de influência na produção de óleos essenciais, plasticidade fenotípica e o processo de aclimatização e adaptação.

A plasticidade fenotípica química em OE é vista como amplitude da variabilidade do fenótipo frente às mudanças ambientais, permitindo as plantas apresentarem diversas atividades biológicas (BRADSHAW, 1965; KAMADA *et al.*, 1999). Igualmente aos fatores culturais e genéticos, essas variabilidades químicas (genética-ambiente) podem justificar as diferenças de recomendações terapêuticas para plantas medicinais pelo saber popular em diferentes regiões (KAMADA *et al.*, 1999; HALBERSTEIN, 2005). Ainda, as ações de transformações realizadas pelo homem sobre os vegetais podem ocasionar alterações na composição química de OE. Na figura 2 são demonstrados diversos fatores que alteram a composição química de OE, entre esses estão: estágio de desenvolvimento e fase fenológica; variações no genótipo; herbívora/ patogénia; atração de polinizadores; disponibilidade hídrica e umidade; poluição atmosférica; Intensidade luminosa e temperatura; variações na composição química do solo; altitude, latitude e longitude; ações de transformações das plantas com potenciais econômicos (colheita e processamentos pós-colheita).

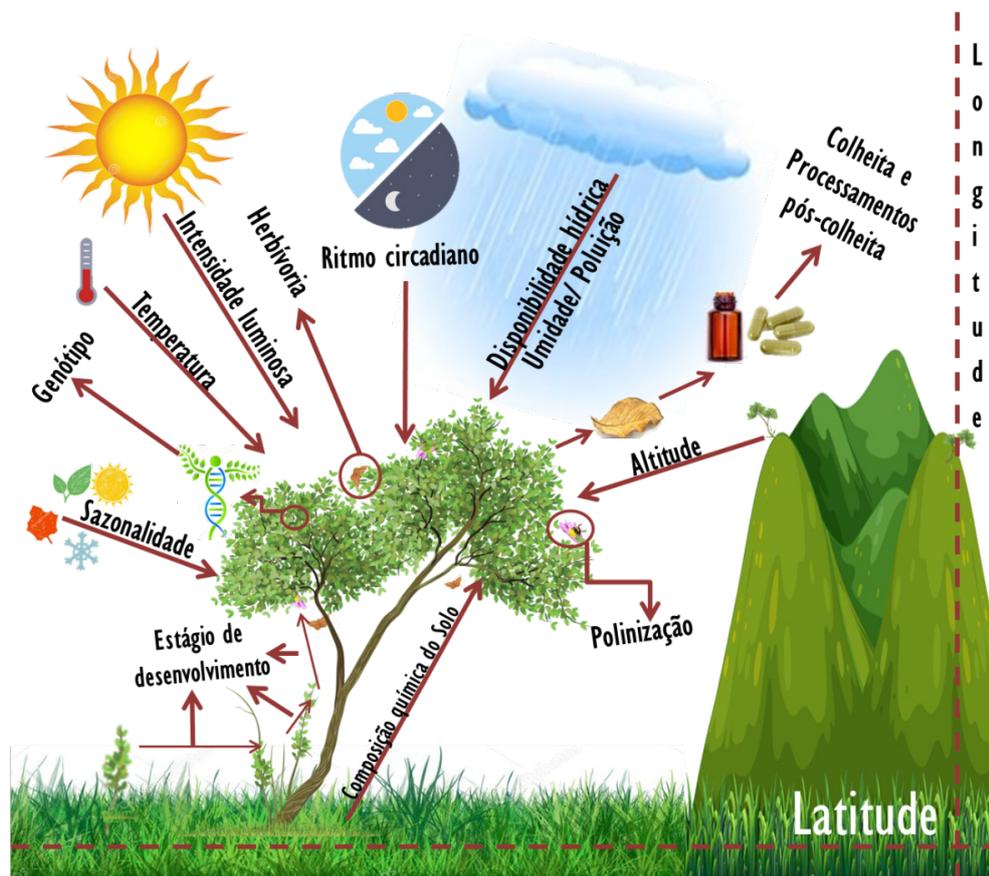


Figura 2. Principais fatores que podem afetar a composição química dos óleos essenciais em espécies vegetais

#### 4 | ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTOS FOLIARES E VEGETATIVO

Os OE são produzidos por estruturas secretoras especializadas como glandulares, células de parênquima diferenciadas e ainda canais oleíferos. A síntese de isoprenos é regulada pelo gene *IspS* (isopreno sintase) que está presente em apenas alguns gêneros de plantas (DANI *et al.*, 2014; LANTZ, 2019). Embora a produção seja realizada por células específicas, os OE podem ser encontrados em diferentes órgãos vegetais, por exemplo, flores, frutos, cascas, raízes e lenhos, e estes podem apresentar diferente composição química, mesmo sendo obtido a partir de um mesmo indivíduo (YOSR *et al.*, 2013, WANZALA *et al.*, 2016).

Durante o processo de desenvolvimento da planta, algumas vias biogénicas produtoras de terpenos são acionadas no primeiro momento de surgimento dos cotilédones, no entanto, a síntese de determinados produtos do metabolismo especial dessa via não se iniciam até que todas as vias biogénicas sejam acionadas completamente (LI *et al.*, 2013).

Análises comparativas entre OE produzido por folhas em diferentes estágios de crescimento demonstram que tanto o rendimento quanto a composição química apresentam variação significativas, sendo que essas influências são diferentes para cada táxon (GENG *et al.*, 2011; LIU *et al.*, 2015; BASIRI *et al.*, 2019).

Estudo de correlação entre a idade foliar e o rendimento de OE de espécies

aromáticas tem sido realizados. Estes estudos descrevem que o maior rendimento é encontrado por folhas nos estágios iniciais de maturação e, conforme a folha chega à maturação completa, este rendimento é reduzido. Essa observação é explicável, pois, ao alcançar à maturação máxima e cessar a expansão do limbo foliar, a produção de OE será menor e a abundância diminuirá devido à evaporação e/ou degradação das substâncias presentes nos OE (LI *et al.*, 2013; LIU *et al.*, 2015).

É possível, ainda, correlacionar o rendimento dos OE com a densidade das células oleíferas e o grau de desenvolvimento destas de modo que à medida que a folha se aproxima da idade degenerativa ocorre uma maior degradação dessas células, causando diminuição no rendimento do OE (LI *et al.*, 2013; LEE; DING, 2016). Além do rendimento, a composição química também foi correlacionada com a idade foliar. Folhas mais jovens tendem a produzir maior quantidade de diferentes substâncias se comparadas a folhas maduras (LI *et al.*, 2013; LIU *et al.*, 2015). No entanto, cada espécie vai responder de forma diferente a estas variáveis e, geralmente, a idade foliar causará influência na variação da qualidade e quantidade das frações voláteis (LI *et al.*, 2013; LIU *et al.*, 2015; LEE; DING, 2016). Normalmente, as folhas próximas do estágio de senescência terão menor rendimento de voláteis, pois o processo de senescência implica na redução da atividade metabólica, além de redução da área ativa de fotossíntese. Consequentemente, para a produção de OE com alta qualidade em constituintes químicos, bem como grande rendimento, faz-se necessário estudo que avalie o grau de influência desses parâmetros (LEE; DING, 2016).

Além do estágio de desenvolvimento da folha, a identificação dos eventos fenológicos possibilita correlacionar as condições adequadas que favorecerão a biossíntese de substâncias desejadas, assim como o melhor rendimento do OE (YOSR *et al.*, 2013; FLAMINI *et al.*, 2013; ESMAEILI *et al.*, 2018; SALEM *et al.*, 2018; FARHAT *et al.*, 2019). Estudos recentes destacam que há uma tendência de aumento de rendimento de OE em diferentes partes vegetativas no período de floração e frutificação (YOSR *et al.*, 2013; FLAMINI *et al.*, 2013; ESMAEILI *et al.*, 2018; SALEM *et al.*, 2018; FARHAT *et al.*, 2019). Contudo, resultados encontrados por Wannes e Marzouk (2012) ao estudar o OE produzido por *Myrtus communis* var. *baetica* (L.) Casares & Tito, evidenciaram uma diminuição no rendimento de OE nas folhas à medida que os frutos foram madurando.

Além do rendimento, a composição química dos OE também apresentam variações em função dos estágios fenológicos. É descrito na literatura que é possível obter determinada substância no estágio vegetativo e a mesma não ser detectada no estágio reprodutivo (YOSR *et al.*, 2013; FLAMINI *et al.*, 2013; ESMAEILI *et al.*, 2018). Alguns autores explicam que essas variações na concentração de substâncias estão associadas à ontogenia e às modificações morfológicas (aumento no tamanho, número e na densidade das glândulas individuais, à medida que ocorre a maturação das plantas). Isto pode causar influência direta na variação e na qualidade do OE produzido (LEE; DING, 2016; SALEM *et al.*, 2018). De qualquer forma, embora exista

uma relação entre as características apresentadas pelos OE com as fenofases, esta última é influenciada diretamente pelas condições atmosféricas, principalmente pela temperatura e intensidade luminosa (MAGEL *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2012; SALEM *et al.*, 2018). Por fim, ainda há possibilidades de a fenologia não causar nenhuma influência na qualidade e quantidade de OE, assim como foi descrito por Yosr e colaboradores (2013).

