



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIA EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA

**FRANCIELTON SANTOS GALVÃO**

**ESTUDO SAZONAL E CIRCADIANO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *DIZYGOSTEMON*  
*RIPARIUS* (PLANTAGINACEAE): UMA NOVA ESPÉCIE AROMÁTICA DO LESTE  
MARANHENSE**

São Luís

2021

**FRANCIELTON SANTOS GALVÃO**

**ESTUDO SAZONAL E CIRCADIANO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *DIZYGOSTEMON*  
*RIPARIUS* (PLANTAGINACEAE): UMA NOVA ESPÉCIE AROMÁTICA DO LESTE  
MARANHENSE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Química pela Universidade Federal do Maranhão.

Orientador: Prof. Dr. José Guilherme Soares Maia.

São Luís

2021

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Galvão, Francielton Santos.

Estudo sazonal e circadiano do óleo essencial de  
*Dizygostemon riparius* Plantaginaceae: uma nova espécie  
aromática do leste maranhense / Francielton Santos Galvão.  
- 2021.

61 p.

Orientador(a): José Guilherme Soares Maia.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em  
Química/ccet, Universidade Federal do Maranhão, São Luís,  
2021.

1. Acetato de endo-fenchila. 2. Análise multivariada.  
3. Endo-fenchol. 4. Ritmo circadiano. 5. Sazonalidade.  
I. Maia, José Guilherme Soares. II. Título.

**FRANCIELTON SANTOS GALVÃO**

**ESTUDO SAZONAL E CIRCADIANO DO ÓLEO ESSENCIAL DE *DIZYGOSTEMON*  
*RIPARIUS* (PLANTAGINACEAE): UMA NOVA ESPÉCIE AROMÁTICA DO LESTE  
MARANHENSE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Química pela Universidade Federal do Maranhão.

Aprovado em: 29 de setembro de 2021.

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Dr. José Guilherme Soares Maia - Orientador  
Departamento de Química /CCET – UFMA

---

Profa. Dra. Claudia Quintino da Rocha – 1º Examinador  
Departamento de Química / CCET– UFMA

---

Prof. Dra. Patrícia Rosa de Oliveira – 2º Examinador  
Programa de Pós-graduação em Biociências – UFBA

Dedico este trabalho à minha esposa, Leide  
Nayara Passos Palhano Galvão e minhas filhas  
Maria Helena P. P. Galvão, Maria Heloísa P.  
Galvão, Maria Elisa P. P. Galvão e Maria Lívia  
P. P Galvão.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela minha existência.

À minha esposa Leide Nayara, por sempre me incentivar e apoiar quando mais precisei e as minhas filhas Maria Helena, Maria Heloísa, Maria Elisa e Maria Lívia que me dão alegria incentivo a mais para alcançar novos desafios.

À minha família, que foi a base para o meu crescimento como ser humano, juntamente com minha mãe Marilene (*in memoriam*), que com certeza vibra comigo em cada conquista.

Ao meu orientador Professor José Guilherme Soares Maia, pelo empenho, apoio, paciência e dedicação para realização deste trabalho.

À Professora Cláudia Quintino da Arrocha, pelo incentivo a fazer parte do mundo dos Produtos Naturais.

Ao Professor Odair dos Santos Monteiro, pela sua capacidade em orientar, ajudando sempre a buscar a melhor alternativa a seguir.

Ao Professor Rogério de Mesquita Teles, pela sua contribuição no desenvolvimento deste trabalho.

Ao casal Graça e Ubiaci e sua família, pela recepção e pelo apoio nas coletas em São Benedito do Rio Preto.

Ao Pablo Luís Baia Figueiredo, pela atenção e apoio na identificação dos componentes do óleo essencial do espécime em estudo.

Aos demais professores e servidores do programa de Pós-Graduação em Química, que contribuíram para o desenvolvimento de mais esta etapa.

À Universidade Federal do Maranhão e ao Curso de Pós-Graduação em Química, pelo ensino de qualidade.

A todos os colegas do Laboratório de Química e Produtos Naturais, pelo apoio e amizade.

Ao Laboratório de Química, Centro de Ciências Sociais e Educação, UEPA, onde foi realizado a identificação do óleo essencial da espécie em estudo.

Aos amigos Débora Santos e Eduardo Rodrigues que ajudaram de forma muito especial na etapa deste trabalho. Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

*“Confia no Senhor de todo o teu coração; e não inclina-te para o teu próprio entendimento. Em todos os teus caminhos reconhece-o, e ele indicará os teus caminhos”*

(Provérbios 3:6).

## RESUMO

*Dizygostemon riparius* Scatinga & Colletta (Plantaginaceae) é a segunda espécie do gênero relatada para o Nordeste Brasileiro. Trata-se de um subarbusto aromático até 50 cm, endêmica do município de São Benedito do Rio Preto, região leste do Estado do Maranhão, Brasil, conhecida localmente como “Melosa”. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a influência sazonal e circadiana na composição do óleo essencial de *D. riparius*. No estudo circadiano, a coleta da parte aérea da planta foi realizada nos períodos de 6h, 9h, 12h, 15h e 18h, em novembro/2019 (estação seca) e maio/2020 (estação chuvosa), com um rendimento médio em óleo de 0,8 mL, enquanto que na sazonalidade as coletas foram feitas às 9h, de agosto/2019 a julho/2020, com um rendimento médio em óleo de 2,0 mL. Os óleos das partes aéreas secas da planta foram hidrodestilados e analisados por cromatografia em fase gasosa, com detetor de ionização de chamas (CG-DIC) e detetor de espectrometria de massas (CG-EM). A análise dos óleos identificou 62 constituintes, representando cerca de 96% da composição total. O rendimento e a composição dos óleos não mostraram uma correlação significativa ( $p > 0,05$ ) com os parâmetros climáticos (umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar e temperatura), mas os seus componentes majoritários, os monoterpenos oxigenados acetato de *endo*-fenchila (30,51-42,09%) e *endo*-fenchol (31,29-37,36%), apresentaram influência em seus percentuais sazonais devido a precipitação e a radiação solar. No ritmo circadiano houve apenas variação quantitativa na composição dos óleos das estações seca e chuvosa, justificada pelas análises multivariadas (Análise Hierárquica de Agrupamentos - HCA e Análise dos Componentes Principais - PCA). Os resultados deste trabalho contribuem para o estabelecimento de uma base de dados sazonais e circadianos de plantas aromáticas e frutos do cerrado maranhense, amplia o conhecimento científico e fornece dados importantes para a utilização econômica de *Dizygostemon riparius*, com ocorrência no Leste Maranhense.

Palavras-chave: acetato de *endo*-fenchila; análise multivariada; *endo*-fenchol; ritmo circadiano; sazonalidade.

## ABSTRACT

*Dizygostemon riparius* Scatinga & Colletta (Plantaginaceae) is the second species of the genus reported for Northeastern Brazil. It is an aromatic sub-shrub up to 50 cm, endemic to the municipality of São Benedito do Rio Preto, the eastern region of the State of Maranhão, Brazil, locally known as “Melosa”. The present work aimed to evaluate the seasonal and circadian influence on the composition of the essential oil of *D. riparius*. In the circadian study, the collection of the aerial part of the plant was carried out in the periods of 6 am, 9 am, 12 pm, 3 pm, and 6 pm, in November/2019 (dry season) and May/2020 (rainy season), with an average oil yield of 0.8 mL, while seasonally samples were collected at 9 am, from August/2019 to July/2020, with an average oil yield of 2.0 mL. The oils from the dry aerial parts of the plant were hydrodistilled and analyzed by gas chromatography, with a flame ionization detector (GC-DIC) and a mass spectrometry detector (GC-MS). The analysis of the oils identified 62 constituents, representing about 96% of the total composition. The oil yield and composition did not show a significant correlation ( $p > 0.05$ ) with the climatic parameters (air relative humidity, precipitation, solar radiation, and temperature), but its major components, the oxygenated monoterpenes endo-fenchyl acetate (30.51-42.09%) and endo-fenchol (31.29-37.36%) influenced their seasonal percentages due to precipitation and solar radiation. There was only quantitative variation in the composition of oils in the dry and rainy seasons in the circadian rhythm, justified by multivariate analyses (Hierarchical Cluster Analysis - HCA and Principal Component Analysis - PCA). The results of this work contribute to establishing a seasonal and circadian database of aromatic plants and fruits from the cerrado of Maranhão, expanding scientific knowledge, and providing essential data for the economic use of *Dizygostemon riparius*, which occurs in Eastern Maranhão state.

Keywords: endo-fenchyl acetate; multivariate analysis; endo-fenchol; circadian rhythm; seasonality.

## **LISTA DE ABREVIACÕES, SIGLAS E UNIDADES**

%: Percentual

ANOVA: Análise de Variância

BLU: Base Livre de Umidade

C: Circadiano

CG/EM: Cromatografia em Fase Gasosa Acoplada à Espectrometria de Massas

eV: eletrovolts

g: Gramas

h: Horas

HCA: Análise Hierárquica de Agrupamento

IR(C): Índice de Retenção Calculado

IR(L): Índice de Retenção da Literatura

mL/min: Mililitro por minutos

mL: Mililitro

mm: Milímetros

OE: Óleos essenciais

P: Precipitação

PCA: Análise dos Componentes Principais

R: Radiação

S: Sazonal

T: Temperatura

U: Umidade

v/v: Volume por volume

vs: Versus

µm: Micrômetros

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> - Mapa demonstrativo do Bioma Cerrado encontrado no Brasil. ....                                                                                                                                                                                    | 16 |
| <b>Figura 2</b> - Fluxograma simplificada da rota de biossíntese de terpenos.....                                                                                                                                                                                   | 23 |
| <b>Figura 3</b> - Exemplares da espécie de estudo, <i>Dizygostemon riparius</i> .....                                                                                                                                                                               | 28 |
| <b>Figura 4</b> - Área da pesquisa, município São Benedito do Rio Preto no estado do Maranhão. ....                                                                                                                                                                 | 29 |
| <b>Figura 5</b> - Processo de extração de óleos essenciais (OEs) para a espécie <i>Dizygostemon riparius</i> , por hidrodestilação usando <i>Clevenger</i> .....                                                                                                    | 29 |
| <b>Figura 6</b> - Relação entre os parâmetros climáticos e o rendimento do óleo de <i>Dizygostemon riparius</i> durante o estudo sazonal.....                                                                                                                       | 33 |
| <b>Figura 7</b> - Estruturas dos componentes do óleo essencial <i>Dizygostemon riparius</i> com teores acima de 6%.....                                                                                                                                             | 36 |
| <b>Figura 8</b> - Cromatograma de íons totais do óleo essencial de <i>Dizygostemon riparius</i> .....                                                                                                                                                               | 44 |
| <b>Figura 9</b> - Espectros de massas dos componentes do óleo essencial da <i>Dizygostemon riparius</i> acima de 6% de composição. A: do E – <i>cariofileno</i> ; B: $\alpha$ - <i>fencheno</i> ; C: <i>endo-fenchol</i> e D: acetato de <i>endo-fenchila</i> ..... | 44 |
| <b>Figura 10</b> - Proposta de fragmentação por espectro de massa do <i>E-cariofileno</i> .....                                                                                                                                                                     | 45 |
| <b>Figura 11</b> - Proposta de fragmentação por espectro de massa do $\alpha$ - <i>fencheno</i> .....                                                                                                                                                               | 46 |
| <b>Figura 12</b> - Proposta de fragmentação por espectro de massa do <i>endo-fenchol</i> .....                                                                                                                                                                      | 47 |
| <b>Figura 13</b> - Proposta de fragmentação por Espectro de Massa do acetato de <i>endo-fenchila</i> ..                                                                                                                                                             | 48 |
| <b>Figura 14</b> - Dados obtidos para o <i>endo-fenchol</i> referente a média das coletas durante as estações chuvosa e seca .....                                                                                                                                  | 50 |
| <b>Figura 15</b> - Dados obtidos para o acetato de <i>endo-fenchila</i> referente a média das coletas durante as estações chuvosa e seca.....                                                                                                                       | 50 |
| <b>Figura 16</b> - Dendrograma representando a relação de similaridade da composição dos óleos de <i>D. riparius</i> no estudo circadiano durante as estações chuvosa (maio) e seca (novembro) .....                                                                | 52 |
| <b>Figura 17</b> - <i>Biplot</i> (PCA) resultante da análise dos constituintes do óleo de <i>D. riparius</i> no estudo circadiano durante as estações chuvosa (maio) e seca (novembro) .....                                                                        | 53 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> - Rendimento (%) dos óleos essenciais de <i>D. riparius</i> no estudo anual .....                                        | 35 |
| <b>Tabela 2</b> - Composição do óleo de <i>D. riparius</i> referente ao estudo sazonal, período de agosto de 2019 a julho de 2020.....   | 38 |
| <b>Tabela 3</b> - Composição do óleo de <i>D. riparius</i> referente ao estudo circadiano, período novembro de 2019 e maio de 2020.....  | 41 |
| <b>Tabela 4</b> - Correlações existentes entre os conteúdos de acetato de endo-fenchila e endo-fenchol com os parâmetros climáticos..... | 49 |

## SUMÁRIO

|              |                                                                                                  |           |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO .....</b>                                                                          | <b>15</b> |
| <b>2</b>     | <b>OBJETIVOS .....</b>                                                                           | <b>18</b> |
| <b>2.1</b>   | <b>Objetivo Geral .....</b>                                                                      | <b>18</b> |
| <b>2.2</b>   | <b>Objetivos Específicos.....</b>                                                                | <b>18</b> |
| <b>3</b>     | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                                                 | <b>19</b> |
| <b>3.1</b>   | <b>Descrição da Espécie <i>Dizygostemon Riparius</i> (Plantaginaceae).....</b>                   | <b>19</b> |
| <b>3.2</b>   | <b>Óleos Essenciais (OEs): características gerais .....</b>                                      | <b>20</b> |
| <b>3.2.1</b> | <b><i>Terpenos</i> .....</b>                                                                     | <b>21</b> |
| <b>3.3</b>   | <b>Aspectos Biológicos Dos Óleos Essenciais .....</b>                                            | <b>23</b> |
| <b>3.4</b>   | <b>Variabilidade Química dos Óleos Essenciais .....</b>                                          | <b>24</b> |
| <b>3.5</b>   | <b>Análise Multivariada (Pca e Hca) e Aplicação no Estudo Químico de OEs .....</b>               | <b>25</b> |
| <b>4</b>     | <b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>                                                                  | <b>28</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>Área da Pesquisa, Coleta e Dados Climáticos.....</b>                                          | <b>28</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>Extração do Óleo Essencial (OE) .....</b>                                                     | <b>29</b> |
| <b>4.3</b>   | <b>Determinação da Umidade Residual e Cálculo Do Rendimento.....</b>                             | <b>30</b> |
| <b>4.4</b>   | <b>Análise por Cromatografia em Fase Gasosa Acoplada a Espectrometria de Massas (Cg-Em).....</b> | <b>30</b> |
| <b>4.5</b>   | <b>Análise Estatística.....</b>                                                                  | <b>31</b> |
| <b>4.5.1</b> | <b><i>Análise Hierárquica de Agrupamento</i> .....</b>                                           | <b>31</b> |
| <b>4.5.2</b> | <b><i>Análise dos Componentes Principais</i> .....</b>                                           | <b>31</b> |
| <b>4.5.3</b> | <b><i>Teste de Tukey</i> .....</b>                                                               | <b>31</b> |
| <b>4.5.4</b> | <b><i>Correlação de Pearson</i>.....</b>                                                         | <b>32</b> |
| <b>5</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                              | <b>33</b> |
| <b>5.1</b>   | <b>Rendimento do Óleo vs Parâmetros Climáticos .....</b>                                         | <b>33</b> |
| <b>5.2</b>   | <b>Composição do Óleo vs Condições Ambientais.....</b>                                           | <b>35</b> |

|     |                                           |    |
|-----|-------------------------------------------|----|
| 5.3 | Variabilidade na Composição do Óleo ..... | 51 |
| 7   | CONCLUSÃO.....                            | 54 |
|     | REFERÊNCIAS .....                         | 55 |
|     | ANEXO A .....                             | 61 |

## 1 INTRODUÇÃO

A biodiversidade brasileira é uma das mais ricas do planeta, englobando de 15% a 25% de todas as espécies vegetais, com alta taxa de endemismo biológico, dispersa em biomas únicos. Essa diversidade biológica vem sendo amplamente estudada sob vários aspectos, ao longo de anos de pesquisas. Uma grande variedade de metabólitos micro e macromoleculares foi obtida, e várias substâncias apresentam atividades biológicas e farmacológicas relevantes, com grande potencial para o desenvolvimento de protótipos de fármacos, cosméticos, agroquímicos e suplementos alimentares (MAIA; ZOGHBI; ANDRADE, 2001; MAIA; ANDRADE, 2009; BARATA, 2012; JOLY *et al.*, 2011).

O bioma cerrado é a segunda maior formação do Brasil e apresenta cerca de 2 milhões de Km<sup>2</sup> de área, totalizando 24% do território nacional. Possui uma rica diversidade de flora nativa, incluindo espécies com propriedades terapêuticas (HENRIQUES, 2005; FERREIRA *et al.*, 2020). Na região, há ocorrência de duas estações bem definidas, que é caracterizada pela presença de invernos secos e verões chuvosos (WALTER, 2006).

O cerrado brasileiro (**Figura 1**) é uma grande fonte de plantas medicinais, com diversas espécies farmacologicamente ativas utilizadas na medicina popular, contribuindo para o conhecimento significativo de compostos bioativos (MARTINS *et al.*, 2015). Além do mais, o Cerrado abriga mais de 11.000 espécies vegetais, das quais 4.400 são endêmicas, em que possui espécies de grande importância medicinal. O uso de plantas medicinais tem relevância socioeconômica muito grande na qualidade de vida das comunidades de baixa renda, devido a sua alta disponibilidade, baixa toxicidade, risco mínimo de efeitos colaterais e principalmente aos baixos custos e/ou sem ônus comparados aos medicamentos alopático (ROCHA; PEIXOTO; SANTOS; SOUSA, 2018).



**Figura 1** - Mapa demonstrativo do Bioma Cerrado encontrado no Brasil.  
Fonte: [brasilescola.uol.com.br](http://brasilescola.uol.com.br), 2020.

As plantas e seus produtos são usados pelos humanos como importantes remédios para saúde desde tempos imemoriais. Os produtos naturais são fabricados pelas plantas, pois os espécimes produzem seu próprio alimento e também tem a capacidades de lidar com situações adversas. Em ambiente irregular, elas produzem certos produtos químicos chamados metabólitos secundários, que são usados como mecanismo de ataque e defesa (NAZIR; ZAHOOOR; UDDIN, 2021).