Assim sendo, conhecer a fenologia e estágio de desenvolvimento de uma planta é fundamental para que seja possível um manejo racional de forma a definir a melhor época de colheita, pois dependendo da finalidade do uso do OE este deve ser obtido em momentos específicos das fenofases, já que a variação da constituição acarreta divergências nos efeitos biológicos desejáveis.

## 5 | HERBIVORIA E PATOGENIA

Sabe-se que os constituintes voláteis variam de maneira quantitativa e qualitativa em resposta aos ataques de herbívoros e agentes patogênicos. No entanto, as plantas desenvolveram alternativas para sanar os prejuízos causados por essa interação ecológica (DICKE; LORETO, 2010; TROWBRIDGE *et al.*, 2013; MAURYA, 2019).

Os OE são conhecidos por apresentarem função de defesa contra outros organismos. Essa defesa pode ser direta, que afeta diretamente o desempenho do inseto/patógeno; ou indireta, na qual substâncias emitidas pela planta atraem parasitas e predadores do inseto fitófago (MARANGONI *et al.*, 2013). Essas interações são conhecidas como aleloquímicas. Em caso de defesa direta, por exemplo, tem-se que os monoterpenos  $\alpha$ - e  $\beta$ -pinenos, 3-careno, limoneno, mirceno,  $\alpha$ -terpineno e canfeno apresentam excelente atividade inseticida, atuando como inibidores ou retardadores de crescimento, danos na maturação, redução da fertilidade, supressores de apetite, alteração de comportamento, dentre outros (MARANGONI *et al.*, 2013). Com relação ao rendimento dos OE extraído de plantas altamente predadas ou infectadas por patógenos, há uma tendência de diminuição, pois com a predação ocorre a diminuição da área foliar, e conseqüentemente, afeta os parâmetros da taxa fotossintética (COPOLOVICI *et al.*, 2014). No entanto, essa produção pode, ainda, ser intensificada, como é o caso de folhas de *Pinus pinaster* Ailton submetidas a infecções com micélio de *Verticicladiella* sp. que aumentou em 60 vezes o rendimento de seu OE.

Copolovici e colaboradores (2014) demonstraram uma variação na quantidade do monoterpeno ocimeno em folhas de *Quercus robur* L. em função do ataque da mariposa *Lymantria dispar* L. (Lymantriidae). Esse aumento foi correlacionado com a ativação da enzima ocimeno-sintase causada pelo contato com substâncias elicitórias presentes na saliva da mariposa.

A emissão de substâncias voláteis, normalmente, se dá logo após uma lesão ocorrida na folha e, conseqüentemente, nas células vegetais. Porém, estudos revelam que muitos terpenos somente são produzidos após ataques de alguns insetos ou

outros herbívoros, e não após um dano lesivo mecânico qualquer. Novamente tem-se como exemplo, folhas de *P. pinaster* Ailton que foram perfuradas para mimetizar um ataque. Neste caso houve um aumento de duas vezes no rendimento do OE, pouco se comparado ao rendimento demonstrado por folhas infectadas (MITHOFER *et al.*, 2005). Isto ocorre pela presença de detectores distintos na saliva dos herbívoros que são essenciais para a produção de novos constituintes voláteis, também específicos. Por exemplo, detectores na saliva de herbívoros estimulam a produção de ácido jasmônico em alguns OE, resultando em um potente inibidor da ação lesiva destes predadores (HEIL, 2009).

Voláteis também podem exercer um papel de excelência na defesa contra fungos e bactérias. Um estudo realizado com crisântemos (*Chrysanthemum* sp., Asteraceae) demonstrou uma significativa distinção entre os constituintes voláteis de plantas infectadas com microrganismos em relação ao grupo controle, o que demonstra papel fundamental na atividade antifúngica (PIESIK-DARIUSZ *et al.*, 2015).

A predação foliar por herbívoros pequenos não causa grandes prejuízos a áreas foliares nem variação na constituição de voláteis, porém, a exposição a um número exacerbado de predadores pode causar grandes impactos na folha, diminuindo a taxa fotossintética e causando alterações da composição química dos OE. Fatores abióticos incluindo a herbívora por insetos têm levado ao declínio de grandes populações de carvalho (COPOLOVICI *et al.*, 2017).

## 6 | ATRAÇÃO DE POLINIZADORES

Como organismos sésseis, as plantas utilizam de um vasto número de substâncias aleloquímicas que permitem um rico “diálogo” com espécies opositoras e cooperadoras (MAFFEI, 2010). Em muitas angiospermas, em seu estágio de maturação floral, há uma grande proliferação e emissão de constituintes voláteis para atrair insetos que farão a polinização cruzada da espécie (HOSSAERT-MCKEY *et al.*, 2010).

Variações intraespecíficas e interespecíficas dos voláteis acontecem demasiadamente em indivíduos no período de floração, com a função de produzir uma grande quantidade de sinais específicos que irão atrair polinizadores para uma área onde a fecundação não ocorreu (CORNILLE *et al.*, 2012). Porém, após a fecundação, é válido para a planta não atrair polinizadores para o estigma para que ao invés de auxiliarem o processo de reprodução, atrapalhem a formação do tubo polínico. Para isto, é necessário que as flores tornem-se menos atrativas, o que é conseguido após alteração no padrão de seus emissores voláteis, que reduz a atração de insetos não polinizadores (SCHIESTL; AYASSE, 2001).

Mudanças na composição dos voláteis em espécies de figo (*Ficus hispida* L., *Ficus semicordata* Buch. Ham. ex Sm. e *Ficus curtipes* Corner) apresentaram substituições fundamentais no período de receptividade e pós receptividade das flores. Por exemplo, análises dos OE identificaram a presença do monoterpene ocimeno em

grandes quantidades no período receptivo (período de maior densidade de atração de polinizadores). Por conseguinte, nos períodos pós-receptividade, os constituintes majoritários do OE foram identificados como limoneno e  $\alpha$ -pineno, uma mistura sinérgica que pode ter a função dispersora de polinizadores ou tornar a flor menos atrativa (PROFFIT *et al.*, 2018)

Alterações qualitativas também ocorrem em *Salvia verticillata* L. (Lamiaceae), quando a densidade das abelhas *Apis mellifera* L. (Hymenoptera), aumenta no local de ocorrência de *Setaria verticillata* (L.) P. Beauv., na qual a presença de 1,8-cineol também é demasiadamente alta nos botões florais (GIULIANI *et al.*, 2018).

O estudo feito com duas espécies de orquídeas de clados totalmente distintos mostrou que estas podem adaptar-se ao mesmo nicho ecológico produzindo metabólitos semelhantes para atração de um polinizador específico (NUNES *et al.*, 2017). Assim sendo, é evidente que a busca pela polinização cruzada faz com que as plantas alterem o conteúdo de seus constituintes voláteis para atrair seus polinizadores no período de reprodução. Este fato altera a qualidade do OE a ser obtido.

## 7 | DISPONIBILIDADE HÍDRICA E UMIDADE

A disponibilidade de água e a umidade possuem grande destaque dentre os fatores abióticos, pois a fotólise da molécula de água fornece substâncias importantes para o processo fotossintético e, por consequência, possibilita a produção de metabólitos especiais. Dessa forma, um estresse por déficit hídrico e/ou a baixa umidade relativa do ar podem afetar a qualidade e quantidade de OE (AKULA; RAVISHANKAR, 2011; JALEEL *et al.*, 2009). As taxas de transpirações celulares são alteradas com alterações na taxa de umidade relativa do ar e, conseqüentemente, a produção do metabolismo especial. Esse efeito pode ser acentuado ou brando, variando de espécie para espécie (KAINULAINEN *et al.*, 1992). Pesquisando os efeitos da disponibilidade hídrica, Solíz-Guerrero e colaboradores (2002) observaram que o teor de substâncias produzidas pelas vias do mevalonato e metileritrose fosfato na espécie quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd., Chenopodiaceae) declinou de 0,46% para 0,38%, em comparação com plantas que cresceram em circunstâncias com baixo déficit hídrico e com alto déficit hídrico, respectivamente (WARD, 2000; AKULA; RAVISHANKAR, 2011).

A limitação hídrica também afeta a quantidade de monoterpenos emitidos pelas plantas. Em um estudo realizado nas árvores *Quercus ilex* L., verificou-se uma redução da produção de monoterpenos durante um período de seca mais pronunciada, no decorrer do verão. Além disso, verificou-se um aumento de 82% da emissão de monoterpenos em árvores irrigadas no período de seca frente às árvores que receberam um tratamento diferente (LAVOIR *et al.*, 2009). Entretanto, em outros estudos observou-se o aumento desse tipo de terpenos quando plantas foram expostas ao estresse hídrico (Quadro 1).

## 8 | INTENSIDADE LUMINOSA E TEMPERATURA

A produção de OE é influenciada significativamente pela variação da luz e temperatura. Sabe-se que esses parâmetros são fundamentais para a fotossíntese, e pode afetar direta ou indiretamente as vias biossintéticas de metabólitos especiais. Para intensidade luminosa sabe-se que espécies possuem fotorreceptores que regulam o desenvolvimento relacionado às variações da intensidade luminosa, com a finalidade de aperfeiçoar a captação da energia luminosa usada na fotossíntese (GONÇALVES *et al.*, 2003). Algumas investigações confirmam que a biossíntese de terpenos está intimamente ligada às taxas fotossintéticas (MAGEL *et al.*, 2006). No entanto, as respostas biossintéticas da planta não estão restritas apenas a presença ou ausência de luz, mas sim com a qualidade e intensidade da radiação (MARTINS *et al.*, 2008).

Com relação à temperatura, diversos estudos correlacionam o aumento da temperatura com perda em rendimentos quantitativos de OE. Estudos demonstram que a temperatura está relacionada à taxa de transpiração celular e à fotossíntese (GOBBO-NETO; LOPES, 2007; LIMA *et al.*, 2012;).

Espécie Vegetal	Substância Alterada	Efeito	Referência
<i>Cymbopogon pendulus</i> (Nees ex Steud) Wats	geraniol e citral	forte aumento	Singh-Sangwan <i>et al.</i> , 1994
<i>Pinus halepensis</i> Miller	$\alpha$ -pineno e careno	forte aumento	Llusià & Penuelas, 1998
<i>Cistus monspeliensis</i> L.	cariofileno	aumento significativo	Llusià & Penuelas, 1998
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.	monoterpenos	forte aumento	Turtola <i>et al.</i> 2003
<i>Pinus sylvestris</i> L.	monoterpenos	forte aumento	Turtola <i>et al.</i> 2003
<i>Thymus vulgaris</i> L.	monoterpenos	aumento	Kleinwächter <i>et al.</i> , 2015
<i>Ocimum basilicum</i> L.	rendimento %	aumento significativo	Forouzandeh <i>et al.</i> , 2012
<i>Salvia officinalis</i> L.	rendimento %	forte aumento (2-4 vezes)	Nowak <i>et al.</i> , 2010
<i>Nepeta cataria</i> L.	rendimento %	aumento significativo	Manukyan, 2011
<i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Nym.	rendimento %	forte aumento	Kleinwächter <i>et al.</i> , 2015

Quadro 1. Alguns exemplos de alterações na produção e concentrações de substâncias nos óleos essenciais frente à disponibilidade hídrica.

Estudos que avaliaram a qualidade do OE produzido por folhas de *Ocimum gratissimum* L. em função da qualidade da intensidade de luz concluíram que houve um aumento significativo no rendimento de folhas cultivadas com 50% de sombreamento. Além disso, o rendimento das folhas cultivadas sob tela azul foi correspondente

a 142% maior em relação à folhas jovens cultivadas em pleno sol. Este resultado foi correlacionado com estímulos gerados nas enzimas que regulam a síntese de arilpropanoides de interesse presente no OE de *O. gratissimum* L. (MARTINS *et al.*, 2008). No entanto, as respostas biossintéticas variam de acordo com o táxon. Gonçalves e colaboradores (2003) concluíram que o sombreamento parcial de 50% não gerou variação na composição química do OE de folhas de *O. selloi* Benth. Outro estudo que não demonstrou variação no rendimento do OE em função da intensidade luminosa foi conduzido com *Lippia citriodora* Lam. (GONÇALVES *et al.*, 2003).

Existem diversos estudos que demonstram que os constituintes químicos de OE de uma planta podem variar consideravelmente durante o ciclo dia/noite, pois nesse intervalo de tempo ocorrem flutuações na temperatura, intensidade luminosa e umidade relativa do ar (GOBBO-NETO; LOPES, 2007; CASTELO *et al.*, 2013; RAPOSO *et al.*, 2018; SILVA-JUNIOR *et al.*, 2019). Em alguns casos o maior rendimento encontrado em OE está no período da tarde (CASTELO *et al.*, 2013), no entanto, há plantas que possuem seu pico de rendimento de OE no período da manhã (RAPOSO *et al.*, 2018; SILVA-JUNIOR *et al.*, 2019). Em todo caso, estudos devem ser conduzidos para quantificar a variação causada pela qualidade espectral da radiação solar e, assim, seja possível modular a radiação e estabelecer padrões de cultivos que forneçam OE com alto rendimento e qualidade (GONÇALVES *et al.*, 2003).

## 9 | SAZONALIDADE E RITMO CIRCARDIANO

A produção de metabólitos secundários está ligada diretamente aos fatores climáticos, como descrito anteriormente (MORAIS, 2009; LEE; DING, 2016). Dentre esses fatores destacam-se a sazonalidade e o ritmo circadiano, pois a quantidade e qualidade dos constituintes dos OE não são constantes durante o ciclo anual e muito menos durante o ciclo diário. As plantas são capazes de sobreviver em uma considerável faixa de temperatura, pois se adaptam ao seu habitat (BRANT, 2008), no entanto, sofrem alterações em sua produção de metabólitos secundários, dependendo da estação, pois há uma média de temperatura predominante, fazendo com que o vegetal produza mais ou menos OE como forma de preservação da temperatura foliar (BARROS *et al.*, 2009). A sazonalidade diz respeito ao conjunto de temperatura, umidade e precipitação, em que se alterando durante o ano, dá origem as estações. A temperatura influencia os processos metabólicos das plantas, contudo, não é um fator independente, sendo necessário o sinergismo entre umidade e precipitação. A precipitação também é um fator relevante na alteração do rendimento e da composição química dos OE, principalmente devido à alta umidade do ar. Substâncias mais polares de OE podem formar ligação hidrogênio com as moléculas de água, o que aumenta a volatilização dessas para o meio ambiente. Inclusive, é recomendado que se aguarde aproximadamente três dias após o cessar das chuvas para que o teor de OE possa voltar ao padrão de normalidade e, assim, realizar a coleta da espécie vegetal (BRANT

*et al.*, 2008; GOUVEA *et al.*, 2012). Diversos estudos mostram que, de fato, há um aumento na produção de metabólitos secundários em plantas expostas ao estresse hídrico comparado as cultivadas em condições de boa irrigação. Dessa forma, estresse hídrico pode gerar efeitos significativos sobre a produção e armazenamento de voláteis produzidos pelo vegetal, o que vai depender do táxon (GHORBANPOUR; VARMA, 2017).

Há espécies que diminuem sua produção de metabólitos na primavera, como *Digitalis obscura* L. (WOLFFENBÜTTEL, 2010). Durante meses mais frios, registrou-se em muitos estudos uma diminuição da produção de OE (MORAIS, 2009). Ao contrário, nos meses mais quentes, é notável um aumento na produção de OE, como por exemplo, em *Pinus elliotii* Engelm. (TINGEY *et al.* 1980). Porém em dias muito quentes, pode haver perda de OE por volatilização (BRANT *et al.*, 2008).

Igualmente, como nos seres vivos não clorofilados, as plantas possuem um relógio biológico que determina seu metabolismo, como uma rede complexa de *loops de feedback* inter cruzados que controlam uma abrangente rota de processos fisiológicos (CREUX; HARMER, 2019). De fato, a variação nos “genes do relógio biológico” tem sido implicada em uma série de adaptações ambientais das plantas, incluindo respostas ao estresse abiótico e biótico, controle fotoperiódico da floração e regulação do crescimento (MCCLUNG, 2006; CREUX; HARMER, 2019). Embora o relógio seja amortecido contra o meio ambiente, mantendo ritmos de aproximadamente 24h em uma ampla variedade de condições, esse também pode ser redefinido por sugestões ambientais, como mudanças agudas na luz ou na temperatura, mencionado anteriormente. Essas demandas concorrentes podem ajudar a explicar a complexidade das ligações entre a rede circadiana de relógios e as vias de resposta ambiental (MCCLUNG, 2006; CREUX; HARMER, 2019).

## 10 | ALTITUDE, LATITUDE E LONGITUDE

Na dinâmica climática global, diversos fatores exercem influência na produção dos OE, entre esses estão latitude, longitude e a altitude, que determinam o clima em diferentes regiões.