Moraes *et al.*, (2016) analisou 23 artigos de levantamento etnobotânico sobre o uso de plantas medicinais em regiões de Cerrado. Sendo citada 137 espécies mais utilizadas nas referidas regiões, as 10 mais frequentes foram: *Chenopodium ambrosioides*, *Cymbopogon citratus*, *Mentha pulegium*, *Baccharis trimera*, *Coleus barbatus*, *Phyllanthus niruri*, *Rosmarinus officinalis*, *Foeniculum vulgare*, *Lippia alba* e *Myracrodruom urundeuva*. Mostrando potenciais efeitos farmacológicos dessas espécies, confirmando muitos casos o uso terapêutico das plantas medicinais no uso popular.

Os óleos essenciais são produtos voláteis do metabolismo secundário extraído de diversas partes de plantas aromáticas, que apresentam composição química diferentes e complexas e garantem aos vegetais vantagens adaptativas no meio que estão inseridos (OUSSALAH *et al.*, 2007). Esses óleos são compostos principalmente de monoterpenos, sesquiterpenos e fenilpropanoides, metabólitos que conferem suas características

organolépticas. Os óleos essenciais de diversas espécies vegetais são utilizados na perfumaria, cosméticos, alimentos e como coadjuvantes em medicamentos (BIZZO; HOVELL; REZENDE, 2009).

A *Dizygostemon riparius* Scatinga & Colletta (Plantaginaceae) é uma nova planta aromática com registro para a Região Leste Maranhense, no município de São Benedito do Rio Preto, Maranhão, Brasil, comumente conhecida como “melosa”. Esta espécie é identificada com característica aromática e pegajosa, sendo suas folhas utilizados para aromatização de roupas, higienização de animais domésticos e ação larvicida contra larvas da espécie *Aedes albopictus*, sendo esta última cientificamente comprovada (BRANDÃO, 2018). Em vista disso, o estudo químico dos óleos essenciais pode auxiliar na identificação taxonômica de espécies *Dizygostemon*, com também diferenciar quimiotipos para uma determinada espécie.

Dessa forma, o presente trabalho apresenta como objetivo identificar, analisar a composição química e fazer um estudo sazonal e circadiano com *Dizygostemon riparius* do cerrado maranhense para contribuir com uma base de dados sazonais e circadianos de plantas aromáticas e frutos do cerrado maranhense, indicando assim potenciais espécies aromáticas do leste maranhense.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

- Realizar estudos sazonais e circadianos do óleo essencial de *Dizygostemon riparius* (Plantaginaceae), quanto ao melhor entendimento de sua variabilidade química, com vistas ao seu aproveitamento econômico.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Realizar coleta sistemática da planta nos doze meses do ano, extrair seu óleo essencial e analisar rendimento e composição química;
- Realizar coleta sistemática da planta em diferentes horários do dia (6, 9, 12, 15 e 18h), nos períodos seco (novembro) e chuvoso (maio), extrair seu óleo essencial e analisar rendimento e composição química.
- Submeter a variabilidade química (sazonal e circadiana) do óleo de *D. riparius* à análise estatística multivariada (PCA, análise de componentes principais e HCA, análise de agrupamento hierárquico).

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Descrição da Espécie *Dizygostemon riparius* (Plantaginaceae)

Plantaginaceae são angiospermas que apresentam flores coloridas ao longo do ano, de diferentes matizes e local de ocorrência. Na família, é comum a prevalência de herbáceas e arbustos que se desenvolvem em substratos aquáticos, rupícolas e terrícolas. Tem distribuição mundial, com aproximadamente 100 gêneros e 200 espécies, que no Brasil são reconhecidos 25 gêneros e aproximadamente 140 espécies. Geograficamente, sua ocorrência se confirma em todas as regiões do território brasileiro, estando presente nos seus principais biomas, Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal (BRANDÃO, 2018; SCATIGNA; MOTA, 2017).

*Dizygostemon* Radlk. Ex Wettst pertence às Gratioleae, uma tribo da família Plantaginaceae que compreende 25 gêneros e mais de 300 espécies. Gênero é representado, atualmente, por *D. floribundum* (Benth) Radlk. Ex Wettst, restrito à região nordeste do Brasil, que é caracterizado pelo hábito herbáceo, flores subsésseis ou de pedicelo curto e folhas pubescentes na face dorsal, pubérulas na face ventral glanduloso-pontuada em ambas as faces (SCATIGNA *et al.*, 2019; SOUSA; GIULIETTI, 2009).

*Dizygostemon* foi descrito como uma seção monotípica de *Beyrichia* Cham. e Schltdl., sendo representado apenas por *B. floribundum* Benth. e colocado na tribo Gratioleae (1846). *Dizygostemon* difere das outras espécies de *Beyrichia* por possuir estames dorsais férteis e cápsula loculicida com valvas bífidas, que em contra partida, *Beyrichia* possuía estames dorsais atrofiados e cápsula septícida. Com base nessas características a seção *Dizygostemon* foi elevada à categoria de gênero. Giulietti (1971) reconhecem a espécie *Dizygostemon angustifolium* Giul, caracterizado por possuir folhas mais estreitas e distribuição mais restrita. Mais recentemente, Sousa e Giulietti (2009) adotaram um conceito mais amplo para *D. floribundum* incluindo *D. angustifolium* em sua sinonímia atual (SCATIGNA *et al.*, 2019; SOUSA; GIULIETTI, 2009).

*Dizygostemon riparius* é a segunda espécie do gênero *Dizygostemon* (Plantaginaceae). Foi descoberta no município de São Benedito do Rio Preto pelo professor e pesquisador Rogério Teles (2017), do Instituto Federal do Maranhão, em São Luís, identificada pelos taxonomistas André Vito Scatigna e Gabriel Dalla Colletta, da Universidade de Campinas. Em levantamentos de herbários e bases de dados digitais não foram encontrados registros prévios para *D. riparius*. Também não há indícios que a espécie tenha sido trazida de outro habitat. Então, a espécie é

considerada nativa e endêmica do Estado do Maranhão, com seu primeiro registro de ocorrência no município de São Benedito do Rio Preto, Maranhão, Brasil, onde é usada como aromatizante de roupas, para remover parasitas de animais domésticos e prevenção de mosquitos.

O óleo essencial de *D. riparius* foi analisado por CG e CG/EM, que identificou como componentes majoritários acetato de *endo*-fenchila e *endo*-fenchol, dois monoterpenos oxigenados, além de dois outros sesquiterpenos de menor teor, (*E*)-cariofileno e óxido de cariofileno, num total de 88% do óleo. Também, o óleo foi submetido a bioensaio larvicida realizado contra larvas de *Aedes albopictus*, e o resultado apontou para um novo bioproduto com ação larvicida significativa (BRANDÃO, 2018; BRANDÃO *et al.*, 2020).

### 3.2 Óleos Essenciais (OEs): características gerais

Os óleos essenciais (OEs) são definidos como produtos voláteis de partes de plantas, obtidos através de destilação por arraste com vapor d'água, bem como os produtos obtidos por expressão dos pericarpos de frutos cítricos (ISO - International Organization for Standardization, 1997). Os óleos essenciais, em sua grande maioria, são constituídos de derivados de fenilpropanóides e terpenóides que, dependendo da família botânica, seus constituintes voláteis podem ocorrer em estruturas secretoras especializadas, tais como pêlos glandulares (Lamiaceae), células parenquimáticas diferenciadas (Lauraceae, Piperaceae, Poaceae), canais oleíferos (Apiaceae) ou em bolsas lisígenas ou esquizolisígenas (Pinaceae, Rutaceae). Os óleos essenciais podem ser estocados em certos órgãos da planta, como flores, folhas, cascas dos caules, madeiras, raízes, rizomas, frutos ou sementes, sendo que sua composição química, característica físico-química e odor dos constituintes voláteis, podem variar nos diferentes órgãos da planta (SIMÕES; SPITZER, 2004).

Os metabólitos secundários representam uma interface entre as plantas e o ambiente (GOBBO-NETO; LOPES, 2007), em que exercem uma função de defesa contra o ataque de predadores, na atração de polinizadores, na proteção contra perda de água, no aumento da temperatura e como inibidores de germinação, assim favorecendo a adaptação da planta ao meio ambiente (SIMÕES; SPITZER, 2004). Além disso, apresentam diversas atividades biológicas, tais como agentes antibacterianos, antifúngicos e antioxidantes, que são dependentes de sua composição química específica (OLMEDO; ASENSIO; GROSSO, 2015).

Sabe-se que várias espécies de plantas contêm compostos químicos voláteis que podem ser extraídos como óleo essencial, usando diferentes métodos para separar esses óleos dos vários materiais vegetais (CASSEL *et al.*, 2009). De fato, os óleos essenciais são misturas

complexas de substâncias voláteis, lipofílicas, geralmente odoríferas e líquidas, compostas por vários constituintes especialmente hidrocarbonetos e compostos oxigenados (SIMÕES; SPITZER, 2004). Os percentuais dos componentes dos óleos essenciais, derivados quimicamente de diversas classes de compostos, variam entre as espécies e as partes das plantas (SOLÓRZANO-SANTOS; MIRANDA-NOVALES, 2012).

Uma pequena fração de óleo essencial representa a composição volátil de um determinado órgão vegetal, concedendo-lhe propriedades características usadas nas indústrias farmacêutica, alimentícia e de fragrância. Cada componente do óleo essencial possui odor próprio, que combinado com outros, são responsáveis pelo aroma e benefícios característicos da planta (ANITESCU; DONEANU; RADULESCU, 1997).

Esses óleos podem ser isolados e, dependendo da parte da planta e a finalidade de uso, podem ser empregados diferentes métodos de extração como enfloração, destilação a vapor, hidrodestilação, prensagem, extração com solventes orgânicos, fluido supercrítico e micro-ondas (SIMÕES; SPITZER, 2004).

De modo geral, os óleos essenciais são misturas complexas de compostos, formados principalmente por monoterpenos, sesquiterpenos e seus derivados oxigenados (álcoois, aldeídos, ésteres, éteres, cetonas, fenóis e óxidos). São solúveis em solventes orgânicos como éter e outras substâncias apolares, apresentam solubilidade limitada em água, mas suficientes para aromatizar as soluções aquosas, denominadas hidrolatos. Os constituintes voláteis são instáveis na presença de luz, ar, calor, umidade e metais. A maioria dos óleos voláteis possuem índice de refração e são opticamente ativos (BAJPAI; RAHMAN; SUN, 2008; SIMÕES; SPITZER, 2004).

Desde sua descoberta, os óleos essenciais têm sido utilizados como aditivos alimentares, medicamentos e cosméticos. Além disso, exerce a função de agente inseticida, antioxidante, antialérgicos, anticâncer, antibacteriana, antiviral e antifúngico, sendo assim, estimulando maior interesse pela pesquisa dos seus constituintes voláteis e compostos isolados (DIMA; DIMA, 2015; DONSI; FERRARI, 2016).

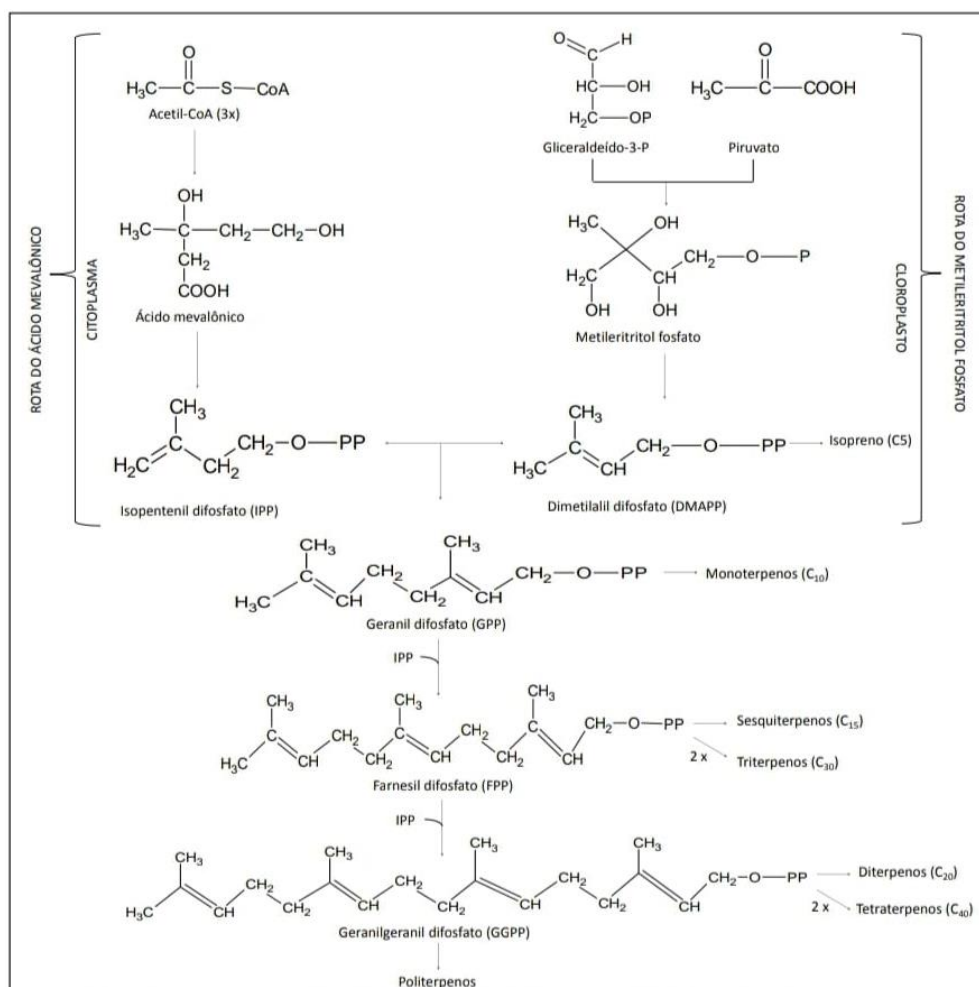
### 3.2.1 Terpenos

Os terpenos ou terpenóides constituem uma extensa família de produtos naturais, cujas estruturas são formadas de duas ou mais unidades de isopreno – 2-metilbutadieno (figura) (LOBO; LOURENÇO, 2007). São classificados em monoterpenos (C<sub>10</sub>), sesquiterpenos

(C15), diterpenos (C20), triterpenos (C30), tetraterpenos (C40) e politerpenos quando contém mais de 8 unidades de isoprenos (GARCÍA; CARRIL, 2009).

Os terpenos são sintetizados em duas vias principais, que ocorrem em organelas diferentes da célula vegetal (citoplasma e cloroplasto). A rota do ácido mevalônico, que ocorre no citoplasma, proveniente da condensação de três moléculas de acetil-CoA, que sucede reações de hidrólise e redução enzimática dando origem ao ácido mevalônico. Esta molécula é transformada no IPP (isopentil difosfato), após realizar reações de piro-fosforilação, seguida de descarboxilação e desidratação. A outra via é a do metileritritol fosfato (MEP), que ocorre nos cloroplastos. Nesta rota, o 1- deoxi-D-xilulose-5-fosfato (DXP), intermediário de cinco carbonos, é formado a partir de dois grupos da glicólise, o gliceraldeído-3-fosfato e pivurato, num processo de condensação. O DXP sofre redução e transforma em MEP que é convertido em DMAPP (dimetialil difosfato), isômero do IPP (figura) (LOBO; LOURENÇO, 2007; GARCÍA; CARRIL, 2009; MARTINS, 2012; BORGES; AMORIM, 2020).

As unidades DMAPP e seu isômero IPP são os precursores da biossíntese dos terpenos, combinando-se por meio da reação de condensação, catalisada pela enzima peniltransferase, para formar moléculas maiores. A união dos isômeros DMAPP e IPP forma a cadeia de dez átomos de carbono, geranyl difosfato (GPP), precursora dos monoterpêneos. A condensação do GPP com outras unidades de IPP forma sucessivamente cadeias de farnesil difosfato (C15), geranylgeranyl difosfato (C20), geranylgeranyl (C25), precursoras dos sesquiterpenos, diterpenos e sesterpenos, respectivamente. Enfim, os FPP (farnesil difosfato) e GGPP (geranylgeranyl difosfato), por condensação, formam cadeias dos triterpenos e tetraterpenos, respectivamente (**Figura 2**) (LOBO; LOURENÇO, 2007; MARTINS, 2012; BROCK; DICKSCHAT, 2013; BORGES; AMORIM, 2020).



**Figura 2** - Fluxograma simplificada da rota de biossíntese de terpenos

Fonte: Martins (2012).

### 3.3 Aspectos Biológicos dos Óleos essenciais

Óleos essenciais são metabólitos secundários importantes para defesa das plantas e possuem propriedades medicinais como atividades antimicrobianas, antiparasitas, inseticidas, antivirais, antioxidantes, analgésicas, anti-inflamatórias, anticancerígenas, anticonvulsiantes, gastro-protetoras, anticolinesterásicas, larvicidas e como potencializadores de crescimento de animais (KALEMBA; KUNICKA, 2003; BURT, 2004; BAKKALI *et al.*, 2008; HYLDAARD *et al.*, 2012; RAPOSO, 2017).

A atividade biológica de um determinado óleo essencial pode ser atribuída aos principais constituintes, componentes majoritários, mas também das interações entre esses e os constituintes minoritários dos óleos. As propriedades biológicas dos óleos são atribuídas aos seus constituintes químicos, de maneira que podem agir de forma sinérgica de todas as moléculas ou refletir nos seus constituintes principais (KALEMBA; KUNICKA, 2003; BURT, 2004; BAKKALI *et al.*, 2008; HYLDAARD *et al.*, 2012; RAPOSO, 2017).

Nas últimas décadas, problemas de saúde pública tem aumentado, entre estes, a resistência a antimicrobianos causada por algumas populações de bactérias e fungos. Na busca por novos produtos antimicrobianos a pesquisa vem crescendo com a investigação farmacológica de extratos, constituintes químicos isolados de óleos essenciais e os estudos da relação estrutura/atividade e mecanismos de ação dos princípios ativos (FERRONATO *et al.*, 2007; SARTO; JUNIOR, 2014).

Os óleos essenciais possuem variação na atividade biológica que age em diferentes microrganismos patogênicos, dependendo da composição de seus constituintes químicos como citral, pineno, cineol, cariofileno, elemeno, furanodieno, limoneno, eugenol, eucaliptol, carvacrol e outros. Estes constituintes são responsáveis por propriedades antissépticas, antibacterianas, antifúngicas e antiparasitárias (FERRONATO *et al.*, 2007; SARTO; JUNIOR, 2014).

### **3.4 Variabilidade Química dos Óleos essenciais**

A composição química dos óleos essenciais de uma planta é determinada por fatores genéticos, mas outros fatores podem acarretar alterações significativas na produção dos metabólitos secundários. A produção dos constituintes dos óleos essenciais é feita por rotas metabólicas que ocorrem nos vegetais, onde os metabólitos secundários representam uma interface entre as plantas e o ambiente, sendo que na interação entre o ambiente e a planta pode haver redirecionamento da rota metabólica, causada por fatores como sazonalidade, ritmo circadiano, idade e estágio de desenvolvimento, estresse hídrico, condições climática e de solo (GOBBO-NETO; LOPES, 2007; MORAIS, 2009) ocasionando a biossíntese de diferentes compostos.

Variabilidade na composição química de óleos essenciais de plantas da mesma espécie são devidas as diferentes pressões ambientais, como herbivoria e condições edafoclimáticas e podem levar a modificações genéticas que resulta na formação de quimiotipos, sendo que estes compostos podem fornecer óleos essenciais com diferentes atividades biológicas (FEITOSA-ALCANTARA *et al.*, 2017; RAPOSA, 2017).

As variações dos componentes dos óleos essenciais de indivíduos de uma mesma espécie, engloba dois componentes de difícil dissociação: ambiente e genético. Os dois fatores estão intrinsicamente relacionados, visto que, além da influência direta dos parâmetros ambientais na síntese de voláteis, o ambiente pode atuar promovendo uma pressão de seleção em perda de um ou outro genótipo (RAPOSO, 2017).

Conforme estudo dos autores Tavares *et al.*, (2005), eles verificaram a relação da variação genética intraespecífica com quimiotipos de *Lippia Alba* localizados em diferentes regiões do Brasil. Então, com os dados obtidos foi permitido estabelecer três quimiotipos de acordo com a presença e distribuição dos compostos majoritários: quimiotipo 1: Geraniol; quimiotipo 2: Carvona; quimiotipo 3: Linalol.

O rendimento e a composição do óleo essencial, dependendo da planta, podem variar ao longo do desenvolvimento do órgão (folhas, flores, caules ou raízes). Tecidos mais jovens geralmente apresentam grande atividade biossintética, aumentando a produção de vários compostos, dentre estes, os óleos essenciais. A alteração da composição do óleo essencial com a maturação do órgão está intimamente relacionada com as vias biossintéticas que conduzem a uma maior ciclização e desidratação dos componentes do óleo (FIGUEIREDO; BARROSO; PEDRO, 2007; MORAIS, 2009).

A época em que uma droga é coletada é um dos fatores de maior importância, visto que a quantidade e, às vezes, até mesmo a natureza dos constituintes ativos não é constante durante o ano, em decorrência das mudanças climáticas, diferentes estímulos são recebidos pelos vegetais, que podem acarretar alterações fisiológicas, dentre elas possíveis mudanças no metabolismo secundário do vegetal. O ritmo circadiano também pode gerar alterações na composição química, dependendo da espécie, uma vez que ao longo do dia ocorrem variações na incidência de luminosidade, alterações de temperatura, umidade e pluviosidade (GOBBONETO; LOPES, 2007; FERREIRA *et al.*, 2020; MARQUES, 2016).

Segundo Ribeiro *et al.* (2018), relata que estudos afirmam que diversos fatores ambientais, como clima, solo, estação do ano, forma de plantio, adubação, uso de agrotóxicos, irrigação, tempo e condições ambientais, material da colheita fresco ou seco, técnica de extração, padrões de variação geográfica podem afetar a composição química dos óleos essenciais.

A variabilidade química nos óleos essenciais dificulta a avaliação e a utilização segura e eficaz de plantas aromáticas, visto que a qualidade dos óleos essenciais está ligada à sua constituição química. Deste modo, o reconhecimento e a compreensão dessas variações são de fundamental importância quando se realiza o desenvolvimento de trabalhos de uma espécie como ferramenta quimiotaxonômica e/ou visando a aplicação fitoterapêutica (RAPOSO, 2017).

### **3.5 Análise Multivariada (PCA e HCA) e Aplicação no Estudo Químico de OEs**

A Estatística multivariada consiste em um conjunto de métodos aplicados em situações em que várias variáveis são medidas simultaneamente em cada elemento amostral. Sua aplicação tem finalidade de reduzir dados ou de simplificar a sua estrutura, de classificar e agrupar, de investigar a dependência entre variáveis. O modelo estatístico dos métodos multivariados considera a correlação entre muitas variáveis analisadas simultaneamente, permitindo adquirir uma quantidade muito maior de informação de um conjunto de dados (SENA *et al.*, 2000; BAKKE *et al.*, 2008).

A extração de informações dos resultados de um experimento químico envolve a análise de grande número de variáveis. A redução de variáveis de critérios objetivos, permitindo a construção de gráficos bidimensionais contendo maior informação estatística, pode ser conseguida através da análise de componentes principais (PCA). Também é possível construir agrupamentos entre as amostras de acordo com suas similaridades, utilizando todas as variáveis disponíveis, e representá-los de maneira bidimensional através de um dendrograma, na análise de agrupamentos hierárquicos (HCA) (MOITA NETO; MOITA, 1998).

A análise de componentes principais (PCA) consiste essencialmente em reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema de eixo mais conveniente para a análise de dados. Em outras palavras as  $n$  variáveis originais geram, através de suas combinações lineares,  $n$  componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade, é que são obtidos em ordem decrescente de máxima variância, ou seja, a componente principal 1 detém mais informação estatística que a componente principal 2, que por sua vez tem mais informação que a componente principal 3 e assim por diante.

Os componentes principais (PCA) apresentam propriedades importantes, ou seja, cada componente principal é uma combinação linear de todas as variáveis originais, que são independentes entre si e estimadas com propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total contida nos dados (HONGYU; SANDANIELO; OLIVEIRA JUNIOR, 2016; MOITA NETO; MOITA, 1998).

A análise de Agrupamentos Hierárquicos (HCA) tem como objetivo agrupar as variáveis, conforme a sua proximidade e características comuns, buscando mostrar a homogeneidade dentro dos grupos e heterogeneidade entre os grupos. A técnica de HCA interliga as amostras por suas associações, produzindo um dendrograma onde as amostras semelhantes, variáveis escolhidas; são agrupadas entre si. A suposição básica de sua interpretação é a seguinte, quanto menor a distância entre os pontos, maior a semelhança entre as amostras. Os dendrogramas são especialmente úteis na visualização de semelhanças entre as amostras ou objetos representados por pontos em espaço com dimensão maior do que três, onde

a representação de gráficos convencionais não é possível (SANTOS; SOUSA, 2018; MOITA NETO; MOITA, 1998).

As análises multivariadas PCA e HCA são ferramentas complementares utilizadas no estudo da composição química de óleos essenciais. Essas técnicas podem auxiliar na compreensão da variação dos voláteis entre as espécies, variações intraespecíficas e em estudos quimiotaxonômicos. A análise quimiotaxonômica visa o agrupamento de espécies semelhantes mediante a utilização de marcadores químicos principais, com objetivo de auxiliar na sua classificação botânica. Além disso, os agrupamentos obtidos podem ser correlacionados com fatores ambientais, morfológicos, genéticos etc. (RAPOSO, 2017).

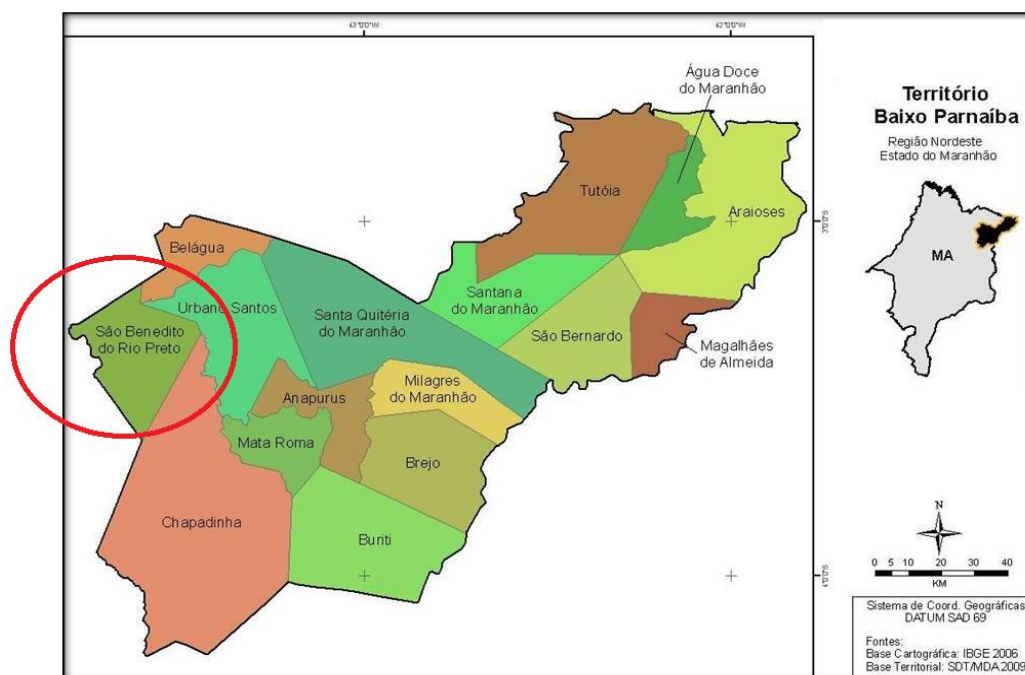
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área da pesquisa, Coleta e Dados Climáticos

As amostras de *Dizygostemon riparius* (**Figura 3**) foram coletadas às margens do Rio Preto, no município de São Benedito do Rio Preto (**Figura 4**) ( $3^{\circ}19'27,9''$  S e  $43^{\circ}31'02,6''$  O), no estado do Maranhão, Brasil. Foram coletadas 50 mudas do material vegetal, no período de agosto e setembro de 2019, para o plantio na UFMA, campus São Luís. A planta foi propagada em vasos plásticos, utilizando terra preta como substrato. O material vegetal foi utilizado para extração de óleos nos meses de agosto, setembro, outubro, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro de 2019, coletado no município de São Benedito do Rio Preto. Em março, abril, maio, junho e julho de 2020, coletado no campus da UFMA – São Luís, época em que às margens do Rio Preto está inundada, sem condições de coleta no local. Para o estudo circadiano, a herbácea foi coletada em dois períodos: novembro/19 (período seco) e maio/20 (período chuvoso) nos horários de 6h, 9h, 12h, 15h e 18h.



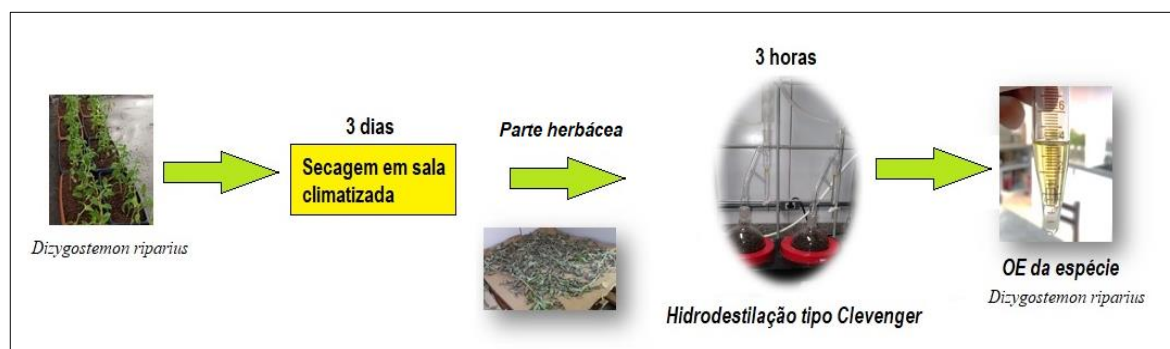
**Figura 3** - Exemplares da espécie de estudo, *Dizygostemon riparius*  
Fonte: o autor (2021).



**Figura 4** - Área da pesquisa, município São Benedito do Rio Preto no estado do Maranhão  
Fonte: adaptado de Guimarães (2012).

## 4.2 Extração do Óleo Essencial (OE)

Os óleos essenciais foram extraídos da parte herbácea da planta, excluindo a raiz (secagem em sala climatizada, durante três dias), submetidas a hidrodestilação durante 3h, usando um sistema de vidro do tipo Clevenger modificado, acoplado a um sistema de refrigeração da água de condensação em torno de 5°C. Os óleos obtidos foram centrifugados e secos com  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  anidro.



**Figura 5** - Processo de extração de óleos essenciais (OEs) para a espécie *Dizygostemon riparius*, por hidrodestilação usando *Clevenger*  
Fonte: o autor (2021).

### 4.3 Determinação da Umidade Residual e Cálculo do Rendimento

A porcentagem de umidade das amostras foi obtida através de analisador de umidade IV 2500 – GEHAK por infravermelho, com temperatura de 115°C por 30 minutos.

O rendimento (%) do óleo essencial extraído da biomassa vegetal foi determinada através da Equação 1:

$$\text{Equação 1: \% óleo BLU} = \frac{\text{vol. (mL) do óleo obtido}}{\text{massa do material (g)} - \left( \frac{\text{massa do material (g)} \times \text{umidade}}{100} \right)} \times 100 \%$$

Onde:

BLU: Base livre de umidade

### 4.4 Análise por Cromatografia em fase Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas (CG-EM)

A composição química foi analisada por Cromatografia em fase Gasosa acoplada a Espectrometria de Massas (CG-EM) em parceria com o Laboratório de Biologia e Bioprospecção Ambiental da Universidade Federal do Oeste do Pará. Injetou-se 1 µL de solução de óleo essencial em hexano (5:500) (Auto injetor AOC-20i) em sistema Shimadzu QP 2010 ultra equipado com coluna capilar de sílica Rtx-5MS (Restek, EUA) de 30 m de comprimento x 0,25 mm de diâmetro interno revestido com 5%-difenil/95%-dimetilpolisiloxano (0,25 µm de espessura do filme).

A temperatura do forno do CG teve a seguinte programação de 60°C a 240°C a 3°C/min seguido de uma isoterma de 10°C, as temperaturas do injetor (split 1:20), linha de transferência e câmara de ionização foram de 250, 250 e 200°C, respectivamente. Hélio foi usado como gás de arraste com fluxo de 1 mL/min.

Os espectros de massas foram obtidos por impacto eletrônico a 70 eV com scans automáticos (varredura) na faixa de massas de 35 a 400 daltons com 0,30 scans/s. Os índices de retenção foram calculados de acordo com a equação linear Van den Dool e Kratz (VAN; KRATZ, 1963) que relaciona o tempo de retenção dos compostos ao tempo de retenção de uma série de hidrocarbonetos homólogos. Uma série de n-alcenos C8-C40 (Sigma-Aldrich) foi injetada nas mesmas condições cromatográficas das amostras.

A identificação dos componentes foi baseada no tempo e índice de retenção linear e comparação e interpretação dos seus espectros de massas, com aqueles existentes nas bibliotecas Adams (2007), Nist (2011) e FFNSC 2 (MONDELLO, 2011).

#### **4.5 Análise Estatística**

A composição química foi submetida a análise multivariada (Análise Hierárquica de Agrupamento, HCA e Análise dos Componentes Principais, PCA) no software Minitab® versão 18. Os rendimentos e teores dos compostos majoritários foram analisados por teste de Tukey no software GraphPad Prism 5.0. Para verificação da correlação dos dados obtidos com os parâmetros climáticos foi realizada correlação de Pearson no software Minitab® versão 18.

##### *4.5.1 Análise Hierárquica de Agrupamento*

A composição química do OE foi submetida a Análise Hierárquica de Agrupamento (HCA, do inglês Hierarchical Cluster Analysis) tomando como variáveis os compostos com teores iguais ou superiores a 0.5%. O método empregado foi utilizando uma matriz de distância Euclidiana e ligação simples. Os dados foram pré-processados através do autoescalamento onde centram-se os dados na média e divide-se cada um pelo desvio padrão, de forma que todas as variáveis tenham o mesmo peso.

##### *4.5.2 Análise dos Componentes Principais*

Na Análise dos Componentes Principais (PCA, do inglês Principal Component Analysis), os dados multivariados também foram autoescalados e agrupados de acordo com as similaridades encontradas.

##### *4.5.3 Teste de Tukey*

Os dados do rendimento, teor dos compostos majoritários foram analisados por análise de variância (ANOVA) de um fator, seguida de teste de Tukey, com 95% de significância, com o software GraphPad Prism 5.0.

#### *4.5.4 Correlação de Pearson*

Os coeficientes de correlação de Pearson (R) foram calculados para determinar a correlação entre os parâmetros analisados (Minitab, versão 18).

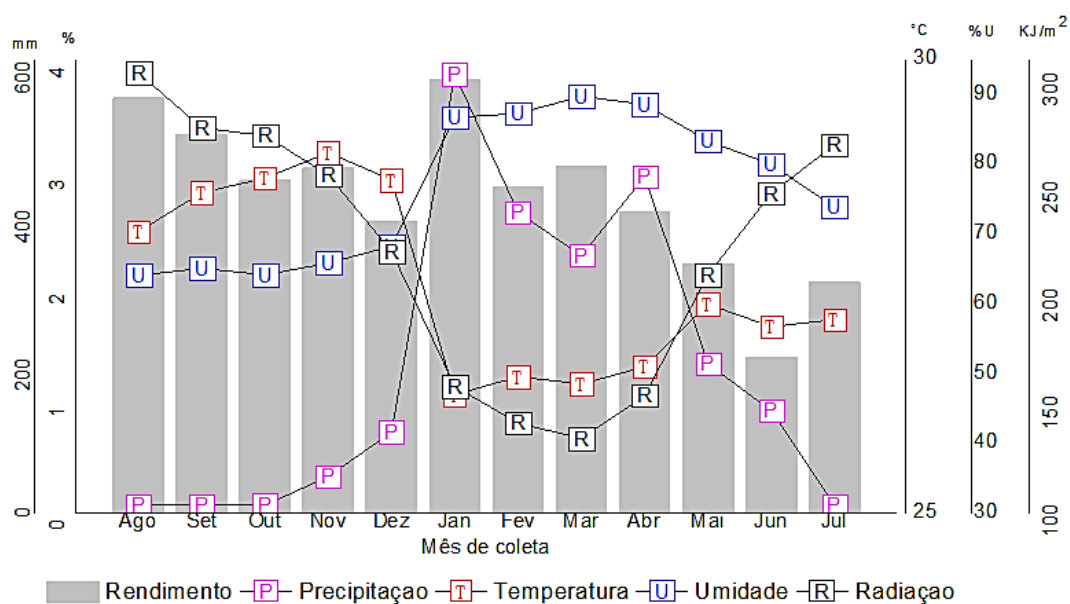
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Brandão (2018) investigou previamente a espécie *Dizygostemon riparius* e identificou os compostos orgânicos majoritários, acetato de *endo*-fenchila (48,65%) e *endo*-fenchol (34,89%), com rendimento de 1,54% de óleo essencial. O presente trabalho foi desenvolvido no intuito de investigar a variação e rendimento dos constituintes do óleo essencial de *D. riparius* em estudos do período sazonal e ritmo circadiano.