A latitude e longitude estão intimamente relacionadas com questões do germoplasma (genótipo) e a história evolutiva das espécies ao longo do tempo. Para alguns pesquisadores essas alterações são mais perceptivas a espécies conhecidas como satélites, que possuem distribuição bem ampla no globo terrestre. Essas alterações fenotípicas químicas derivam do ritmo e intensidade solares e endofoclimáticas, gerando uma expansão ou retração em diversidade de substâncias e/ ou de vias metabólicas (GOTTLIEB *et al.*, 1996; GOTTLIEB, 2012; GOTTLIEB; BORIN, 2012)

A altitude está relacionada à pressão atmosférica e temperatura do ar. A relação da altitude com a temperatura é especialmente importante em regiões tropicais e

subtropicais, onde variações de algumas centenas de metros de desníveis podem provocar mudanças sensíveis no clima, na formação do solo, no índice pluviométrico e, conseqüentemente, na adaptação de espécies vegetais (FRITZSONS *et al.* 2015). Fatores como amplitude térmica, insolação, incidência de geadas, precipitação, solo, velocidade do vento, temperaturas extremas, comprimento da vegetação e intensidade da radiação sob sol claro, difere para altas e baixas altitudes em zonas temperadas (KÖRNER, 2003; SPITALER 2006). Essa variedade de fatores também dificulta o estudo da influência da altitude nos metabólitos especiais, com uma maior prevalência em populações selvagens e sendo poucos estudados com cultivares. Esses fatores estão associados a uma maior contribuição genética, porém, conclusões a respeito de possíveis variações no processo adaptativo ou resposta a fatores ambientais relacionados à altitude são complexas. (RUHLAND E DAY, 2000, 2001; ZIDORN E STUPPNER, 2001a; ZIDORN *et al.*, 2005b, DEMASI, 2016, YAHIA, 2019).

No caso do estudo do OE de *Hypericum italicum* L. coletada na Sardenha, Ilha no Mar Mediterrâneo da Itália, sugeriu a existência de dois QT correspondentes a regiões de montanha a 1250 m e ao nível do mar (MELITO *et al.*, 2016), devido diferenças nas substâncias majoritárias do OE. Resultados similares para essa espécie foram registrados na composição do OE da região da Croácia, que demonstrou um aumento no teor de substâncias oxigenadas de acordo com a altitude e a exposição à radiação solar, sendo o inverso observado para a fração de hidrocarbonetos. Notou-se que algumas das substâncias, como  $\alpha$ -turjona,  $\beta$ -pineno,  $\beta$ -mirceno, limoneno e  $\gamma$ -terpineno, tiveram suas concentrações diminuídas com o aumento da altitude, enquanto que constituintes como o  $\alpha$ -pineno aumentaram com uma diminuição da altitude. (CAVAR ZELIJKOVIC *et al.*, 2015).

Para estudos do OE com populações de *Foeniculum vulgare* Mill. registrou-se a presença dos sesquiterpenos  $\alpha$ -santalal e  $\alpha$ -cadineno em grande altitude, e ausência dos mesmos no OE da planta cultivada em baixa altitude. Alguns monoterpenos oxigenados como verbenol, pinocarvona, *p*-mentha-1,5-dien-8-ol, myrtenal, *trans*-myrtenol, *trans*-carveol e *trans*-3-carene-2-ol foram detectados apenas no OE de *F. vulgare* em baixas altitudes (DEEPSHEKHA *et al.*, 2019).

A correlação entre rendimento de OE de populações em regiões semiáridas húmidas está vinculada tanto a fatores climáticos quanto altitude, mas não somente a estes. Populações de vegetais que crescem em habitats com o mesmo perfil de altitude e chuva podem apresentar variações em sua composição devido, também, a influências do solo, temperatura e luminosidade (YAHIA *et al.*, 2019). Rendimentos dos OE dentro de uma mesma zona bioclimática podem ser devido a uma maior influência de chuvas do que da altitude, sendo diferente para cada espécie vegetal, de maneira isolada ou conjunta, gerando correlações positivas ou negativas entre altitude e rendimento (MELITO 2016).

## 11 I ATRIBUTOS DO SOLO

A natureza do solo, seus nutrientes e pH apresentam um papel muito importante no crescimento e desenvolvimento de uma planta, e, portanto, são capazes de afetar de forma significativa a síntese de metabólitos especiais e os constituintes de OE (GOUVEA *et al.*, 2012; FIGUEIREDO *et al.*, 2008). Martins e colaboradores (1995) consideram os nutrientes do solo um dos fatores que mais necessita atenção, dentre os mencionados, pois as quantidades de nutrientes podem estar diretamente correlacionadas com as modificações na síntese de substâncias ativas (MORAIS, 2009).

Por exemplo, em *Cistus monspeliensis* L., a emissão de terpenos foi influenciada pelo tipo de solo, sendo que houve aumento dessas substâncias quando a planta foi cultivada em solo silicioso em comparação com solo calcário (FIGUEIREDO *et al.*, 2008). Enquanto a composição química dos OE de *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don e *Microphyllum* (Willd.) Nym. não foram influenciadas pelo pH, a produção de OE de *Valeriana officinallis* L. e *Matricaria chamomilla* L. variou de acordo com o pH alcalino (SATTA. *et al.*, 1999; LIMA *et al.*, 2012).

Graven e colaboradores (1991) com o objetivo de investigar o efeito do estado nutricional no rendimento e na qualidade de OE, cultivaram a espécie *Tagetes minuta* L. em três diferentes solos com sete tratamentos de fertilizantes. Os resultados demonstraram que em todos os três solos estudados as deficiências de macronutrientes, tais como Nitrogênio (N) e Fósforo (P), foram fatores relevantes que limitaram os rendimentos de OE na espécie estudada (GRAVEN, 1991). Em um estudo realizado com a planta *Mentha arvensis* L. foi observado um aumento de aproximadamente 100% no rendimento de OE quando a oferta de N e P foi maior. Em *Ocimum basilicum* L. esse aumento também foi constatado com a presença de N, P e potássio (K) (LIMA *et al.*, 2012). Sendo assim, fica evidente que o estresse nutricional constantemente influencia de forma significativa a quantidade de metabólitos presentes nas plantas, em particular nos OE (GERSHENZON, 1982; FIGUEIREDO *et al.*, 2008).

## 12 I POLUIÇÃO DO AR

A qualidade dos gases atmosféricos presente na natureza apresenta grande interferência na biossíntese de metabolitos especiais (FIGUEIREDO *et al.*, 2008). Altas concentrações de ozônio (O<sub>3</sub>), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e Nitratos (NOx) direcionam modificações na qualidade e quantidade das substâncias produzidas nos OE (FARHAT *et al.*, 2019; LEITE *et al.*, 2016). Além disso, elementos climáticos como vento, chuva e temperatura podem aumentar o efeito causado por outros agentes poluentes, como gases liberados por veículos e incêndios (FIGUEIREDO *et al.*, 2008).

Estudo realizado com a espécie *Cyrtocymura scorpioides* (Lam.) H. Rob. em

três pontos com diferentes níveis de poluição atmosférica produzida pela queima de combustíveis fósseis demonstrou que, em ambientes de intenso tráfego a síntese de OE foi afetada, apresentando rendimento de 0,014g, enquanto em ambientes de tráfego médio e tráfego baixo, apresentaram rendimento de 0,030g e 0,284g, respectivamente (LEITE *et al.*, 2016).

Pesquisas com a espécie *Pinus sylvestris* L. revelou alterações nas concentrações dos principais constituintes presentes no OE de acordo com o local onde as plantas foram coletadas. A partir dos resultados, verificou-se uma redução da concentração de monoterpenos  $\delta$ -3-careno e terpinoleno em plantas cultivadas próximo à fábrica de cimento, além da redução do teor de diterpenos próximo à refinaria de petróleo e fábrica de cimento. Além disso, verificou-se o aumento de outros monoterpenos, como canfeno, sabineno,  $\beta$ -pineno em plantas cultivadas próximo à refinaria de petróleo (KUPCINSKIENE *et al.*, 2008).

Acredita-se que o CO<sub>2</sub> e O<sub>3</sub> modificam a disponibilidade de substratos e afetam processos bioquímicos/ fisiológicos importantes nas plantas, como a fotossíntese, além de meios de sinalização de defesa, podendo causar alterações na composição química vegetal (GOUVEA; GOBBO-NETO, 2012). Para descobrir qual o efeito do CO<sub>2</sub> sobre a produção de OE, Vurro e colaboradores (2009) conduziram um estudo com a espécie *Thymus vulgaris* L. sob condições controladas de emissão desse gás. Os resultados mostraram que as folhas das plantas que foram cultivadas em condições de CO<sub>2</sub> elevado, apresentaram aumento na síntese OE, com ligeira redução dos componentes mono- e sesquiterpenos (LINDROTH, 2010). Globalmente, os efeitos de CO<sub>2</sub> sobre o teor percentual de terpenoides são pequenos. Apesar de alguns estudos terem demonstrado aumento no teor de terpenoides, a maior parte não achou alteração nas concentrações desses metabólitos (LINDROTH, 2010). O efeito do O<sub>3</sub> em níveis de terpenoides foi pesquisado em somente poucas espécies arbóreas, e os resultados são particulares a cada espécie: aumento do teor nas espécies de *Pinus sylvestris* L. e *Populus* sp., e nenhum efeito em *Picea abies* (L.) H. Karst. (VALKAMA *et al.*, 2007; LINDROTH, 2010). Além disso, dependendo dos tipos de terpenos, a particularidade da resposta será diferente, com diterpenos apresentando uma resposta mais forte ao O<sub>3</sub> do que os mono- e sesquiterpenos (LINDROTH, 2010).

A partir desse conjunto de dados, sabe-se que não há apenas uma resposta em relação à exposição de gás na atmosfera, entretanto, com certeza, o aumento dos níveis de alguns deles é capaz de causar modificações no metabolismo especial das plantas.