### 5.1 Rendimento do Óleo vs Parâmetros Climáticos

Os dados meteorológicos foram registrados pela estação de Barreirinhas (02°44' S e 42°49' O), cerca de 107 Km de distância do município da coleta. Os parâmetros climáticos como umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar e temperatura foram monitorados por um período de um ano (agosto de 2019 a julho de 2020), para avaliar a influência da sazonalidade no rendimento e composição do óleo essencial de *D. riparius*. Os valores médios da umidade relativa e precipitação, entre agosto e julho, variam de 64,04 a 89,69% e de zero a 579,9 mm, respectivamente.

Do mesmo modo, a radiação solar média e a temperatura média variam de 134,4 a 303,8 Kj/m<sup>2</sup> e 26,3 a 28,97°C, respectivamente. Com base nos dados de precipitação, o período chuvoso ocorreu de janeiro a junho, com média de 127,5 e 579,9 mm, e o período seco foi de julho a dezembro, variando entre zero e 98,5 mm (**Figura 6**).



**Figura 6** - Relação entre os parâmetros climáticos e o rendimento do óleo de *Dizygostemon riparius* durante o estudo sazonal  
Fonte: o autor (2021).

O cerrado brasileiro localiza-se na região tropical sazonal, em sua grande parte, apresenta duas estações bem definidas: estação úmida no verão e a estação seca no inverno (ALBUQUERQUE; SILVA, 2008), sendo que os períodos dos meses das estações chuvosa e seca podem sofrer alterações, devido ao Brasil apresentar elevada vulnerabilidade aos possíveis efeitos das alterações climáticas (SILVA *et al.*, 2016).

Devido à alta disponibilidade energética durante todo o ano e sazonalidade da distribuição da precipitação, caracterizado também pela variabilidade espacial e temporal dos principais limitantes climáticos (radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e precipitação) que variam dentro da área de domínio do bioma. O cerrado é afetado por períodos de interrupção da precipitação durante a estação chuvosa, isto é, irregularidades da distribuição da chuva (ALBUQUERQUE; SILVA, 2008). Os índices pluviométricos variam de acordo com os limites que o cerrado faz com outros biomas (SOUSA, 20), sendo assim, o período seco e o período chuvoso podem apresentar mudanças em seu início e fim (SILVA *et al.*, 2016). A cidade de São Benedito do Rio Preto, local de coleta da *D. riparius*, localizada em área de cerrado do nordeste do Brasil, apresenta índice pluviométrico mais elevado nos meses de janeiro a abril (período chuvoso) e geralmente não apresenta precipitação nos meses de julho, agosto e setembro (período seco). Porém, de um ano para outro, estas estações podem mudar, dependendo dos fenômenos atmosféricos que afetam as regiões tropicais (COSTA *et al.*, 2020).

A produção dos óleos de *D. riparius*, no estudo anual, variou de 1,37%, menor quantidade (junho/20) a 3,82%, maior quantidade (janeiro/20), com média de  $2,77 \pm 0,7\%$  para o período de estudo sazonal (agosto/19 a julho/20) (ver tabela 1). Os rendimentos médios dos óleos nas estações seca ( $2,88 \pm 0,5\%$ ) e chuvosa ( $2,66 \pm 0,8\%$ ) não apresentaram diferenças estatisticamente significativa entre os dois períodos  $p > 0,05$  (Teste de Tukey). Além disso, no estudo sazonal, não foi observada correlação significativa ( $p > 0,05$ ) entre o teor de óleo essencial e os parâmetros climáticos (ver tabela 3), isto é, umidade relativa ( $R = -0,167$ ), precipitação ( $R = 0,220$ ), radiação solar ( $R = -0,074$ ) e temperatura ( $R = 0,120$ ). Assim, demonstra que as condições climáticas e o período sazonal não se correlacionam com as variações nos rendimentos dos óleos de *D. riparius*, coletada na cidade de São Benedito do Rio Preto, Maranhão, Brasil.

**Tabela 1** - Rendimento (%) dos óleos essenciais de *D. riparius* no estudo anual

| Estudo | Mês/ano | Rendimento (%) |
|--------|---------|----------------|
| S      | Ago/19  | 3,66           |
| S      | Set/19  | 3,34           |
| S      | Out/19  | 2,93           |
| S      | Nov/19  | 3,04           |
| S      | Dez/19  | 2,57           |
| S      | Jan/20  | 3,82           |
| S      | Fev/20  | 2,87           |
| S      | Mar/20  | 3,05           |
| S      | Abr/20  | 2,66           |
| S      | Mai/20  | 2,20           |
| S      | Jun/20  | 1,37           |
| S      | Jul/20  | 2,03           |

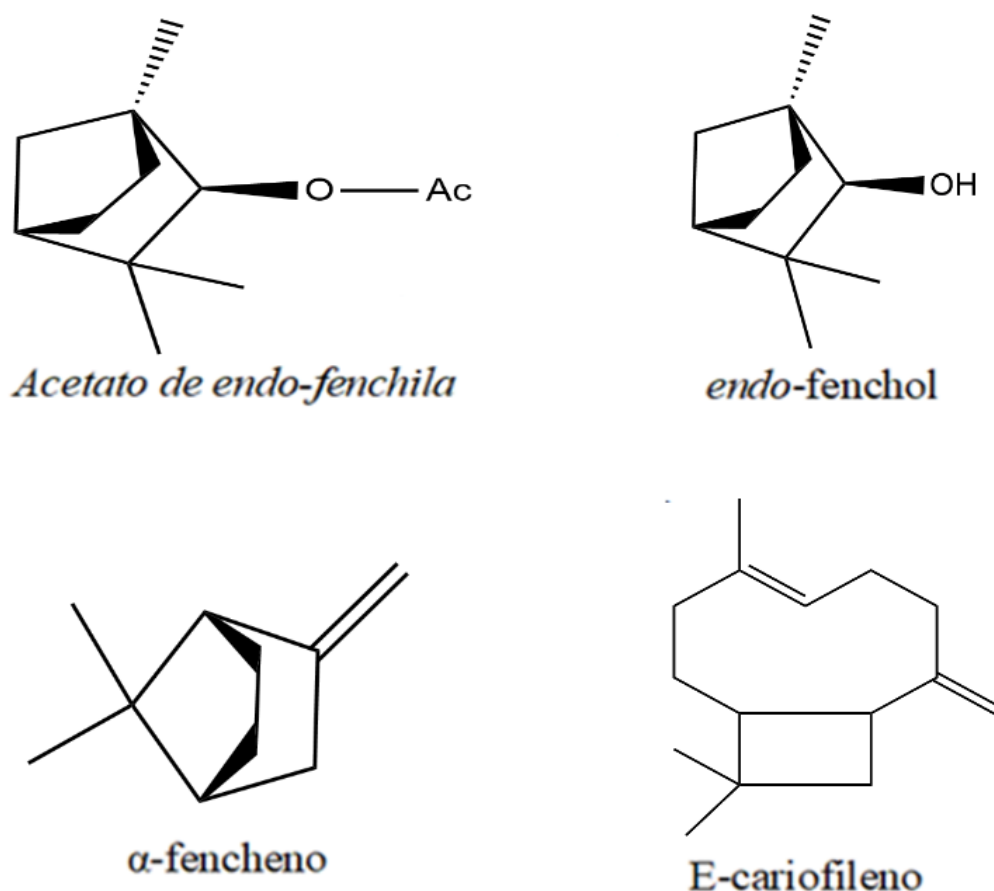
Legenda: S: Sazonal

Fonte: o autor (2021).

## 5.2 Composição do óleo vs Condições ambientais

Os constituintes dos óleos foram identificados por GC/MS, identificando 62 componentes, representando em média 96,1% da composição total dos óleos (Tabela 2 e Tabela 3). Com a média dos constituintes no período sazonal (S) e circadiano (C), os monoterpenos oxigenados foram predominantes (S: 69,41-77,72%; C: 72,90-81,42%), seguido de hidrocarbonetos monoterpênicos (S:6,43-20,72%; C:1,84-14,48%) e hidrocarbonetos sesquiterpênicos (S:3,09-8,38%; C:2,06-7,01%).

O acetato de *endo*-fenchila (S:30,51-42,09%; C:35,96-48,45%) e *endo*-fenchol (S:31,29-37,36%; C:31,68-36,58%) foram os componentes majoritários, seguidos de  $\alpha$ -fencheno (S:3,33-6,45%; C:0,41-6,05%) e (*E*)-cariofileno (S:2,83-7,64%; C:1,92-6,40%). O constituinte acetato de *endo*-fenchila apresentou maior teor médio no período chuvoso (S:37,75%; C:41,95%) e menor teor no período seco (S:37,66%; C:39,78%), já o constituinte *endo*-fenchol mostrou maior teor médio no período seco (S:33,97%; C:35,38%) e menor e teor no período chuvoso (S:33,69%; C:33,59%) figura 7.



**Figura 7** - Estruturas dos componentes do óleo essencial *Dizygostemon riparius* com teores acima de 6%  
Fonte: o autor (2021).

O conteúdo de monoterpenos de hidrocarboneto, com seus constituintes acima de 0,24% de rendimento (ver tabela 2), apresentou maior teor no período seco (61%) e menor no período chuvoso (53,58%), já os hidrocarbonetos sesquiterpênicos possui maior teor de óleo essencial na época chuvosa (31,81%) e menor na época seca (23,37%). A concentração dos constituintes dos tipos monoterpenos oxigenados e sesquiterpenos oxigenados não sofreram variações significativas, com percentuais de (71,05%) e (10,64%) no período seco, (71,29%) e (11,29%) no período chuvoso, respectivamente.

No ritmo circadiano foi observado para os constituintes acima de 0,5%, que seus níveis variavam de acordo com horário de coleta (ver tabela 3). Os hidrocarbonetos monoterpênicos tiveram seus maiores teores (13,05%) no horário das 6h (maio), os menores teores (1,58%) no horário das 15h (maio). Os monoterpenos oxigenados tiveram seus maiores teores (80,13%) no horário das 15h (maio), menores teores (71,49%) no horário das 12h (novembro). Os hidrocarbonetos sesquiterpênicos tiveram seus maiores teores (6,98%) no horário das 15h (novembro), menores teores (2,06%) no horário das 12h (maio). Por fim, os sequisterpenos

oxigenados tiveram suas maiores concentrações (3,69%) no horário das 15h (maio) e menor concentração (1,85%) no horário das 12h (maio). Esses resultados podem estar relacionados com a disponibilidade hídrica no local e a idade da planta.

Segundo Gobbo – Neto e Lopes (2007), as concentrações dos voláteis de uma planta podem variar expressivamente durante diferentes horários do ciclo dia/noite. De acordo com Castro (2001) ao avaliar a produção de biomassa, rendimento e composição química dos óleos essenciais de *L. alba* em diferentes períodos do ano, confirmou que as folhas em estágio inicial de desenvolvimento produzem mais óleos em comparação com folhas mais velhas. Fatores fisiológicos críticos, tais como fotossíntese, comportamento estomatal, mobilização de reservas, expansão foliar e crescimento, podem ser alterados por estresse hídrico e, conseqüentemente, levar alterações no metabolismo secundário (GOBBO-NETO; LOPES, 2007). Queiroz *et al.*, (2016), estudando o teor e a composição química do óleo essencial de *Varronica curassavica jacq* em diferentes horários, verificou que o teor do óleo não sofreu influência do horário de coleta, mas o horário de coleta influenciou a composição química do óleo essencial da espécie.

Neste trabalho, de acordo com as análises da estatística multivariada, teste tukey e correlação Pearson, foi verificado que as condições climáticas: radiação solar, temperatura, umidade relativa do ar e precipitação não influenciaram significativamente o teor de óleos essenciais da *D. riparius*. Entretanto, as concentrações relativas dos componentes do óleo essencial apresentou variação nos diferentes horários de coleta e em diferentes épocas do ciclo circadiano. Fato que o horário de coleta não atua isolado sobre o metabolismo secundário, fatores climáticos, idade do vegetal, estresse hídrico, poluição do ar também podem afetar o metabolismo da planta (GOBBO-NETO; LOPES, 2007).

**Tabela 2** - Composição do óleo de *D. riparius* referente ao estudo sazonal, período de agosto de 2019 a julho de 2020

| Constituintes do óleo (%)           | IR(C)       | IR(L)                   | Ago-19      | Set-19      | Out-19      | Nov-19      | Dez-19      | Jan-20      | Fev-20      | Mar-20      | Abr-20      | Mai-20      | Jun-20      | Jul-20      |
|-------------------------------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 2E-Hexenal                          | 846         | 846 <sup>a</sup>        | 0,05        | 0,07        |             | 0,03        |             | 0,01        | 0,01        | 0,05        |             | 0,01        | 0,04        | 0,11        |
| 3Z-Hexenol                          | 849         | 850 <sup>a</sup>        | 0,09        | 0,09        | 0,03        | 0,06        | 0,03        | 0,05        | 0,04        | 0,07        | 0,05        | 0,03        | 0,06        | 0,08        |
| 2E-Hexenol                          | 858         | 854 <sup>a</sup>        | 0,03        | 0,03        | 0,01        | 0,02        |             | 0,02        | 0,02        | 0,03        | 0,02        |             | 0,02        | 0,05        |
| n-Hexanol                           | 861         | 863 <sup>a</sup>        | 0,03        | 0,03        | 0,01        | 0,02        | 0,01        | 0,02        | 0,02        | 0,02        | 0,02        |             | 0,02        | 0,02        |
| Santolina Trieno                    | 906         | 906 <sup>a</sup>        | 1,21        | 1,5         | 0,72        | 0,85        | 0,64        | 0,81        | 0,53        | 1,36        | 0,91        | 0,68        | 1,35        | 1,26        |
| $\alpha$ -Tujeno                    | 925         | 924 <sup>a</sup>        | 0,94        | 1,9         | 0,86        | 1,31        | 0,78        | 0,78        | 0,08        | 1,1         | 0,87        | 0,64        | 1,83        | 0,24        |
| $\alpha$ -Pino                      | 932         | 932 <sup>a</sup>        | 0,33        | 0,47        | 0,21        | 0,29        | 0,19        | 0,23        | 0,13        | 0,37        | 0,26        | 0,17        | 0,4         | 0,3         |
| <b><math>\alpha</math>-Fencheno</b> | <b>945</b>  | <b>945<sup>a</sup></b>  | <b>6,01</b> | <b>6,14</b> | <b>3,78</b> | <b>4,63</b> | <b>3,56</b> | <b>4,45</b> | <b>3,6</b>  | <b>6,45</b> | <b>4,89</b> | <b>3,33</b> | <b>6,27</b> | <b>6,23</b> |
| Canfeno                             | 950         | 946 <sup>a</sup>        |             |             |             |             |             | 0,19        | 0,16        |             |             |             |             |             |
| 6-metil-Heptan-2-ol                 | 950         | 958 <sup>a</sup>        | 0,09        | 0,03        | 0,09        | 0,09        | 0,11        |             |             | 0,05        | 0,06        | 0,1         | 0,07        | 0,05        |
| Benzaldeído                         | 957         | 952 <sup>a</sup>        |             |             |             |             |             |             |             | 0,01        |             |             |             | 0,02        |
| Sabineno                            | 972         | 969 <sup>a</sup>        | 0,06        | 0,12        | 0,06        | 0,09        | 0,06        | 0,06        |             | 0,07        | 0,07        | 0,05        | 0,12        | 0,05        |
| $\beta$ -Pino                       | 976         | 974 <sup>a</sup>        | 0,04        | 0,05        | 0,03        | 0,04        | 0,03        | 0,04        | 0,03        | 0,04        | 0,04        | 0,02        | 0,04        | 0,03        |
| Mirceno                             | 989         | 988 <sup>a</sup>        |             | 0,03        | 0,01        | 0,02        | 0,01        | 0,01        |             | 0,03        | 0,02        | 0,01        | 0,03        | 0,03        |
| Mestileno                           | 993         | 994 <sup>a</sup>        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,02        | 0,01        | 0,01        | 0,01        |
| n-Decano                            | 999         | 1000 <sup>a</sup>       | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,02        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        |
| $\alpha$ - Felandreno               | 1004        | 1002 <sup>a</sup>       | 0,01        | 0,02        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,04        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,02        |             |
| $\alpha$ - Terpineno                | 1016        | 1014 <sup>a</sup>       | 0,35        | 0,68        | 0,42        | 0,37        | 0,38        | 0,42        | 0,52        | 0,42        | 0,48        | 0,35        | 0,85        | 0,22        |
| <b>p- Cimen</b>                     | <b>1023</b> | <b>1020<sup>a</sup></b> | <b>3,15</b> | <b>4,51</b> | <b>3,55</b> | <b>4,15</b> | <b>3,43</b> | <b>2,76</b> | <b>0,94</b> | <b>3,15</b> | <b>3,06</b> | <b>2,27</b> | <b>4,23</b> | <b>0,65</b> |
| Limoneno                            | 1027        | 1024 <sup>a</sup>       | 1,6         | 1,97        | 1,33        | 1,58        | 1,25        | 1,31        |             | 1,64        | 1,46        | 1,1         | 1,69        | 1,62        |
| 1,8-Cineol                          | 1030        | 1026 <sup>a</sup>       | 0,01        | 0,01        | 0,02        | 0,01        | 0,02        | 0,01        |             | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        |             |
| (Z)- $\beta$ - Ocimen               | 1035        | 1032 <sup>a</sup>       | 0,47        | 0,32        | 0,1         | 0,3         | 0,09        | 0,18        | 0,15        | 0,42        | 0,21        | 0,31        | 0,77        | 0,95        |
| Benzeno acetaldeído                 | 1040        | 1036 <sup>a</sup>       | 0,02        | 0,02        |             | 0,02        |             | 0,01        |             | 0,01        | 0,01        |             | 0,03        | 0,04        |
| (E)- $\beta$ - Ocimen               | 1045        | 1044 <sup>a</sup>       | 0,07        | 0,1         |             |             |             |             | 0,02        |             |             | 0,04        | 0,07        | 0,06        |
| $\gamma$ - Terpineno                | 1057        | 1054 <sup>a</sup>       | 0,97        | 2,03        | 1,72        | 1,5         | 1,6         | 1,4         | 0,23        | 1,23        | 1,58        | 1,14        | 1,78        | 0,52        |