## 13 | PROCESSAMENTO DO VEGETAL

Os efeitos bióticos e abióticos causam variações na qualidade final do OE, como mencionado. Além desses, os processamentos pré e pós a colheita são fundamentais para garantir a qualidade dos OE (TUREK; STINTZING, 2013). A colheita é um ponto

crucial para obtenção dos OE, dentro dos parâmetros de qualidade estabelecidos para essas espécies vegetais, pois envolvem todas as avaliações previamente discutidas neste capítulo. Deve-se definir o denominado *ponto de colheita* – caracterizado como aquele momento ideal, no qual as espécies vegetais irão apresentar condições adequadas para gerar um produto com qualidade de comercialização. De acordo com Paulus (2016) a escolha do momento correto para a colheita depende da biomassa ideal, melhor produção de ativos desejados e menor variação na concentração das substâncias. Para atingir esses critérios, deve ser dada atenção desde a escolha do solo, local de cultivo, seleção do genótipo, época do ano, condições da cultura, transporte, armazenamento, processos de secagem, até o tipo de extração (MING *et al.*, 2003).

Na etapa de colheita o uso de equipamentos deve garantir o menor dano à espécie vegetal. Instrumentos de cortes devem estar limpos, afiados e em boas condições de uso. A depender da parte vegetativa, como flores, esse processo deve ser realizado manualmente.

As ações de transformação pós-colheita envolvem todas as operações que a espécie vegetal será submetida: limpeza, seleção, secagem/ estabilização, cominuição, seleção granulométrica e extração. Atenção deve ser dispensada também ao acondicionamento e seleção de embalagem.

Dependendo da fragilidade do órgão a ser extraído o OE, é indicado que ocorram os processos extrativos imediatamente após a colheita, a fim de evitar a degradação ou volatilização dos constituintes (TUREK; STINTZING, 2013). Sem dúvidas, a extração é fundamental para garantir um OE com a qualidade que se almeja. Dentre as principais técnicas de extração, tem-se: prensagem, hidrodestilação, arraste com vapor de água, extração líquido-líquido, *enfleurage*, extração assistida por ultrassom (*ultrasound-assisted extraction* – USAE), extração assistida por micro-ondas (*microwave-assisted extraction*) e extração por fluidos supercríticos.

Para extração com materiais secos, os processos de estabilização e secagem são cruciais, pois retardam a deterioração, reduzem a atividade enzimática e evitam proliferação microbológica. Sendo assim, a perda de água, em geral, garantirá a conservação da planta por um período maior e, conseqüentemente, a qualidade do produto (EMBRAPA, 1991). No entanto, o processo de secagem pode modificar a constituição química do OE (SILVA *et al.*, 2016).

Estudo realizado com folhas de *Campomanesia adamantium* Cambess. demonstrou influência da secagem tanto no rendimento do OE quanto na concentração das substâncias voláteis (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Existe a possibilidade de não ocorrer variação na constituição do OE em função da secagem, assim como demonstrado para *Lippia alba* (Mill.) N. E. Brown, que não apresentou diferença estatística de rendimento entre folhas secas em estufa a 0, 24, 48 e 72 h (SILVA *et al.*, 2016).

Dessa forma, de acordo com as particularidades de cada espécie vegetal, as características do ar de secagem em função do meio de transferência de calor

determinarão quais as condições de secagem que serão adotadas para cada finalidade. Há necessidade de avaliação, em particular, do grau de influência de cada variável, assim como da padronização do processo de secagem. Além da secagem, o tipo de fragmentação do vegetal influencia nas características do produto final (TUREK; STINTZING, 2013).

Estudos que correlacionam o método de secagem e o tipo de cominuição conduzidos com *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, demonstrou que a cominuição influencia nos rendimentos apenas em folhas secas em estufa. O mesmo não foi observado em folhas secas com desumidificador (COSTA *et al.*, 2005). Em geral esses resultados podem ser correlacionados com a localização das estruturas secretoras de OE no tecido vegetal, que podem ser células parenquimáticas diferenciadas ou ainda tricomas.

Estudo conduzido com a espécie vegetal *Eugenia caryophyllata* Thunb., para avaliar a variação causada pelos diferentes tipos de extrações na obtenção do OE (fluido supercrítico, hidrodestilação, destilação a vapor e extração com Soxhlet), demonstrou semelhança no rendimento em relação aos diferentes métodos de extração. No entanto, o teor das diferentes substâncias dos diferentes OE obtidos foi diferente. Neste caso, a extração por arraste a vapor concentrou a maior quantidade de eugenol (58,2%), seguido pela extração com fluido supercrítico (53,8%). A menor quantidade de eugenol foi encontrada no OE obtido por hidrodestilação, que pode ser devido, segundo os autores, a maior temperatura e pressão a qual a planta é submetida durante esse processo (GUAN *et al.*, 2007).

## 14 | 4. CONCLUSÕES

A composição química de um óleo essencial é, em geral, muito sensível a qualquer forma de variação, desde fatores abiótico, bióticos, bioquímicos/ genéticos e de processamento da planta. As influências intrínsecas e extrínsecas incidem de forma singular para cada espécie. As alterações que ocorrem na constituição de óleos essenciais nem sempre podem ser atribuídas a um impacto específico, podendo ser resultante de vários fatores em interação. Por este motivo, é sempre indicada a realização de estudos avaliativos de influência de fatores isolados e combinados para que seja possível estabelecer mecanismos que favorecem a produção de óleos essenciais com as características desejáveis para uso como produto ou para responder questões ecológicas.

## REFERÊNCIAS

ABBAS, F.; KE, Y.; YU, R.; YUE, Y.; AMANULLAH, S.; JAHANGIR, M. M.; FAN, Y. Volatile terpenoids: multiple functions, biosynthesis, modulation and manipulation by genetic engineering. **Planta**, v. 246, n. 5, p. 803-816, 2017.

AKULA, R.; RAVISHANKAR, G. A. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in

plants. **Plant signaling & Behavior**, v. 6, n. 11, p. 1720-1731, 2011.

BARROS, F. M.; ZAMBARDA, E. D. O.; HEINZMANN, B. M.; MALLMANN, C. A. Variabilidade sazonal e biossíntese de terpenóides presentes no óleo essencial de *Lippia alba* (Mill.) NE Brown (Verbenaceae). **Química Nova**, v. 32, n. 4, p. 861-867, 2009.

BASIRI, M. H.; NADJAFI, F. Effect of plant density on growth, yield and essential oil characteristics of Iranian Tarragon (*Artemisia dracunculus* L.) landraces. **Scientia Horticulturae**, v. 257, p. 108655, 2019.

BOUYAHYA, A.; DAKKA, N.; TALBAOUI, A.; ET-TOUYS, A.; EL-BOURY, H.; ABRINI, J.; BAKRI, Y. Correlation between phenological changes, chemical composition and biological activities of the essential oil from Moroccan endemic Oregano (*Origanum compactum* Benth). **Industrial Crops and Products**, v. 108, p. 729-737, Dec. 2017.

BRADSHAW, A. D. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. **Advance in Genetics**, v. 13, p. 115-155, 1965.

BRANT, R. S.; PINTO, J. E. B. P.; Bertolucci, S. K. V.; Silva, A. D.; Albuquerque, C. J. B. Teor do óleo essencial de cidrão (*Aloysia triphylla* (L' Hérit) Britton Verbenaceae) em função da variação sazonal. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 33, n. spe, p. 2065-2068, 2009.

CASTELO, A. V. M.; AFONSO, S. R.; MELO, R. R.; DEL MENEZZI, C. H.; CAMILLO, J.; VIEIRA, R. F. Rendimento e composição química do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* Chell, na região do Distrito Federal. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, p. 143-147, 2013.

CAVAR-ZELJKOVIĆ, S.; ŠOLIĆ, M. E.; MAKSIMOVIĆ, M. Volatiles of *Helichrysum italicum* (Roth) G. Don from Croatia. **Natural product research**, v. 29, n. 19, p. 1874-1877, 2015.

COPOLOVICI, L.; KÄNNASTE, A.; REMMEL, T.; NIINEMETS, Ü. Volatile organic compound emissions from *Alnus glutinosa* under interacting drought and herbivory stresses. **Environmental and experimental botany**, v. 100, p. 55-63, 2014.

COPOLOVICI, L.; PAG, A.; KÄNNASTE, A.; BODESCU, A.; TOMESCU, D.; COPOLOVICI, D.; NIINEMETS, Ü. Disproportionate photosynthetic decline and inverse relationship between constitutive and induced volatile emissions upon feeding of *Quercus robur* leaves by large larvae of gypsy moth (*Lymantria dispar*). **Environmental and experimental botany**, v. 138, p. 184-192, 2017.

CORNILLE, A.; UNDERHILL, J. G.; CRUAUD, A.; HOSSAERT-MCKEY, M.; JOHNSON, S. D.; TOLLEY, K. A.; PROFFIT, M. Floral volatiles, pollinator sharing and diversification in the fig-wasp mutualism: insights from *Ficus natalensis*, and its two wasp pollinators (South Africa). **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**. v. 279, p. 1731e1739, 2012.

COSTA, L. C.; CORREA, R. M.; CARDOSO, J. C. W.; PINTO, J. E. B. P.; BERTOLUCCI, S. K. V.; FERRI, J. H. Secagem e fragmentação da matéria seca no rendimento e composição do óleo essencial de capim-limão. **Horticultura Brasileira, Brasília**, v.23, n.4, p.956-959, out-dez 2005.

CREUX, N.; HARMER, S. Circadian Rhythms in Plants. **Cold Spring Harbor perspectives in biology**, p. a034611, 2019.

DANI, K. G. S.; JAMIE, I. M.; PRENTICE, I. C.; ATWELL, B. J. Evolution of isoprene emission capacity in plants. **Trends in Plant Science**, v. 19, n. 7, p. 439-446, 2014.

DEMASI, S.; CASER, M.; LONATI, M.; CIONI, P. L.; PISTELLI, L.; NAJAR, B.; SCARIOT, V. Latitude and altitude influence secondary metabolite production in peripheral alpine populations of the Mediterranean species *Lavandula angustifolia* Mill. **Frontiers in plant science**, v. 9, p. 983, 2018.

DICKE, M.; LORETO, F. Induced plant volatiles: from genes to climate change. **Trends in plant**

science, v. 15, n. 3, p. 115-117, 2010.

EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de alimentos (CTAA). Óleo essencial e sua extração por arraste a vapor. DOC. 8, 24p. Rio de Janeiro, 1991.

ESMAEILI, H.; KARAMI, A.; MAGGI, F. Essential oil composition, total phenolic and flavonoids contents, and antioxidant activity of *Olivaria decumbens* Vent. (Apiaceae) at different phenological stages **Journal of Cleaner Production**, v. 198, p. 91-95, Oct. 2018.

FARHAT, M. B; SOTOMAYOR, J. A.; JORDÁN, M. *Salvia verbenaca* L. essential oil: Variation of yield and composition according to collection site and phenophase **Biochemical Systematics and Ecology**, Volume 82, Pages 35-43, 2019.

FIGUEIREDO, A. C.; BARROSO, J. G.; PEDRO, L. G.; SCHEFFER, J. J. Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. **Flavour and Fragrance journal**, v. 23, n. 4, p. 213-226, 2008.

FLAMINI, G.; SMAILI, T.; ZELLAGUI, A.; GHERRAF, N.; CIONI, P. L. Effect of Growth Stage on Essential-Oil Yield and Composition of *Daucus sahariensis*. **Chemistry & biodiversity**, v. 10, n. 11, p. 2014-2020, 2013.

FRELLO, S.; HESLOP-HARRISON, J. S. Chromosomal variation in *Crocus vernus* Hill (Iridaceae) investigated by *in situ* hybridization of rDNA and a tandemly repeated sequence. **Annals of Botany**, v. 86, n. 2, p. 317-322, 2000.

FRITZSONS, E.; WREGE, M. S.; MANTOVANI, L. E. Altitude e temperatura: estudo do gradiente térmico no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, 2015.

GENG, S.L.; CUI, Z.; HUANG, X.; CHEN, Y.; XU, D.; XIONG, P. Variations in essential oil yield and composition during *Cinnamomum cassia* bark growth. **Industrial crops and products**, v. 33, n. 1, p. 248-252, 2011.

GERSHENZON, J. Changes in the levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. In: **Phytochemical adaptations to stress**. Springer, Boston, MA, 1984. p. 273-320

GHORBANPOUR, M.; VARMA, A. **Medicinal Plants and Environmental Challenges**. Springer, 2017

GIULIANI, C.; ASCRIZZI, R.; LUPI, D.; TASSERA, G.; SANTAGOSTINI, L.; GIOVANETTI, M.; FICO, G. *Salvia verticillata*: Linking glandular trichomes, volatiles and pollinators. **Phytochemistry**, v. 155, p. 53-60, 2018.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química nova**, v. 30, n. 2, p. 374, 2007.

GONÇALVES, L. A.; Barbosa, L. C. A.; Azevedo, A. A.; Casali, V. W. D.; Nascimento, E. A. Produção e composição do óleo essencial de Alfavaquinha (*Ocimum selloi* Benth.) em resposta a dois níveis de radiação solar. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v.6, n.1, p. 8-14, 2003.

GOTTLIEB, O. R. **Micromolecular evolution, systematics and ecology: an essay into a novel botanical discipline**. Springer Science & Business Media, 2012.

GOTTLIEB, O. R.; BORIN, M. R. M. B. Químico-biologia quantitativa: um novo paradigma. **Química Nova**, v. 35, p. 2105-2114, 2012.

GOTTLIEB, O. R.; KAPLAN, M. A. C.; BORIN, M. R. M. B. **Biodiversidade: um enfoque químico-biológico**. Editora UFRJ, 1996.

- GOUVEA, D. R.; GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. The influence of biotic and abiotic factors on the production of secondary metabolites in medicinal plants. **Plant bioactives and drug discovery: principles, practice, and perspectives**. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, p. 419-452, 2012.
- GRAVEN, E. H.; WEBBER, L.; BENIANS, G.; VENTER, M.; GARDNER, J. B. Effect of soil type and nutrient status on the yield and composition of Tagetes oil (*Tagetes minuta* L.). **Journal of Essential Oil Research**, v. 3, n. 5, p. 303-307, 1991.
- GUAN, W.; LI, S.; YAN, R.; TANG, S.; QUAN, C. Comparison of essential oils of clove buds extracted with supercritical carbon dioxide and other three traditional extraction methods. **Food Chemistry**, v. 101, n. 4, p. 1558-1564, 2007.
- GUO, L. P.; HUANG, L. Q.; HUA, Y. L.; CHEN, M. L. 资源科学. **Resources Science**, v. 5, p. 015, 2008.
- HALBERSTEIN, R. A. Medicinal plants: historical and cross-cultural usage patterns. **Annals of Epidemiology**, v. 15, n. 9, p. 686-699, 2005
- HASHEMI, S. M. B.; KHANEGHAH, A. M.; SOUZA-SANT'ANA, A. **Essential Oils in Food Processing: Chemistry, Safety and Applications**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018.
- HEIL, M. Damaged-self recognition in plant herbivore defence. **Trends Plant Science**, v. 14, p. 356-63, 2009.
- HILAN, C.; SFEIR, R.; AITOUR, S. Chimiotypes des plantes communes au Liban du genre *Origanum* et du genre *Micromeria* (Lamiaceae). **Lebanese Science Journal**, v. 12, n. 1, p. 79-91, 2011.
- HOSSAERT-MCKEY, M., SOLER, C., SCHATZ, B., PROFFIT, M. Floral scents: their roles in nursery pollination mutualisms. **Chemoecology**, v.20, p. 75e88, 2010.
- JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P. A. R. A. M. A. S. I. V. A. M.; WAHID, A.; FAROOQ, M.; AL-JUBURI, H. J.; SOMASUNDARAM, R. A. M. A. M. U. R. T. H. Y.; PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 11, n. 1, p. 100-105, 2009
- JORDAN, M.; LAX, V.; ROTA, M. C.; LORÁN, S.; SOTOMAYOR, J. A. Effect of the phenological stage on the chemical composition, and antimicrobial and antioxidant properties of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil and its polyphenolic extract. **Industrial Crops and Products**. 48, 144-152, 2013.
- KAINULAINEN, P.; OKSANEN, J.; PALOMÄKI, V.; HOLOPAINEN, J. K.; HOLOPAINEN, T. Effect of drought and waterlogging stress on needle monoterpenes of *Picea abies*. **Canadian Journal of Botany**, v. 70, n. 8, p. 1613-1616, 1992.
- KAMADA, T.; CASALI, V. W. D.; BARBOSA, L. C. A.; FORTES, I. C. P.; FINGER, F. L. Plasticidade fenotípica do óleo essencial em acessos de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 1, n. 2, p. 13-22, 1999.
- KÖRNER, C. **Alpine Plant Life. Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems**. Springer, Berlin, 2003.
- KUPCINSKIENE, E.; STIKLIENE, A.; JUDZENTIENE, A.; The essential oil qualitative and quantitative composition in the needles of *Pinus sylvestris* L. growing along industrial transects. **Environmental Pollution**, v. 155, n. 3, p. 481-491, 2008.
- KURLOVICH, B.S. Species and intraspecific diversity of white, blue and yellow lupin. **Plant Genetic Resources Newsletter**, n. 115, p.23-32, 1998.
- LANTZ, A. T.. ALLMAN, J.; WERADUWAGE, S. M.; SHARKEY, T. D. Isoprene: New insights into the control of emission and mediation of stress tolerance by gene expression. **Plant, Cell & Environment**, v. 42, n. 10, p. 2808-2826, 2019.