|                                                     |             |                         |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|-----------------------------------------------------|-------------|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <i>cis</i> - Hidrato de Serbineno (IPP vs OH)       | 1065        | 1065 <sup>a</sup>       | 0,01         | 0,11         | 0,04         | 0,08         | 0,03         | 0,03         |              | 0,03         | 0,03         | 0,01         | 0,14         | 0,02         |
| <i>cis</i> - Linalol óxido (furanóide)              | 1070        | 1067 <sup>a</sup>       | 0,01         | 0,02         |              | 0,01         |              |              |              | 0,01         |              |              |              | 0,01         |
| Terpinoleno                                         | 1087        | 1086 <sup>a</sup>       |              | 0,88         |              | 0,71         |              | 0,54         |              | 0,65         |              | 0,57         | 0,97         |              |
| <i>trans</i> -hidrato de Sabineno (IPP vs OH)       | 1099        | 1098 <sup>a</sup>       | 0,17         | 0,29         | 0,13         | 0,25         | 0,12         | 0,12         | 0,06         | 0,17         | 0,14         | 0,14         | 0,4          | 0,21         |
| <b><i>endo</i>-Fenchol</b>                          | <b>1119</b> | <b>1114<sup>a</sup></b> | <b>35,87</b> | <b>32,67</b> | <b>32,18</b> | <b>34,52</b> | <b>31,88</b> | <b>31,81</b> | <b>31,6</b>  | <b>35,83</b> | <b>31,29</b> | <b>34,25</b> | <b>37,36</b> | <b>36,69</b> |
| <i>trans-p</i> -Menta-2,8-dien-1-ol                 | 1120        | 1119 <sup>a</sup>       | 0,08         | 0,13         |              |              |              | 0,06         | 0,06         | 0,09         |              | 0,08         | 0,09         | 0,06         |
| <i>Trans</i> -hidrato de pineno                     | 1122        | 1119 <sup>a</sup>       |              | 0,09         |              | 0,08         |              |              |              |              |              |              | 0,09         |              |
| Terpineol                                           | 1123        | 1130 <sup>a</sup>       | 0,04         | 0,02         | 0,02         | 0,02         |              | 0,02         | 0,11         | 0,04         | 0,03         |              | 0,02         |              |
| <i>cis-p</i> -Menta-2,8-dien-1-ol                   | 1133        | 1133 <sup>a</sup>       | 0,02         |              |              |              |              |              |              | 0,02         |              | 0,01         |              | 0,01         |
| Borneol                                             | 1166        | 1165 <sup>a</sup>       |              | 0,02         | 0,02         | 0,02         | 0,01         | 0,01         |              |              | 0,02         |              | 0,02         |              |
| Terpinen-4-ol                                       | 1176        | 1174 <sup>a</sup>       | 0,47         | 0,61         |              | 0,62         | 0,73         | 0,47         |              | 0,46         | 0,52         | 0,45         | 0,35         |              |
| <i>p</i> -Cimen-8-ol                                | 1182        | 1179 <sup>a</sup>       | 0,18         | 0,29         | 0,25         | 0,25         | 0,25         | 0,17         |              | 0,18         | 0,21         | 0,15         | 0,19         |              |
| $\alpha$ -Terpineol                                 | 1190        | 1186 <sup>a</sup>       | 0,22         | 0,24         | 0,27         | 0,24         | 0,27         | 0,24         |              | 0,22         | 0,27         | 0,21         | 0,22         | 0,2          |
| <b>acetato de <i>endo</i>-fenchila</b>              | <b>1224</b> | <b>1218<sup>a</sup></b> | <b>37,45</b> | <b>34,12</b> | <b>40,69</b> | <b>33,11</b> | <b>41,34</b> | <b>39,76</b> | <b>42,09</b> | <b>36,67</b> | <b>38,74</b> | <b>37,83</b> | <b>30,51</b> | <b>40,14</b> |
| Nerol                                               | 1227        | 1227 <sup>a</sup>       | 0,31         | 0,19         | 0,11         | 0,08         | 0,11         | 0,11         | 0,09         | 0,28         | 0,12         | 0,09         | 0,18         | 0,33         |
| Ascaridol                                           | 1237        | 1234 <sup>a</sup>       | 0,02         | 0,17         | 0,18         | 0,13         | 0,16         | 0,06         |              | 0,04         | 0,06         | 0,03         | 0,24         | 0,01         |
| <i>cis</i> - Piperitona epóxido (epóxido vs. IPP)   | 1253        | 1250 <sup>a</sup>       | 0,01         | 0,03         | 0,03         | 0,02         | 0,03         | 0,01         |              | 0,01         | 0,02         | 0,01         | 0,01         |              |
| <i>trans</i> - Piperitona epóxido (epóxido vs. IPP) | 1255        | 1252 <sup>a</sup>       | 0,03         | 0,07         | 0,09         | 0,07         | 0,09         | 0,05         |              | 0,03         | 0,05         | 0,03         | 0,03         |              |
| Geraniol                                            | 1268        | 1264 <sup>a</sup>       | 0,01         | 0,02         |              |              |              | 0,03         |              | 0,01         | 0,04         |              | 0,01         | 0,03         |
| Timol                                               | 1294        | 1289 <sup>a</sup>       | 0,03         | 0,07         | 0,07         | 0,06         | 0,06         | 0,05         |              | 0,03         | 0,04         | 0,03         | 0,03         |              |
| Carvacrol                                           | 1300        | 1298 <sup>a</sup>       | 0,06         | 0,09         | 0,02         | 0,10         | 0,02         |              |              | 0,03         | 0,05         | 0,03         | 0,04         |              |
| Isoascaridol                                        | 1308        | 1306 <sup>b</sup>       | 0,02         | 0,14         | 0,12         | 0,1          | 0,11         |              |              | 0,03         |              | 0,03         | 0,17         | 0,01         |
| Acetato de Timol                                    | 1342        | 1349 <sup>a</sup>       |              | 0,01         |              | 0,01         |              |              |              |              |              |              |              |              |
| $\beta$ - Elemeno                                   | 1391        | 1389 <sup>a</sup>       |              |              |              | 0,01         |              |              |              |              |              | 0,01         |              |              |
| $\beta$ -Longipinene                                | 1406        | 1400 <sup>a</sup>       |              | 0,01         | 0,01         | 0,03         |              | 0,02         |              |              | 0,02         | 0,02         |              |              |
| <b><i>E</i>- Cariofileno</b>                        | <b>1419</b> | <b>1417<sup>a</sup></b> | <b>2,83</b>  | <b>3,53</b>  | <b>3,48</b>  | <b>5,91</b>  | <b>3,55</b>  | <b>5,68</b>  | <b>6,21</b>  | <b>2,88</b>  | <b>5,43</b>  | <b>7,64</b>  | <b>3,97</b>  | <b>4,07</b>  |

|                                            |             |                         |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |          |
|--------------------------------------------|-------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| <i>trans</i> - $\alpha$ -Bergamoteno       | 1435        | 1432 <sup>a</sup>       |             | 0,02        |             |             |             | 0,02        | 0,02        |             | 0,02        |             |             |          |
| $\alpha$ -Humuleno                         | 1551        | 1452 <sup>a</sup>       | 0,26        | 0,33        | 0,3         | 0,58        | 0,3         | 0,46        | 0,49        | 0,25        | 0,45        | 0,71        | 0,35        | 0,35     |
| <i>E</i> -Nerolidol                        | 1562        | 1561 <sup>a</sup>       | 0,05        | 0,06        | 0,04        | 0,04        | 0,03        | 0,05        | 0,05        | 0,04        | 0,05        | 0,04        | 0,03        | 0,04     |
| <b>Óxido de Cariofileno</b>                | <b>1582</b> | <b>1582<sup>a</sup></b> | <b>1,41</b> | <b>1,55</b> | <b>2,04</b> | <b>2,55</b> | <b>2,09</b> | <b>2,01</b> | <b>2,72</b> | <b>1,41</b> | <b>1,98</b> | <b>2,22</b> | <b>1,35</b> | <b>1</b> |
| Epóxido de Humuleno                        |             |                         |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |          |
| II                                         | 1608        | 1608 <sup>a</sup>       | 0,07        | 0,08        | 0,09        | 0,14        | 0,09        | 0,1         | 0,14        | 0,07        | 0,1         | 0,12        | 0,07        | 0,05     |
| Cariofila-4(12),8(13)-dien-5- $\alpha$ -ol | 1632        | 1639 <sup>a</sup>       | 0,2         | 0,15        | 0,28        | 0,23        | 0,28        | 0,26        | 0,76        | 0,19        | 0,28        | 0,24        | 0,09        | 0,09     |
| Cariofila-4(12),8(13)-dien-5- $\beta$ -ol  | 1635        | 1639 <sup>a</sup>       | 0,64        | 0,46        | 0,85        | 0,7         | 0,86        | 0,84        | 2,15        | 0,6         | 0,83        | 0,74        | 0,3         | 0,34     |
| Pogostol                                   | 1653        | 1651 <sup>a</sup>       | 0,17        | 0,14        | 0,19        | 0,27        | 0,19        | 0,2         | 0,38        | 0,17        | 0,2         | 0,32        | 0,21        |          |
| 14-hidróxido-9-epi-(E)-Cariofileno         | 1670        | 1668 <sup>a</sup>       | 0,16        |             |             |             | 0,24        | 0,21        | 0,56        | 0,15        |             | 0,19        | 0,07        |          |
| Eremofileno                                | 1737        | 1734 <sup>a</sup>       |             |             |             |             |             |             |             |             |             | 0,1         |             |          |
| Abietatrieno                               | 2054        | 2055 <sup>a</sup>       | 0,08        | 0,15        | 0,13        | 0,2         | 0,12        | 0,1         | 0,28        | 0,08        | 0,12        | 0,18        | 0,09        | 0,07     |
| Hidrocarbonetos de Monoterpenos            |             |                         | 15,21       | 20,72       | 12,80       | 15,85       | 12,03       | 13,19       | 6,43        | 16,94       | 13,86       | 10,69       | 20,42       | 12,16    |
| Monoterpenos Oxigenados                    |             |                         | 75,02       | 69,41       | 74,24       | 69,78       | 75,23       | 73,01       | 74,01       | 74,19       | 71,64       | 73,39       | 70,11       | 77,72    |
| Hidrocarbonetos de Sesquiterpenos          |             |                         | 3,09        | 3,89        | 3,79        | 6,53        | 3,85        | 6,18        | 6,72        | 3,13        | 5,92        | 8,38        | 4,32        | 4,42     |
| Sesquiterpenos Oxigenados                  |             |                         | 2,70        | 2,44        | 3,49        | 3,93        | 3,78        | 3,67        | 6,76        | 2,63        | 3,44        | 3,97        | 2,12        | 1,52     |
| Outros                                     |             |                         |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |          |
|                                            |             |                         | 0,41        | 0,44        | 0,29        | 0,46        | 0,30        | 0,23        | 0,39        | 0,34        | 0,31        | 0,34        | 0,35        | 0,46     |
| Total                                      |             |                         | 96,43       | 96,90       | 94,61       | 96,55       | 95,19       | 96,28       | 94,31       | 97,23       | 95,17       | 96,77       | 97,32       | 96,28    |

Legenda: IR(C): índice de retenção calculado; IR(L): índice de retenção da literatura de acordo com Adams, 2007; Índice de retenção de acordo com Mondello, 2011.  
 Fonte: o autor (2021).

**Tabela 3** - Composição do óleo de *D. riparius* referente ao estudo circadiano, período novembro de 2019 e maio de 2020

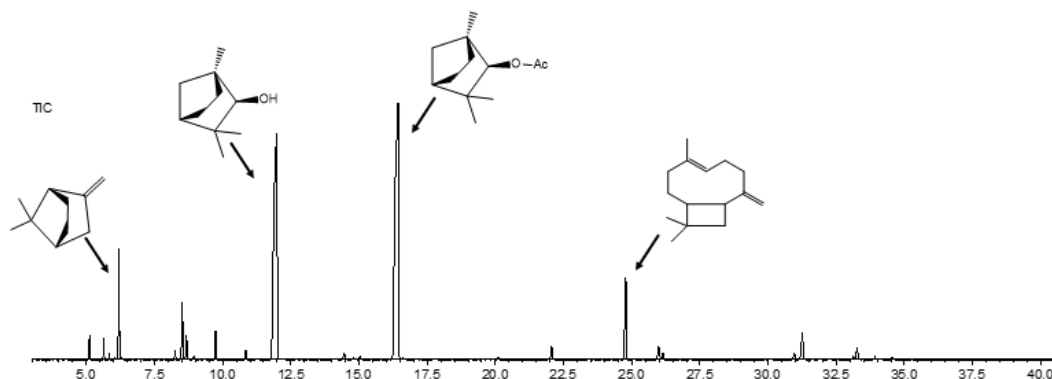
| IR(C)       | IR(L)                   | Constituintes            | Novembro – 2019 |             |             |             | Maio-2020   |             |             |             |
|-------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|             |                         |                          | 6h              | 12h         | 15h         | 18h         | 6h          | 12h         | 15h         | 18h         |
| 846         | 846 <sup>a</sup>        | 2E-Hexenal               | 0,01            | 0,01        | 0,01        | 0,01        |             |             |             |             |
| 849         | 850 <sup>a</sup>        | 3Z-Hexenol               | 0,03            | 0,04        | 0,04        | 0,04        |             |             |             | 0,05        |
| 858         | 854 <sup>a</sup>        | 2E-Hexenol               |                 | 0,01        |             |             |             |             |             |             |
| 861         | 863 <sup>a</sup>        | n-Hexanol                | 0,01            | 0,02        | 0,02        | 0,02        | 0,01        | 0,02        |             | 0,02        |
| <b>906</b>  | <b>906<sup>a</sup></b>  | <b>Santolina Trieno</b>  | <b>0,63</b>     | <b>0,74</b> | <b>0,48</b> | <b>0,57</b> | <b>1,31</b> | <b>1,26</b> | <b>0,06</b> | <b>0,93</b> |
| <b>925</b>  | <b>924<sup>a</sup></b>  | <b>α- Tujeno</b>         | <b>0,82</b>     | <b>0,98</b> | <b>0,67</b> | <b>0,75</b> | <b>0,88</b> | <b>0,70</b> | <b>0,05</b> | <b>0,72</b> |
| 932         | 932 <sup>a</sup>        | α- Pineno                | 0,18            | 0,24        | 0,16        | 0,17        | 0,31        | 0,30        | 0,02        | 0,25        |
| <b>945</b>  | <b>945<sup>a</sup></b>  | <b>α- Fencheno</b>       | <b>3,87</b>     | <b>4,20</b> | <b>3,10</b> | <b>3,08</b> | <b>6,05</b> | <b>5,71</b> | <b>0,41</b> | <b>4,79</b> |
| 950         | 946 <sup>a</sup>        | Canfeno                  | 0,11            | 0,14        | 0,08        | 0,10        | 0,25        | 0,17        | 0,01        | 0,14        |
| 950         | 958 <sup>a</sup>        | 6-metil-Heptan-2-ol      |                 |             |             |             |             |             | 0,14        |             |
| 972         | 969 <sup>a</sup>        | Sabineno                 | 0,06            | 0,07        | 0,06        | 0,06        | 0,06        | 0,07        |             | 0,07        |
| 976         | 974 <sup>a</sup>        | β- Pineno                | 0,02            | 0,03        | 0,03        | 0,02        | 0,03        | 0,03        | 0,03        | 0,03        |
| 989         | 988 <sup>a</sup>        | Mirceno                  |                 | 0,02        | 0,02        | 0,01        | 0,02        | 0,02        |             | 0,02        |
| 993         | 994 <sup>a</sup>        | Mesitileno               |                 | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        |
| 999         | 1000 <sup>a</sup>       | n-Decano                 | 0,01            | 0,01        | 0,02        | 0,02        | 0,01        | 0,02        | 0,02        | 0,02        |
| 1004        | 1002 <sup>a</sup>       | α- Felandreno            |                 | 0,01        | 0,01        | 0,01        | 0,01        |             |             | 0,01        |
| 1016        | 1014 <sup>a</sup>       | α- Terpineno             | 0,29            | 0,41        | 0,41        | 0,39        | 0,44        | 0,32        | 0,09        | 0,42        |
| <b>1023</b> | <b>1020<sup>a</sup></b> | <b>α-Cimeno</b>          | <b>3,06</b>     | <b>4,10</b> | <b>3,25</b> | <b>3,59</b> | <b>2,30</b> | <b>2,32</b> | <b>0,47</b> | <b>2,60</b> |
| <b>1027</b> | <b>1024<sup>a</sup></b> | <b>Limoneno</b>          | <b>1,08</b>     | <b>1,53</b> | <b>1,22</b> | <b>1,18</b> | <b>1,24</b> | <b>1,08</b> | <b>0,22</b> | <b>1,20</b> |
| 1030        | 1026 <sup>a</sup>       | 1,8-Cineol               | 0,01            | 0,02        | 0,01        | 0,01        | 0,01        |             |             | 0,01        |
| 1035        | 1032 <sup>a</sup>       | (Z)-β-Ocimeno            | 0,22            |             | 0,29        | 0,25        | 0,31        | 0,24        | 0,09        | 0,32        |
| 1045        | 1044 <sup>a</sup>       | (E)-β-Ocimeno            |                 | 0,33        | 0,06        |             |             | 0,07        | 0,02        |             |
| <b>1057</b> | <b>1054<sup>a</sup></b> | <b>γ-Terpineno</b>       | <b>1,04</b>     | <b>1,35</b> | <b>1,33</b> | <b>1,28</b> | <b>1,27</b> | <b>1,17</b> | <b>0,37</b> | <b>1,36</b> |
|             |                         | cis- Hidrato de Sabineno |                 |             |             |             |             |             |             |             |
| 1065        | 1065 <sup>a</sup>       | (IPP vs OH)              | 0,04            | 0,08        | 0,06        | 0,04        | 0,04        | 0,05        | 0,02        | 0,03        |

|             |                         |                                                     |              |              |              |              |              |              |              |              |
|-------------|-------------------------|-----------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1099        | 1098 <sup>a</sup>       | <i>trans</i> - Hidrato de Sabineno (IPP vs OH)      | 0,45         | 0,25         | 0,21         | 0,17         | 0,14         | 0,16         | 0,12         | 0,14         |
| <b>1119</b> | <b>1114<sup>a</sup></b> | <b><i>endo</i>-Fenchol</b>                          | <b>35,67</b> | <b>35,33</b> | <b>35,88</b> | <b>34,65</b> | <b>31,74</b> | <b>36,58</b> | <b>31,68</b> | <b>34,36</b> |
| 1120        | 1119 <sup>a</sup>       | <i>trans</i> -p-Menta-2,8-dien-1-ol                 | 0,07         | 0,10         | 0,09         |              | 0,10         | 0,14         |              | 0,11         |
| 1122        | 1119 <sup>a</sup>       | <i>trans</i> - Hidrato de Pineno                    | 0,08         | 0,02         | 0,08         |              | 0,07         | 0,07         | 0,05         | 0,07         |
| 1133        | 1133 <sup>a</sup>       | <i>cis</i> -p-Menta-2,8-dien-1-ol                   |              |              |              |              |              | 0,02         |              |              |
| 1138        | 1136 <sup>a</sup>       | <i>trans</i> -p-Menta-2-en-1ol                      | 0,01         |              |              |              |              |              |              |              |
| 1166        | 1165 <sup>a</sup>       | Borneol                                             | 0,02         | 0,03         | 0,02         | 0,01         | 0,01         |              |              | 0,01         |
| 1176        | 1174 <sup>a</sup>       | Terpinen-4-ol                                       | 0,39         | 0,51         | 0,51         |              | 0,29         |              | 0,29         | 0,40         |
| 1182        | 1179 <sup>a</sup>       | <i>p</i> -Cimen-8-ol                                | 0,15         | 0,23         | 0,19         | 0,20         | 0,12         | 0,14         | 0,09         | 0,15         |
| 1190        | 1186 <sup>a</sup>       | $\alpha$ -Terpineol<                                | 0,17         | 0,23         | 0,23         | 0,25         | 0,15         | 0,16         | 0,19         | 0,20         |
| <b>1224</b> | <b>1218<sup>a</sup></b> | <b><i>Acetato de endo-fenchila</i></b>              | <b>40,74</b> | <b>35,96</b> | <b>36,13</b> | <b>37,66</b> | <b>39,84</b> | <b>40,24</b> | <b>48,45</b> | <b>39,25</b> |
| 1227        | 1227 <sup>a</sup>       | Nerol                                               | 0,06         | 0,10         | 0,09         | 0,09         | 0,12         | 0,13         | 0,19         | 0,14         |
| 1237        | 1234 <sup>a</sup>       | Ascaridol                                           | 0,08         | 0,08         | 0,07         | 0,09         | 0,11         | 0,17         | 0,13         | 0,09         |
| 1253        | 1250 <sup>a</sup>       | <i>cis</i> - Piperitona epóxido (epóxido vs. IPP)   |              | 0,02         | 0,02         | 0,02         | 0,01         | 0,03         | 0,02         | 0,03         |
| 1255        | 1252 <sup>a</sup>       | <i>trans</i> - Piperitona epóxido (epóxido vs. IPP) | 0,01         | 0,05         | 0,05         | 0,06         | 0,02         |              |              |              |
| 1294        | 1289 <sup>a</sup>       | Timol                                               | 0,03         | 0,04         | 0,03         | 0,03         | 0,03         | 0,05         | 0,05         | 0,04         |
| 1300        | 1298 <sup>a</sup>       | Carvacrol                                           | 0,04         | 0,05         | 0,05         | 0,05         | 0,03         | 0,03         | 0,05         | 0,03         |
| 1308        | 1306 <sup>b</sup>       | Isoascaridol                                        | 0,07         | 0,07         | 0,06         | 0,07         | 0,07         | 0,11         | 0,09         | 0,06         |
| 1391        | 1389 <sup>a</sup>       | $\beta$ -Elemeno                                    |              |              | 0,01         |              |              |              | 0,02         | 0,01         |
| 1402        | 1403 <sup>a</sup>       | Metil eugenol                                       |              |              |              |              | 0,03         | 0,02         | 0,05         | 0,06         |
| 1406        | 1400 <sup>a</sup>       | $\beta$ -Longipinene                                |              |              | 0,02         | 0,02         |              |              |              |              |
| <b>1419</b> | <b>1417<sup>a</sup></b> | <b><i>E</i>-Cariofileno</b>                         | <b>4,77</b>  | <b>4,67</b>  | <b>6,40</b>  | <b>6,05</b>  | <b>2,88</b>  | <b>1,92</b>  | <b>5,43</b>  | <b>3,24</b>  |
| <b>1551</b> | <b>1452<sup>a</sup></b> | <b><math>\alpha</math>-Humuleno</b>                 | <b>0,39</b>  | <b>0,43</b>  | <b>0,58</b>  | <b>0,53</b>  | <b>0,23</b>  | <b>0,14</b>  | <b>0,49</b>  | <b>0,27</b>  |
| 1562        | 1561 <sup>a</sup>       | E-Nerolidol                                         | 0,02         | 0,05         | 0,04         | 0,04         | 0,02         |              | 0,03         |              |
| <b>1582</b> | <b>1582<sup>a</sup></b> | <b>Óxido de Cariofileno</b>                         | <b>1,79</b>  | <b>2,11</b>  | <b>2,27</b>  | <b>2,25</b>  | <b>1,44</b>  | <b>1,29</b>  | <b>2,42</b>  | <b>1,60</b>  |
| 1608        | 1608 <sup>a</sup>       | Epóxido de Humuleno II                              | 0,08         | 0,12         | 0,12         | 0,12         | 0,07         | 0,05         | 0,11         | 0,07         |
| 1632        | 1639 <sup>a</sup>       | Cariofila-4(12),8(13)-dien-5- $\alpha$ -ol          | 0,15         | 0,20         | 0,24         | 0,21         | 0,25         | 0,15         | 0,38         | 0,22         |

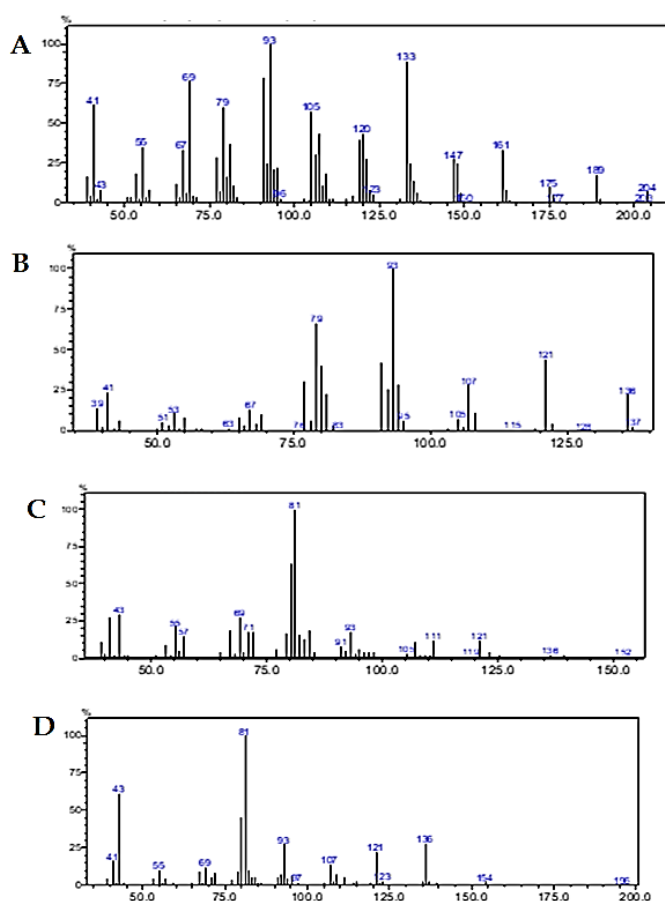
|                                 |                   |                                    |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------------|-------------------|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1635                            | 1639 <sup>a</sup> | Cariofila-4(12),8(13)-dien-5-β-ol  | 0,54  | 0,62  | 0,73  | 0,68  | 0,80  | 0,56  | 1,27  | 0,72  |
| 1653                            | 1651 <sup>a</sup> | Pogostol                           | 0,21  | 0,27  | 0,32  | 0,28  | 0,29  | 0,17  | 0,49  | 0,26  |
| 1670                            | 1668 <sup>a</sup> | 14-hidróxido-9-epi-(E)-Cariofileno | 0,11  |       | 0,20  | 0,19  | 0,20  | 0,11  | 0,31  | 0,18  |
| 1737                            | 1734 <sup>a</sup> | Eremofileno                        | 0,02  |       |       |       | 0,68  | 0,21  | 0,56  | 0,95  |
| 2054                            | 2055 <sup>a</sup> | Abietatrieno                       | 0,07  | 0,03  | 0,17  | 0,16  | 0,08  |       |       | 0,04  |
| Hidrocarbonetos Monoterpênicos  |                   |                                    | 11,38 | 14,15 | 11,17 | 11,46 | 14,48 | 13,46 | 1,84  | 12,86 |
| Monoterpenos Oxigenados         |                   |                                    | 78,09 | 73,17 | 73,78 | 73,40 | 72,90 | 78,08 | 81,42 | 75,12 |
| Hidrocarbonetos Sequiterpênicos |                   |                                    | 5,16  | 5,10  | 7,01  | 6,60  | 3,11  | 2,06  | 5,94  | 3,52  |
| Sesquiterpenos Oxigenados       |                   |                                    | 2,92  | 3,37  | 3,92  | 3,77  | 3,75  | 2,54  | 5,57  | 4,00  |
| Outros                          |                   |                                    | 0,13  | 0,13  | 0,27  | 0,26  | 0,14  | 0,07  | 0,22  | 0,20  |
| Total                           |                   |                                    | 97,68 | 95,92 | 96,15 | 95,49 | 94,38 | 96,21 | 94,99 | 95,70 |

Legenda: IR(C): índice de retenção calculado; IR(L): índice de retenção da literatura de acordo com Adams, 2007; Índice de retenção de acordo com Mondello, 2011.  
 Fonte: o autor (2021).

Os componentes do óleo essencial da espécie *D. riparius* com teor acima de 6% foram identificados de acordo com os cromatogramas de íons (Figura 8) e massas (Figura 9).



**Figura 8** - Cromatograma de íons totais do óleo essencial de *Dizygostemon riparius*  
Fonte: o autor (2021).

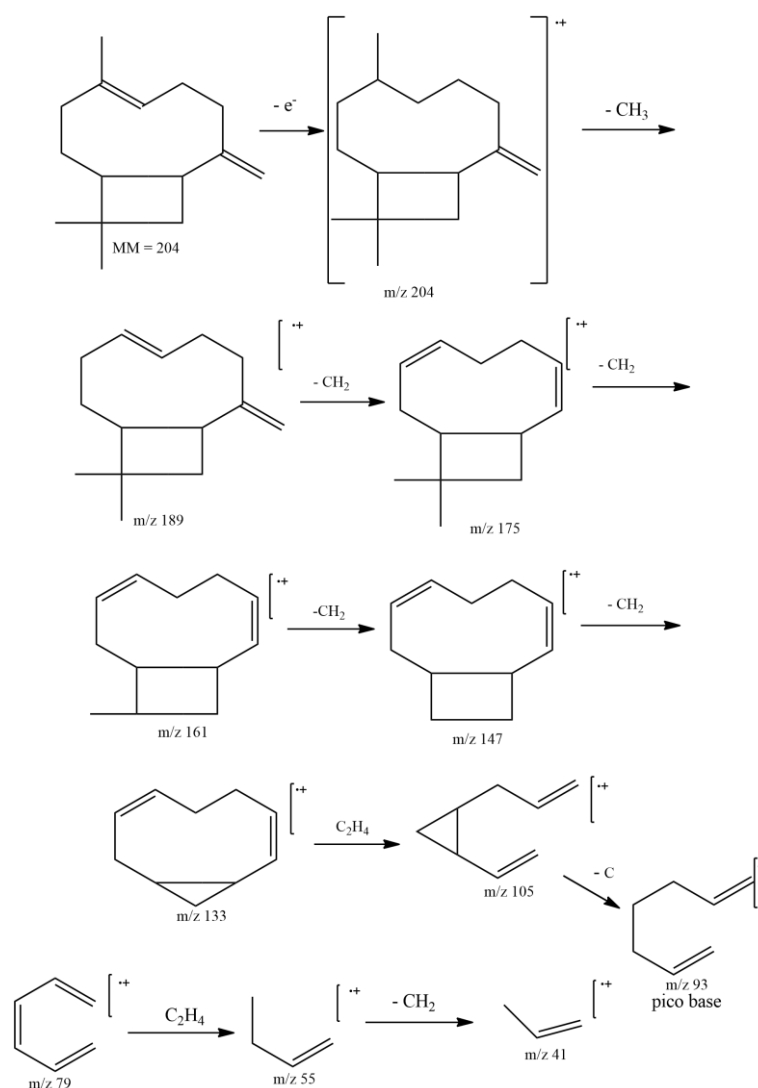


**Figura 9** - Espectros de massas dos componentes do óleo essencial da *Dizygostemon riparius* acima de 6% de composição. A: do E – cariofileno; B:  $\alpha$ -fencheno; C: endo-fenchol e D: acetato de endo-fenchila  
Fonte: o autor (2021).

A proposta de fragmentação dos compostos ocorre a partir da perda de grupamentos por meio de ionização por elétrons, com energia do feixe de elétrons em 70 eV. O composto *E*-cariofileno apresentou  $m/z$  204, evidenciado pelo espectro de massa (Figura 9A). O íon molecular  $m/z$  204 se fragmenta e ocorre a perda da metila radicalar, originando o pico em  $m/z$

189. Novas fragmentações na molécula ocorrem (**Figura 10**), a partir do cátion radical 189 formado, com sequência de rearranjos e eliminação de moléculas neutras (SILVA et al., 2010).

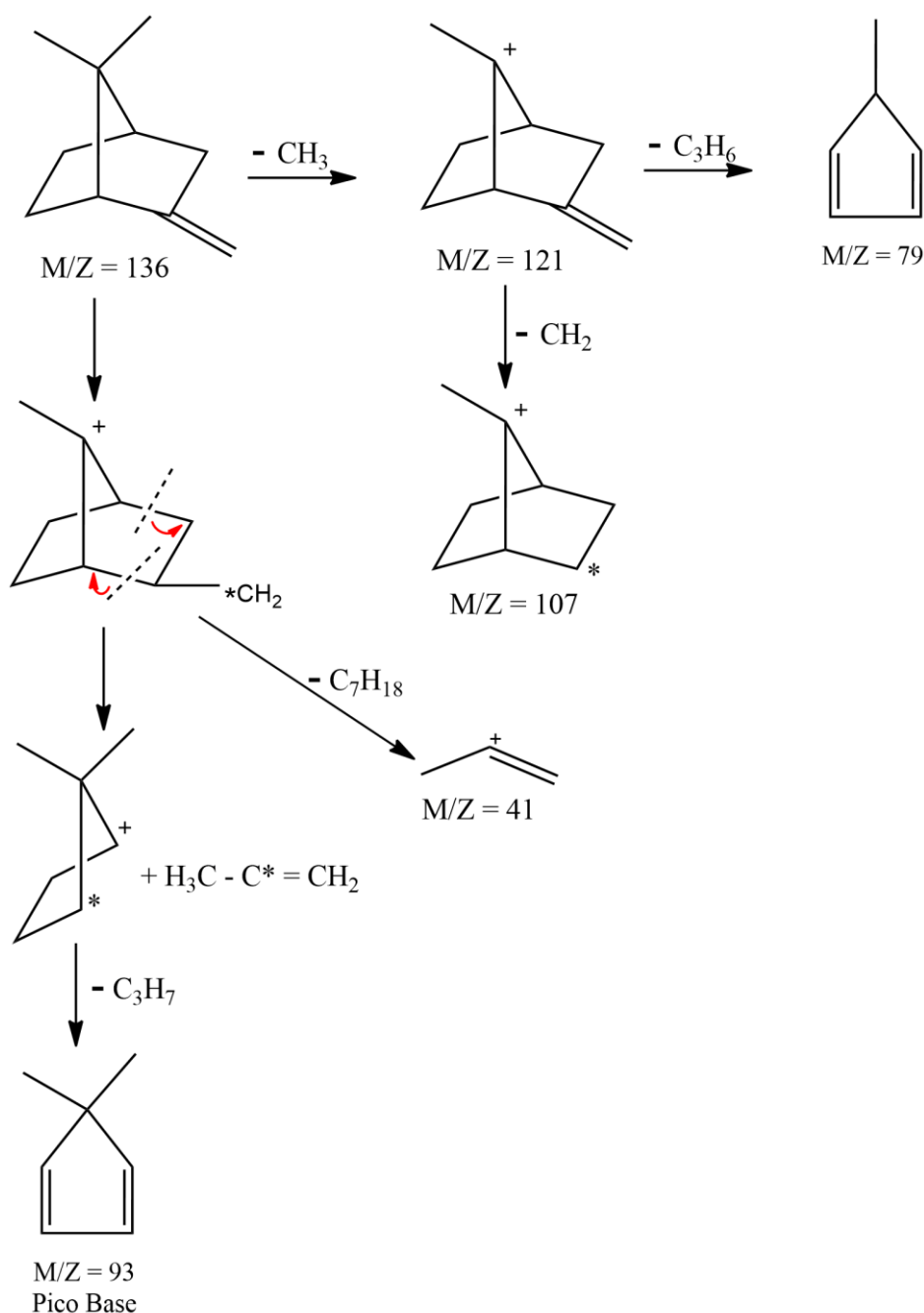
O pico em  $m/z$  175 é formado a partir da eliminação do grupo ( $-\text{CH}_2$ ). O fragmento ainda pode sofrer eliminação de outro grupo ( $-\text{CH}_4$ ), formando novo fragmento em  $m/z$  161. O sinal em  $m/z$  133 é originado a partir da eliminação de uma molécula neutra de eteno (28 Da). O fragmento sofre novas fragmentações, originando novos picos de fragmentos, sendo o sinal formado em  $m/z$  79, com perda do grupo ( $\text{C}_4\text{H}_6$ ) (SILVA et al, 2010). O sinal em  $m/z$  55 é formado através da perda de uma molécula neutra de eteno ( $\text{C}_2\text{H}_2$ ) oriunda do  $m/z$  79, e o fragmento  $m/z$  55 origina um outro sinal  $m/z$  41, pois a perda de um grupo radical ( $\text{CH}_2$ ). E outra possibilidade forma o pico base, sinal mais intenso em  $m/z$  93, através da perda do grupo ( $\text{C}_3\text{H}_6$ ). A terceira possibilidade é a eliminação do grupo ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ) e formação do fragmento em  $m/z$  105. O pico em  $m/z$  147, formado a partir da perda de um grupo ( $\text{CH}_2$ ) do fragmento  $m/z$  161.