- LAVOIR, A. V.; STAUDT, M.; SCHNITZLER, J. P.; LANDAIS, D.; MASSOL, F.; ROCHETEAU, A.; RAMBAL, S. Drought reduced monoterpene emissions from the evergreen Mediterranean oak *Quercus ilex*: results from a throughfall displacement experiment. **Biogeosciences**, v. 6, p. p. 1167-p. 1180, 2009
- LEE, Y.L.; DING, P. Production of essential oil in plants: ontogeny, secretory structures and seasonal variations. **Pertanika Journal of Scholarly Research Reviews**, v. 2, n. 1, 2016.
- LEITE, P. O., SOARES, C., MORAIS, F., MENEGON, R., & JOAQUIM, W. Influência da poluição aérea gerada pelo tráfego veicular na produção do óleo essencial e das atividades antifúngica e citotóxica in vitro de *Cyrtocymura scorpioides* (Lam.) H. Rob.(Asteraceae). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, n. 1, p. 27-37, 2016.
- LI, Y.; KONG, D. X.; HUANG, R. S.; LIANG, H. L.; XU, C. G.; WU, H. Variations in essential oil yields and compositions of *Cinnamomum cassia* leaves at different developmental stages. **Industrial crops and products**, v. 47, p. 92-101, 2013.
- LIMA, H. R P.; KAPLAN, M. A. C.; CRUZ, A. V. M. Influência dos fatores abióticos na produção e variabilidade de terpenóides em plantas. **Floresta e Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 71-77, 2012.
- LINDROTH, R. L. Impacts of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and O<sub>3</sub> on forests: phytochemistry, trophic interactions, and ecosystem dynamics. **Journal of chemical ecology**, v. 36, n. 1, p. 2-21, 2010.
- LIU, Y.; LI, X.; CHEN, G.; LI, M.; LIU, M.; LIU, D. Epidermal micromorphology and mesophyll structure of *Populus euphratica* heteromorphic leaves at different development stages. **PloS one**, v.10, n.9, p.1-16, 2015.
- LOAIZA, J. C.; CÉSPEDES, C. L. Compuestos volátiles de plantas. Origen, emisión, efectos, análisis y aplicaciones al agro. **Revista Fitotecnia Mexicana**, v. 30, n. 4, p. 1-17, 2007.
- MAFFEI, M.E. Sites of synthesis, biochemistry and functional role of plant volatiles. **South African Journal of Botany** , v. 76, n. 4, p. 612-631, 2010.
- MAGEL, E.; MAYRHOFER, S.; MÜLLER, A.; ZIMMER, I.; HAMPP, R.; SCHNITZLER, J. P. Photosynthesis and substrate supply for isoprene biosynthesis in poplar leaves. **Atmospheric Environment**, v. 40, p. 138-151, 2006.
- MARANGONI, C.; MOURA, N. F.; GARCIA, F. R. M. Utilização de óleos essenciais e extratos de plantas no controle de insetos. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 2, p. 92-112, 2013.
- MARTINS, J. R.; ALVARENGA, A. A.; CASTRO, E. M.; PINTO, J. E. B. P.; SILVA, A. P. O. Avaliação do crescimento e do teor de óleo essencial em plantas de *Ocimum gratissimum* L. cultivadas sob malhas coloridas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 10, n. 4, p. 102-107, 2008.
- MCCLUNG, C. R. Plant circadian rhythms. **The Plant Cell**, v. 18, n. 4, p. 792-803, 2006.
- MING, L.; SILVA, S. D.; SILVA, M. D.; HIDALGO, A. F.; MARCHESI, J. A.; CHAVES, F. C. M. Manejo e cultivo de plantas medicinais: algumas reflexões sobre as perspectivas e necessidades no Brasil. **Diversos olhares em Etnobiologia, Etnoecologia e Plantas Mediciniais.**(MFB Coelho, P. Costa Júnior & JLD Dpmbroski, org.). **Unicen Publicações, Cuiabá**, v. 1, p. 149-156, 2003.
- MITHOFER, A.; WANNER, G.; BOLAND, W. Effects of feeding *Spodoptera littoralis* on lima bean leaves. II. Continuous mechanical wounding resembling insect feeding is sufficient to elicit herbivory-related volatile emission. **Plant Physiology**, v. 137, n. 3, p. 1160-1168, 2005.
- MORAIS, L. A. S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, p. S3299-S3302, ago. 2009.

NUNES, C. E. P.; GERLACH, G.; BANDEIRA, K. D.; GOBBO-NETO, L.; PANSARIN, E. R.; SAZIMA, M. Two orchids, one scent? Floral volatiles of *Catasetum cernuum* and *Gongora bufonia* suggest convergent evolution to a unique pollination niche. **Flora**, v. 232, p. 207-216, 2017.

OLIVEIRA, J. D.; ALVES, C. C. F.; MIRANDA, M. L. D.; MARTINS, C. H. G.; SILVA, T. S.; AMBROSIO, M. A. L. V.; SILVA, J. P. **Rendimento, composição química e atividades antimicrobiana e antioxidante do óleo essencial de folhas de *Campomanesia adamantium* submetidas a diferentes métodos de secagem.** **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, p. 502-510, 2016.

PAULUS, D. **Influência dos fatores ambientais, colheita e secagem na produção e na composição de óleos essenciais de *Mentha spp.*** Técnicas de manejo agropecuário sustentável, 269.

PIESIK, D.; MILER, N.; LEMAŃCZYK, G.; BOCIANOWSKI, J.; BUSZEWSKI, B. *Botrytis cinerea* infection in three cultivars of chrysanthemum in 'Alchemist' and its mutants: Volatile induction of pathogen-infected plants. **Scientia Horticulturae**, v. 193, p. 127-135, 2015.

POLATOGLU, K. "*Chemotypes*"—A Fact that should not be Ignored in Natural Product Studies. **The Natural Products Journal**, v. 3, n. 1, p. 10-14, 2013.

PROFFIT, M.; BESSIÈRE, J.-M.; SCHATZ, B., & HOSSAERT-MCKEY, M. Can fine-scale post-pollination variation of fig volatile compounds explain some steps of the temporal succession of fig wasps associated with *Ficus racemosa*? **Acta Oecologica**, v. 90, p. 81–90, 2018.

PUNETHA, D.; TEWARI, G.; PANDE, C.; BHATT, S. Effect of Climatic Conditions on the Volatile Compounds of the Aerial Parts of *Foeniculum vulgare* Mill. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, p. 1-11, 2019.

RAPOSO, J.; FIGUEIREDO, P. L. B.; SANTANA, R. L.; SILVA JUNIOR, A. Q.; SUEMITSU, C.; SILVA, R.; MAIA, J. G. S. Seasonal and circadian study of the essential oil of *Myrcia sylvatica* (G. Mey) DC., a valuable aromatic species occurring in the Lower Amazon River region. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 79, p. 21-29, aug. 2018.

RIVOAL, A.; FERNANDEZ, C.; LAVOIR, A. V.; OLIVIER, R.; LECAREUX, C.; GREFF, S.; VILA, B. Environmental control of terpene emissions from *Cistusmons peliensis* L. in natural Mediterranean shrublands. **Chemosphere**, v. 78, n. 8, p. 942-949, 2010.

RUHLAND, C. T.; DAY, T. A. Size and longevity of seed banks in Antarctica and the influence of ultraviolet-B radiation on survivorship, growth and pigment concentrations of *Colobanthus quitensis* seedlings. **Environmental and Experimental Botany**, v. 45, n. 2, p. 143-154, 2001.

SALEHI, B.; AYATOLLAHI, S.; Segura-Carretero, A.; Kobarfard, F.; Contreras, M. D. M.; Faizi, M.; Sharifi-Rad, J. Bioactive chemical compounds in *Eremurus persicus* (Joub. & Spach) Boiss. essential oil and their health implications. **Cellular and Molecular Biology (Noisy le Grand)**, v. 63, n. 9, p. 1-7, 2017.

SALEM, N.; KEFI, S.; TABBEN, O.; AYED, A.; JALLOULI, S.; FERES, N.; SGHAIER, A. Variation in chemical composition of *Eucalyptus globulus* essential oil under phenological stages and evidence synergism with antimicrobial standards. **Industrial crops and products**, v. 124, p. 115-125, 2018.

ŞANLI, A.; KARADOĞAN, T. Geographical impact on essential oil composition of endemic *Kundmannia anatolica* Hub.-Mor. (Apiaceae). **African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines**, v. 14, n. 1, p. 131-137, 2017.

SANTOS, V.M.; PINTO, M. A. S.; BIZZO, H. R.; DESCHAMPS, C. Seasonal variation of vegetative growth, essential oil yield and composition of menthol mint genotypes at southern Brazil. **Biosciência**, v. 28, p. 790–798, 2016.