**Figura 10** - Proposta de fragmentação por espectro de massa do *E*-cariofileno  
Fonte: o autor (2021).

O composto  $\alpha$ -fencheno apresentou massa de 136 Da, mostrado pelo espectro de massa (**Figura 9B**). O íon molecular  $[M^+]$  136 fragmenta-se, ocasionado a eliminação do radical metila, originando o fragmento em  $m/z$  121. O fragmento em  $m/z$  121 sofre fragmentação, seguida da eliminação do grupo ( $C_3H_6$ ), originando o fragmento em  $m/z$  79 (**Figura 11**).

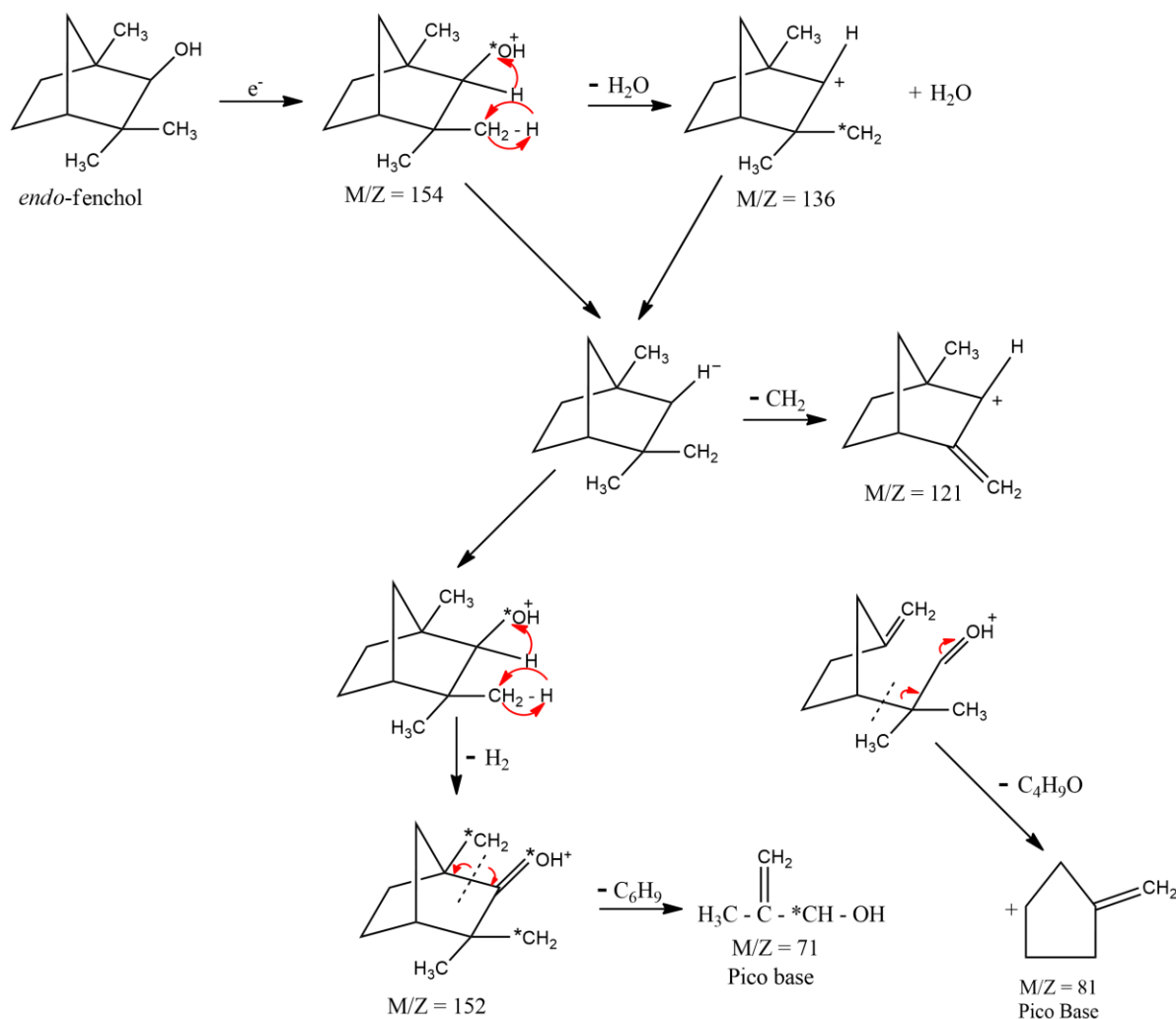
O pico em  $m/z$  41 é formado pela perda de um grupo ( $C_7H_{11}$ ) do composto íon molecular ( $m/z$  136). O íon molecular, também, pode sofrer outra forma de fragmentação, a partir da quebra da parte do ciclo, com perdas de hidrogênio (H) e uma molécula neutra de propeno ( $C_3H_6$ ), originando o pico base, estrutura mais intensa e estável do espectro em  $m/z$  93.



**Figura 11** - Proposta de fragmentação por espectro de massa do  $\alpha$ -fencheno  
Fonte: o autor (2021).

O composto *endo*-fenchol apresenta massa de 154 Da, mas o pico do íon molecular é inexistente, com presença de pico muito fraco M-2 em m/z 152, devido pela perdas de dois hidrogênios (H) demonstrado pelo espectro de massa (**Figura 9C**). O fragmento em m/z 152 sofre rompimento das ligações do ciclo, perdendo um grupo ( $C_6H_9$ ), originando um fragmento com sinal em m/z 79 (**Figura 12**).

O íon molecular  $[M^+]$  154 fragmenta-se, ocasionado a eliminação de uma molécula de água ( $H_2O$ ), originando o fragmento em m/z 136. O fragmento em m/z 136 sofre fragmentação, seguida da eliminação do radical metila ( $CH_3$ ), originando o fragmento em m/z 121. O íon molecular sofre outra forma de fragmentação e origina o pico base, sinal mais intenso, em m/z 81 e uma molécula neutra ( $C_4H_8O$ ).

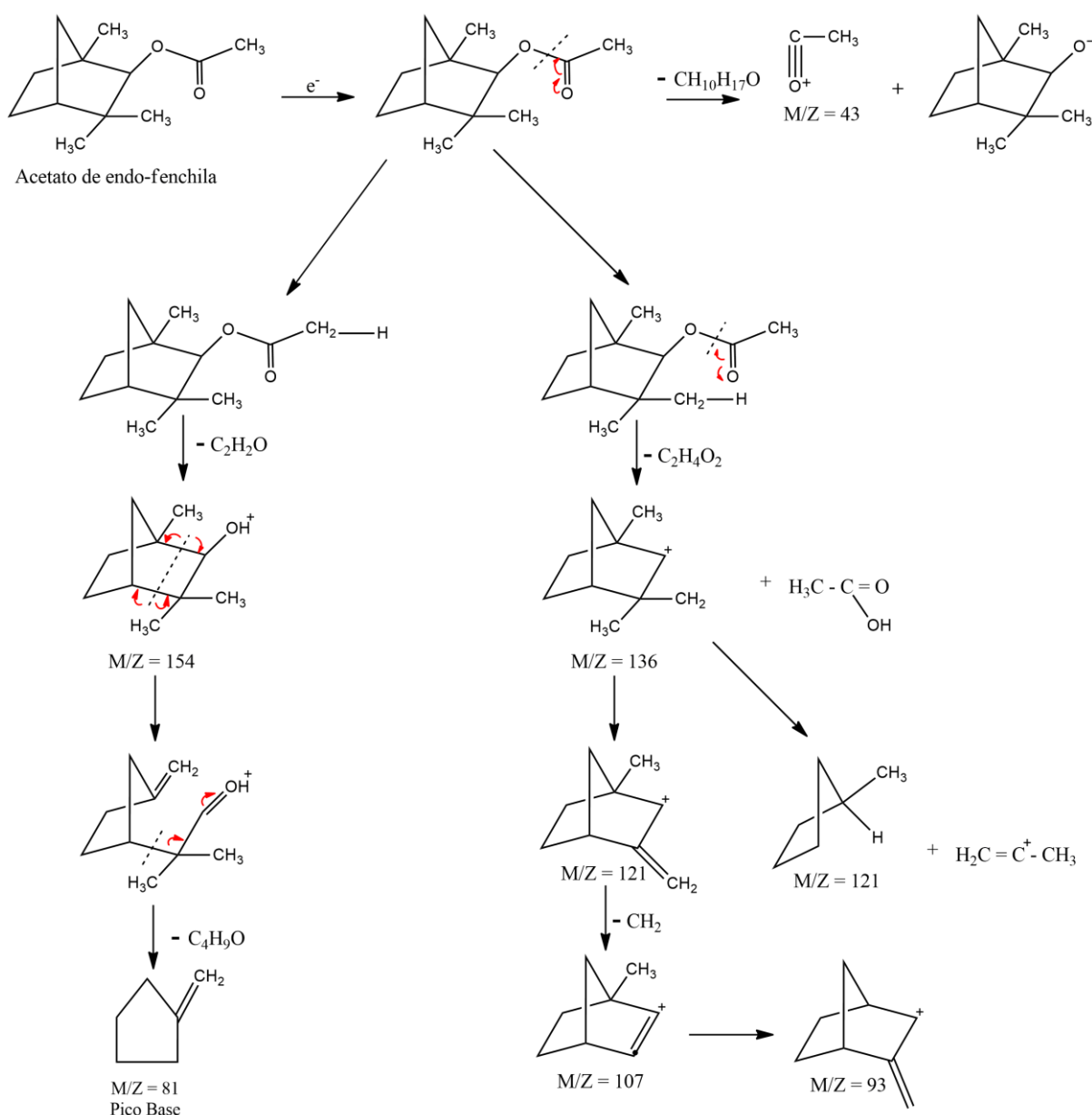


**Figura 12** - Proposta de fragmentação por espectro de massa do *endo*-fenchol  
Fonte: o autor (2021).

O composto de acetato de *endo*-fenchila apresentou massa de 196 Da, gerando íon molecular  $[M^+]$  196 (**Figura 9 D**) que sofre diversas fragmentações, com sequências de rearranjos e eliminação de partículas neutras (**Figura 13**). O sinal em m/z 154 é fraco, que foi

gerado pela perda do grupo ( $C_2H_2O$ ), a partir do íon molecular  $m/z$  196. O fragmento do íon molecular, ainda sofre novas fragmentações, gerando novo fragmento em  $m/z$  136 e uma molécula neutra ( $C_2H_4O_2$ ), o ácido etanoico. Segunda possibilidade de fragmentação do pico em  $m/z$  196, originando o fragmento em  $m/z$  43, com perda do grupo ( $C_{10}H_{17}O$ ).

O pico em  $m/z$  154 sofre fragmentação, com eliminação do grupo ( $C_4H_9O$ ) produzindo o pico base, sinal estável, em  $m/z$  81. O sinal em  $m/z$  136 sofre fragmentação que origina novo fragmento em  $m/z$  121. Este fragmento perde radical ( $CH_2$ ), originando fragmento em  $m/z$  107. O fragmento em  $m/z$  107 sofre fragmentação, perde radical ( $CH_2$ ) e origina o fragmento em  $m/z$  93.



**Figura 13** - Proposta de fragmentação por Espectro de Massa do acetato de *endo-fenchila*  
Fonte: o autor (2021).

As condições climáticas, no período sazonal, que exerceram maior influência nos conteúdos de acetato de *endo-fenchila* e *endo-fenchol* foram precipitação e radiação solar. Sendo a precipitação relacionada diretamente à produção do constituinte acetato de *endo-fenchila* e inversamente à produção do *endo-fenchol*, a radiação é relacionada diretamente à produção do *endo-fenchol* e inversamente ao acetato de *endo-fenchila* (**Tabela 4**).

Segundo Moraes (2009) a intensidade da luminosidade é um fator que influencia a concentração e a composição dos óleos essenciais. Esse fator é necessário para o desenvolvimento dos tricomas glandulares (estruturas vegetais que biossintetizam e armazenam o óleo essencial) de algumas espécies de plantas. Moraes e Souza (2007) estudando a espécie *Tournefortia paniculata* (Boraginaceae), propuseram que fatores ambientais influenciam na biossíntese de metabólitos secundários e que a rota biossintética desses metabólitos pode ser desviada de acordo com a necessidade fisiológica da planta.

No estudo circadiano, o teor médio dos constituintes principais do acetato de *endo-fenchila* ( $37,62 \pm 2,21\%$ ) e *endo-fenchol* ( $35,38 \pm 0,54\%$ ) do mês de novembro, comparando com teores do mês de maio de acetato de *endo-fenchila* ( $41,95 \pm 4,36$ ), *endo-fenchol* ( $33,59 \pm 2,35\%$ ) não houve diferença estatística entre os constituintes nos dois períodos (**Figuras 14 e 15**).

Em estudos realizados com o óleo essencial de *Virola surinamensis* por Lopes *et al.*, (1997), eles avaliaram a influência da sazonalidade no rendimento e composição química do óleo da espécie e concluíram que não houve variação no rendimento do óleo essencial nas diferentes épocas do ano e nos horários de coleta analisados, contudo, os componentes tiveram sua proporção relativa alterada significativamente.

**Tabela 4** - Correlações existentes entre os conteúdos de acetato de *endo-fenchila* e *endo-fenchol* com os parâmetros climáticos

| Parâmetros climáticos | <i>endo-Fenchol</i> | Acetato de <i>endo-Fenchila</i> |
|-----------------------|---------------------|---------------------------------|
| Precipitação          | -0.434*             | 0.361*                          |
|                       | 0.158               | 0.250                           |
| Temperatura           | -0.049              | -0.158                          |
|                       | 0.881               | 0.624                           |
| Umidade               | -0.095              | 0.172                           |
|                       | 0.769               | 0.592                           |
| Radiação              | 0.393*              | -0.388*                         |
|                       | 0.206               | 0.213                           |

Legenda: Conteúdo da Célula - Correlação de Pearson Valor-p. \*Significância  $p < 0,05$ /  
Fonte: o autor (2021).

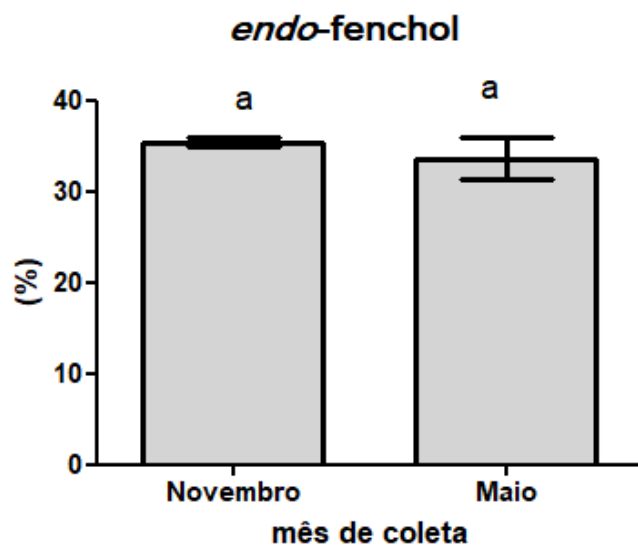
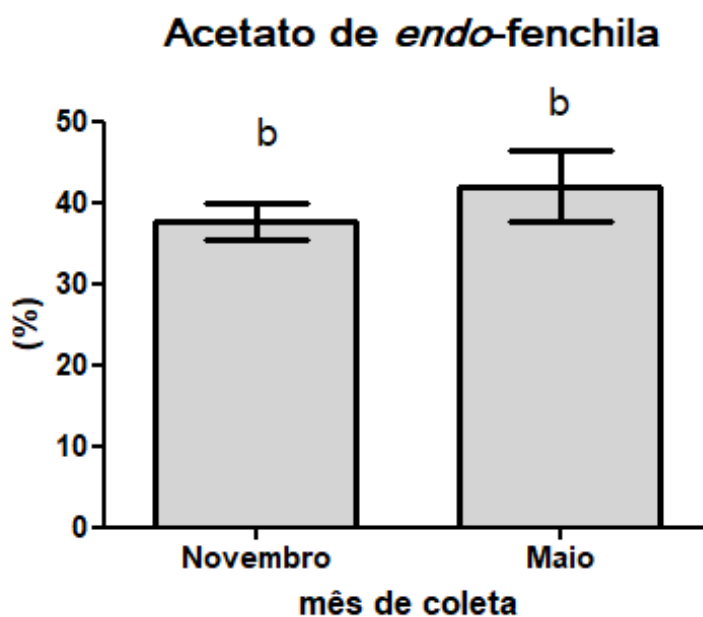


Figura 14 - Dados obtidos para o *endo-fenhol* referente a média das coletas durante as estações chuvosa e seca  
Fonte: o autor (2021).



**Figura 15** - Dados obtidos para o acetato de *endo-fenchila* referente a média das coletas durante as estações chuvosa e seca  
Fonte: o autor (2021).

*Dizygostemon riparius* é uma planta ciliar que apresenta óleo essencial com rendimento médio anual de 2,77%, demonstrando variação quantitativa de seus constituintes majoritários devido a influência da precipitação. Também pode ter relação com a disponibilidade hídrica do local da coleta, influenciando na produção de metabólitos secundários com correlação positiva

ao constituinte acetato de *endo*-fenchila e com correlação negativa ao componente *endo*-fenchol.