- SATTA, M.; TUBEROSO, C. I. G.; ANGIANI, A.; PIRISI, F. M.; CABRAS, P. Analysis of the Essential Oil of *Helichrysum italicum* G. Don ssp. *microphyllum* (Willd) Nym. **Journal of Essential Oil Research**, v. 11, n. 6, p. 711-715, 1999.
- SCHIESTL, F.P., AYASSE, M. Post-pollination emission of a repellent compound in a sexually deceptive orchid: a new mechanism for maximising reproductive success? **Oecologia**, v. 126, n. 4, p. 531-534, 2001.
- ŞENKAL, B.C.; KIRALAN, M.; YAMAN, C. The effect of different harvest stages on chemical composition and antioxidant capacity of essential oil from *Artemisia annua* L. **The Journal of Agricultural Science**. 21, 71–77, 2015.
- SILVA, T. I.; MACIEL, T. C. M.; CHAVES, M. M.; DE OLIVEIRA ALCANTARA, F. D.; SANTOS, H. R.; MARCO, C. A. Influência do período de secagem e horário de colheita no teor de óleo essencial de *Lippia alba* (MILL.). **Cadernos de Cultura e Ciência**, v. 15, n. 1, p. 29-38, 2016.
- SILVA-JUNIOR, A.; Silva, D. S.; Figueiredo, P. L. B.; Sarrazin, S. L. F.; Bouillet, L. E. M.; Oliveira, R. B.; Mourão, R. H. V. Seasonal and circadian evaluation of a citral-chemotype from *Lippia alba* essential oil displaying antibacterial activity. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 85, p. 35-42, 2019.
- SOLÍZ-GUERRERO, J. B.; DE RODRIGUEZ, D. J.; RODRÍGUEZ-GARCÍA, R.; ANGULO-SÁNCHEZ, J. L.; MÉNDEZ-PADILLA, G. Quinoa saponins: concentration and composition analysis. **Trends in new crops and new uses**, p. 110-114, 2002.
- SPITALER, R.; SCHLORHAUFER, P. D.; ELLMERER, E. P.; MERFORT, I.; BORTENSCHLAGER, S.; STUPPNER, H.; ZIDORN, C. Altitudinal variation of secondary metabolite profiles in flowering heads of *Arnica montana* cv. ARBO. **Phytochemistry**, v. 67, n. 4, p. 409-417, 2006.
- TAVARES, E. S.; JULIÃO, L. S.; LOPES, D.; BIZZO, H. R.; LAGE, C. L. S.; LEITÃO, S. G. Análise do óleo essencial de folhas de três quimiotipos de *Lippia alba* (Mill.) NE Br. (Verbenaceae) cultivados em condições semelhantes. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, n. 1, p. 1-5, 2005.
- TROWBRIDGE, A. M.; STOY, P. C. BVOC-mediated plant-herbivore interactions. In: **Biology, controls and models of tree volatile organic compound emissions**. Springer, Dordrecht, 2013. p. 21-46.
- TUREK, C.; STINTZING, F. C. Stability of essential oils: a review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 12, n. 1, p. 40-53, 2013.
- VALKAMA, E.; KORICHEVA, J.; OKSANEN, E. Effects of elevated O<sub>3</sub>, alone and in combination with elevated CO<sub>2</sub>, on tree leaf chemistry and insect herbivore performance: a meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 13, n. 1, p. 184-201, 2007.
- VOKOU, D.; KOKKINI, S.; BESSIERE, J. M. Geographic variation of Greek oregano (*Origanum vulgare* ssp. *hirtum*) essential oils. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 21, n. 2, p. 287-295, 1993.
- VURRO, E.; BRUNI, R.; BIANCHI, A.; DI TOPPI, L. S. Elevated atmospheric CO<sub>2</sub> decreases oxidative stress and increases essential oil yield in leaves of *Thymus vulgaris* grown in a mini-FACE system. **Environmental and Experimental Botany**, v. 65, n. 1, p. 99-106, 2009.
- WANNES, A.; W., MHAMDI, B.; MARZOUK, B. Variations in essential oil and fatty acid composition during *Myrtus communis* var. *italica* fruit maturation. **Food Chemistry**, v. 112, n. 3, p. 621-626, 2009.
- WANNES, A.; MARZOUK, W. Maturation effect on essential oil yield and composition of *Myrtus communis* var. *baetica* fruit. **Journal of Essential Oil Bearing Plants**, v. 15, n. 5, p. 847-853, 2012.
- WANZALA, W. et al. Bioactive properties of *Tagetes minuta* L.(Asteraceae) essential oils: a

review. **American Journal of Essential Oils and Natural Products**, v. 4, n. 2, p. 27-36, 2016.

WARD, S. M. Response to selection for reduced grain saponin content in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Field Crops Research**, v. 68, n. 2, p. 157-163, 2000.

WENG, J. K.; PHILIPPE, R. N.; NOEL, J. P. The rise of chemodiversity in plants. **Science**, v. 336, n. 6089, p. 1667-1670, 2012.

WOLFFENBÜTTEL, A. N. **Base da química dos óleos essenciais e aromaterapia**. 2<sup>a</sup>. ed. Belo Horizonte/Brasil: Laszlo, 466p, 2016.

WOLFFENBÜTTEL, A. N.. **Base da química dos óleos essenciais e aromaterapia: abordagem técnica e científica**. Roca. São Paulo:, 2010.

YAHIA, I. B. H., JAOUADI, R., TRIMECH, R., BOUSSAID, M., & ZAOUALI, Y. (2019). Variation of chemical composition and antioxidant activity of essential oils of *Mentha x rotundifolia* (L.) Huds. (Lamiaceae) collected from different bioclimatic areas of Tunisia. **Biochemical Systematics and Ecology**, v. 84, p. 8-16, 2019.

YOSR, Z.; HNIA, C.; RIM, T.; MOHAMED, B. Changes in essential oil composition and phenolic fraction in *Rosmarinus officinalis* L. var. *typicus* Batt. organs during growth and incidence on the antioxidant activity. **Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 412-419, 2013

YU, F.; UTSUMI, R. Diversity, regulation, and genetic manipulation of plant mono- and sesquiterpenoid biosynthesis. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 66, n. 18, p. 3043-3052, 2009.

ZIDORN, C., STUPPNER, H. Evaluation of chemosystematic characters in the genus *Leontodon* (Asteraceae). **Taxon**, v. 50, n. 1, p. 115-133, 2001.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**André Luiz Oliveira de Francisco** - Atualmente é Analista de Pesquisa do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) na Área de Solo (ASO) do Polo Regional de Pesquisa de Ponta Grossa e Professor do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais (CESCAGE). Graduado em Agronomia pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Realizou seu mestre em Energia Nuclear na Agricultura na área de concentração de Biologia e Meio Ambiente pelo Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo (CENA/USP) onde pesquisou temas relacionados a microbiologia e bioquímica do solo, fertilidade do solo e fisiologia vegetal. É Doutorando em Agronomia área de concentração de Uso e Manejo do Solo na Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Trabalha com os temas: Qualidade de Sistemas de Produção Agrícola e Ambientais, Microbiologia e Bioquímica do Solo, Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

- Ácido linoleico 50, 54, 58, 59, 61
- Açúcares solúveis 64, 66, 67, 69, 72, 73, 74
- Antidiabética 3
- Antioxidante 3, 25, 50, 51, 52, 54, 55, 57, 58, 59, 61, 63, 102
- Arbóreas não pioneiras 66
- Arbóreas pioneiras 64, 66, 70, 71, 74

### B

- Benzilaminopurina 11, 12, 14
- Brachiaria decumbens* 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49

### C

- Caracterização Anatômica 1, 3
- Carboidratos não estruturais 64, 67, 68, 70
- Citronelal 51, 52, 56, 58, 59, 60, 61
- Colesterol 24, 25, 28, 33, 34
- Compostos bioativos 51
- Compostos secundários 51
- Concentração inibitória mínima 51, 55, 59
- Controle de qualidade 1, 7, 50, 57, 79
- Cromatografia 26, 27, 33, 67

### E

- Ecologia química 79
- Esteroides 1, 3, 5, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33
- Estudo fitoquímico 24
- Explantes 11, 12, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 21
- Extração 26, 35, 38, 39, 57, 67, 68, 74, 96, 97, 99

### F

- Fabaceae 24, 25, 33
- Farmacobotânica 62
- Fatores Abióticos 79, 81, 83, 88, 89, 101
- Fatores Bióticos 79, 81, 82
- Fatores genéticos 81
- Fitólitos 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49
- Folhas senescentes 36, 43

### G

- Geraniol 51, 52, 56, 58, 59, 60, 61, 63, 90

## **L**

Lignina 1, 3, 6, 64, 66, 68, 70, 71, 72, 73, 74

## **M**

Machaerium 24, 25, 26, 33, 34

Malvaceae 1, 2, 4, 7, 8, 9, 10

Metabólitos 3, 7, 25, 78, 79, 81, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 99

Micropropagação 11, 13, 14, 21, 22

Microscopia 1, 5, 39

Morfotipos 35, 40, 41, 42, 43, 46, 47

## **P**

Panicoideae 36, 37, 52

Polímeros de parede celular 64, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74

## **R**

Regeneração in vitro 12

## **S**

Sucessão florestal 64

## **T**

Tecnologia farmacêutica 79

Triterpenoide 24, 27, 30, 32, 33

## **V**

Viabilidade de Sementes 15, 23

 **Atena**  
Editora

**2 0 2 0**