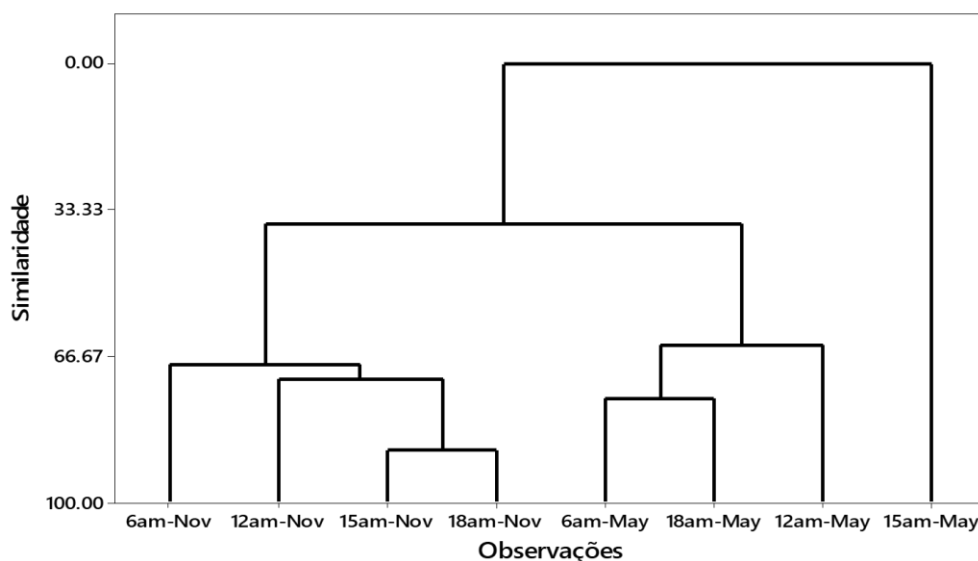
O fator radiação solar interfere diretamente no crescimento e desenvolvimento da planta, sendo fundamental a produção da fitomassa do vegetal. Que conseqüentemente, pode alterar significativamente na produção de metabólitos secundários e provocar variação no teor dos componentes do óleo essencial. Como visto na Tabela 4 e nas figuras 9 e 10, o acetato de *endo*-fenchila diminui a concentração em relação à radiação, enquanto o *endo*-fenchol aumenta (GOBBO-NETO; LOPES, 2007; MORAIS, 2009).

### 5.3 Variabilidade na Composição do Óleo

Para avaliar a variabilidade química durante o ritmo circadiano, as técnicas de análise multivariada de PCA (Principal Component Analysis) e HCA (Hierarchical Cluster Analysis) foram aplicadas às classes de compostos presentes nos óleos, com teor  $\geq 0,5\%$ , relativos aos hidrocarbonetos monoterpênicos (MH), monoterpênos oxigenados (MO), hidrocarbonetos sesquiterpênicos (SH) e sesquiterpenos oxigenados (SO).

A análise HCA, considerando as distâncias euclidianas e ligações completas, confirmou a formação de dois grupos distintos, como observado no dendograma da **Figura 16**, com similaridade zero% em 15h (maio) e de 33,33% entre as demais amostras. Os grupos foram caracterizados no grupo I, mês de novembro, estação seca com maior teor médio dos componentes: *endo*-fenchol (35,38%), (*E*)-cariofileno (5,47%),  $\alpha$ -cimeno (3,5%), óxido de cariofileno (2,11%), limonemo (1,25%),  $\gamma$ -terpineno (1,25%) e  $\alpha$ -tujeno (0,81%). O grupo II, mês de maio, estação chuvosa com maior teor médio dos componentes: acetato de *endo*-fenchila (41,95%),  $\alpha$ -fencheno (4,24%), santolina trieno (0,89%) e cariofila-4(12),8(13)-dien-5- $\beta$ -ol (0,84%). As amostras do grupo I (15h (novembro) e 18h (maio)), evidenciaram uma grande similaridade, concordância entre as amostras e maior dependência em relação aos seus percentuais. Também o grupo II (6h (maio) e 18h (maio)) apresentou similaridade, concordância entre as amostras com dependência em relação aos seus percentuais. A amostra 15h (maio) apresentou uma dispersão muito elevada, sendo que o teor dos seus constituintes neste horário mostrou-se bem distante em relação aos percentuais de outras amostras. Esta dispersão, pode ter relação com alguma forma da genética da planta, a mesma que gera constituintes diferentes. Os óleos que são extraídos da parte herbácea da planta, sendo esta plantada no mesmo local, pode obter óleos com diferentes concentrações dos componentes. A

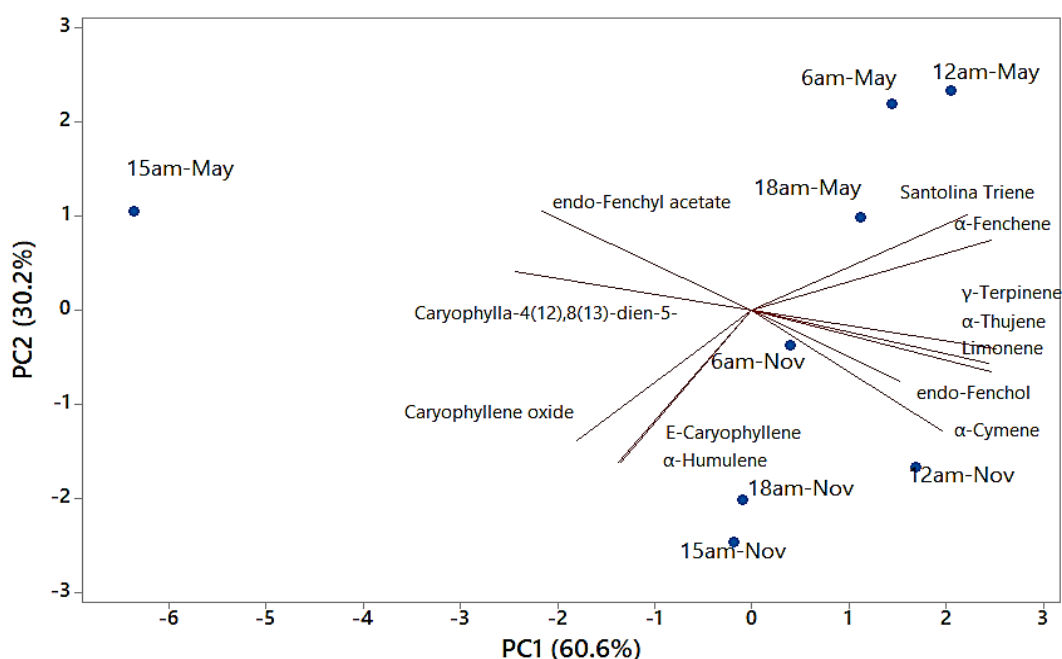
produção não é uniforme e pode ser diferente por algum motivo, como por exemplo, a infestação de fungo no solo.



**Figura 16** - Dendrograma representando a relação de similaridade da composição dos óleos de *D. riparius* no estudo circadiano durante as estações chuvosa (maio) e seca (novembro)  
Fonte: o autor (2021).

Os componentes principais (PC1 e PC2) representaram uma variação de 90,8% na análise de PCA. O PC1 apresentou 60,6% e o PC2 justificou 30,2% da variabilidade (**Figura 17**). Esse valor percentual indica quão correto está o agrupamento, pois quanto maior o fator melhor é a resolução e menor será a perda de informações de dados durante o agrupamento das amostras (NETO, 2011). Sendo assim, o período seco (novembro) com maior teor médio de concentração de constituintes dos hidrocarbonetos sesquiterpênicos (5,88%) do que o período chuvoso (maio) com (3,22%). Mas o período chuvoso (maio) apresentou maiores médias percentuais nas classes hidrocarbonetos monoterpênicos (13,16%), monoterpênicos oxigenados (76,60%), sesquiterpênicos oxigenados (3,88%) do que no período seco MH (11,42%), MO (73,59%) e SO (3,57%), respectivamente. Em relação a amostra do horário de 15h (maio), observou-se que a quantidade dos constituintes identificados neste horário foi discrepante, não tendo uma relação mássica de percentual próxima das demais amostras. Por exemplo, a média dos constituintes do período chuvoso, nos demais horários, possuem valores muito distantes da amostra de 15h (maio). Os componentes químicos apresentaram como média em seus teores nos seguintes horários 6, 9, 12 e 18h no período chuvoso, respectivamente, acetato de *endo*-fenchila (41,95%),  $\alpha$ -fencheno (4,24%), santolina trieno (0,89%) e cariofila-4(12),8(13)-dien-5- $\beta$ -ol (0,84%). Já o horário das 15h obteve os percentuais para acetato de *endo*-fenchila (48%),  $\alpha$ -fencheno (0,41%), santolina trieno (0,81%) e cariofila-4(12),8(13)-dien-5- $\beta$ -ol (1,27%). Essa

diferença de concentração da amostra das 15h (maio) pode ser causado por a planta interagir com fungos e bactérias, e possuir diferenças entre elas, não obtendo produção uniforme e podendo ser diferente por algum motivo, não identificado visualmente, como infestação de microrganismos que causem alguma alteração na produção de metabólitos secundários, como as concentrações dos seus voláteis (TAIZ *et al.*, 2017).



**Figura 17** - Biplot (PCA) resultante da análise dos constituintes do óleo de *D. riparius* no estudo circadiano durante as estações chuvosa (maio) e seca (novembro)  
Fonte: o autor (2021).

Sabe-se que a composição e o rendimento dos óleos essenciais podem variar, dependendo do local, hora do dia, sazonalidade, como também a fatores genéticos e geográficos, invasão de predadores (herbivoria e patógenos), assim como solos (fatores edáficos) (GOBBO-NETO; LOPES, 2007, COSTA *et al.*, 2020). Portanto, esses perfis químicos diferentes devem estar associados a fatores ambientais existentes nos locais de coleta. Na análise de PCA foi dividido em dois grupos. Sendo o grupo I constituído de componentes com maiores rendimentos no período seco, que são *endo*-fenchol, (*E*)-cariofileno,  $\alpha$ -cimeno, óxido de cariofileno, limonemo,  $\gamma$ -terpineno e  $\alpha$ -tujeno. O grupo II é constituído por acetato de *endo*-fenchila,  $\alpha$ -fencheno, santolina trieno e cariofila-4(12),8(13)-dien-5- $\beta$ -ol que possuem maiores rendimentos no período chuvoso. Não houve variação no rendimento de óleo essencial nas diferentes estações do ano e horário de coleta. No entanto, a média relativa dos componentes do volátil se alterou significativamente para alguns compostos. O conhecimento desta variação na composição do óleo de *D. riparius* é essencial do ponto de vista ecológico e taxonômico, com vistas ao manejo e uso econômico das espécies.

## 7 CONCLUSÃO

Em média o rendimento de OE de *D. riparius* foi de  $(2,88 \pm 0,5 \%)$  no período seco e de  $(2,66 \pm 0,8 \%)$  no período chuvoso, não apresentando diferença estatística significativa. Os parâmetros ambientais não mostraram correlação com rendimento de óleo, mas a precipitação e a radiação solar apresentaram relação com o teor do acetato de *endo*-fenchila e *endo*-fenchol, seus componentes principais. O estudo circadiano, apresentou somente variação quantitativa em sua composição química, com maior concentração dos hidrocarbonetos monoterpênicos, monoterpênicos oxigenados, hidrocarbonetos sesquiterpênicos e sesquiterpenos oxigenados de 94,01% no horário de 6h do mês de novembro, menores concentrações, 90,09%, no horário das 6h do mês de maio.

O teor médio do acetato de *endo*-fenchila foi maior no período chuvoso do que no seco, o teor médio de *endo*-fenchol foi maior no período seco e menor no chuvoso. Sabendo que há uma produtividade significativa de OE nos dois períodos (seco e chuvoso), e que seus componentes majoritários (acetato de *endo*-fenchila e *endo*-fenchol) são produzidos em maior e menor quantidade em períodos distintos, indicando que esta planta pode ser utilizada como fonte renovável destes compostos. O conhecimento da variação quantitativa que ocorre no perfil químico de OE do espécime é essencial para sua exploração econômica.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry**. 4. ed. Carol Stream: Allured Publishing Corporation, 2007.
- ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. da. (Ed.). **Embrapa agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008.
- AMORIM, A. C. L.; LIMA, C. K. F.; HOVELL, A. M. C.; MIRANDA, A. L.; REZENDE, C. M. Antinociceptive and hypothermic evaluation of the leaf essential oil and isolated terpenoids from *Eugenia uniflora* L. (Brazilian Pitanga). **Phytomedicine**, [S. l.], v. 16, p. 923-928, 2009.
- ANITESCU, G.; DONEANU, C.; RADULESCU, V. Isolation of coriander oil: comparison between steam distillation and supercritical CO<sub>2</sub> extraction. **Flavour and Fragrance Journal**, [S. l.], v. 12, p. 173-176, 1997.
- BAJPAI, V. K.; RAHMAN, A.; SUN C. K. Chemical composition and inhibitory parameters of essential oil and extracts of *Nandina domestica* Thunb. to control food-borne pathogenic and spoilage bacteria. **International Journal of Food Microbiology**, [S. l.], v. 125, n. 2, p. 117-22, 2008.
- BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils – A review. **Food and Chemical Toxicology**, [S. l.], v. 46, p. 446-475, 2008.
- BAKKE, H. A.; LEITE, A. S. de M.; SILVA, L. B. Estatística multivariada: aplicação da análise fatorial na engenharia de produção. **Revista Gestão Industrial**, [S. l.], v. 4, n. 4, p. 1-14, 2008.
- BARATA, L. E. S. A economia verde: Amazônia. **Ciência e Cultura**, [S. l.], v. 64, n. 3, p. 31-35, 2012.
- BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. **Química Nova**, [S. l.], v. 32, p. 588-594, 2009.
- BORGES, L. P. ; AMORIM, V. A. . Metabólitos secundários de plantas. **Revista Agrotecnologia**, [S. l.], v. 11, p. 54-67, 2020.
- BRANDÃO, C. M. **Óleo essencial de *Dizygostemon* sp. (Plantaginaceae): composição química e investigação larvicida contra *Aedes***. 2018. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, São Luís, 2018.
- BRANDÃO, C. M. *et al.* Composition and larvicidal activity of the oil of *dizygostemon riparius* (plantaginaceae), a new aromatic species occurring in Maranhão, Brazil. **Chemistry & Biodiversity**, [S. l.], v. 17, n. 11, 2020.

BROCK, N. L.; DICKSCHAT, J. S. Biosynthesis of Terpenoids. **Natural Products**, [S. l.], p. 2693–2732, 2013.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. **International Journal of Food Microbiology**, [S. l.], v. 94, p.223 - 253, 2004.

CASSEL, E. *et al.* Steam distillation modeling for essential oil extraction process. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 29, p. 171-176, 2009.

CASTRO, D. M. de. **Efeitos da variação sazonal, colheita selecionada e diferentes temperaturas de secagem sobre a produção de biomassa, rendimento e composição de óleos essenciais de *Lippia alba* (Mill) N.E. Br. ex. Britt e Wilson (Verbenaceae).** 2001. 132 f. Tese (Doutorado em Horticultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

COSTA, J. S. *et al.* Seasonal and Antioxidant Evaluation of Essential Oil from *Eugenia uniflora* L., Curzerene-Rich, Thermally Produced in Situ. **Biomolecules**, [S. l.], v. 10, n. 2, p. 1-13, 2020.

DIMA, C.; DIMA, S. Essential oils in foods: extraction, stabilization and toxicity. **Current Opinion in Food Science**, [S. l.], v. 5, p. 29-35, 2015.

DONSÌ, F.; FERRARI, G. Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food. **Journal of Biotechnology**, [S. l.], v. 233, p. 106-120, 2016.

FEITOSA-ALCANTARA, R. B. *et al.* Essential Oils of *Hyptis pectinata* Chemotypes: Isolation, Binary Mixtures and Acute Toxicity on Leaf-Cutting Ants. **Molecules**, [S. l.], v. 22, n. 621, 2017.

FERREIRA, G. K. S. *et al.* Avaliação sazonal e circadiana do óleo essencial das folhas de *Piper divaricatum* G. Mey. (Piperaceae). **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 6, p. 41356-41369, 2020.

FERRONATTO, R. *et al.* Atividade antimicrobiana de óleos essenciais produzidos por *Baccharis dracunculifolia* D.C. e *Baccharis uncinella* D.C. (Asteraceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [S. l.], v. 17, n. 2, p. 224-230, 2007.

FIGUEIREDO, A. C.; BARROSO, J. G.; PEDRO, L. G. Plantas Aromáticas e Medicinais. Fatores que afectam a produção. *In*: Figueiredo, A. C., Barroso, J. G., Pedro, L. G. (Ed.). **Potencialidades e aplicações das plantas aromáticas e medicinais: curso teórico-prático**. 3. ed. Lisboa: Edição da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 2007.

GARCÍA, A. A.; CARRIL, E. Metabolismo secundário de plantas. Reduca (Biología). **Serie Fisiología Vegetal**, Madrid, v. 2, n. 3, p. 119-145, 2009.

GIULIETTI, A. M. *Dyzigostemon angustifolium*, nova espécie de Scrophulariaceae de Pernambuco. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 23., 1971, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: Sociedade Botânica do Brasil, 1971.

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Medicinal plants: factors of influence on the content of secondary metabolites. **Química Nova**, [S. l.], v. 30, p. 374-381, 2007.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; OLIVEIRA JUNIOR, G. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, [S. l.], v. 1, p. 83-90, 2016.

HYLDGAARD M.; MYGIND, T.; MEYER, R. L. Essential oils in food preservation: mode of action, synergies and interactions with food matrix components. **Front Microbiol**, [S. l.], v. 3, p. 1-24, 2012.

JOLY, C. A. *et al.* Diagnóstico da pesquisa em biodiversidade no Brasil. **Revista USP**, [S. l.], n. 89, p. 114-133, 2011.

KALEMBA, D.; KUNICKA, A. Antibacterial and antifungal properties of essential oils. **Current Medicinal Chemistry**, [S. l.], v. 10, p. 813-829, 2003.

LOBO, A. M.; Lourenço, A. M. **Biossíntese de produtos naturais**. Lisboa: IST Press, 2007.

LOPES, N. P. *et al.* Circadian and seasonal variation in the essential oil from *Virola surinamensis* leaves. **Phytochemistry**, [S. l.], v. 6, p. 689-693, 1997.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. Plantas medicinais no Brasil: Nativas e exóticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 512 p.

MACHADO, B. F. M. T.; FERNANDES JUNIOR, A. Óleos essenciais: aspectos gerais e usos em terapias naturais. **Revista ACAD**, Tubarão, v. 3, p. 105-127, 2011.

MAIA, J. G. S.; ANDRADE, E. H. A. Database of the Amazon aromatic plants and their essential oils. **Química Nova**, [S. l.], v. 32, p. 595-622, 2009.

MAIA, J. G. S.; ZOGHBI, M. G. B.; ANDRADE, E. H. A. **Plantas aromáticas na Amazônia e seus óleos essenciais**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001.

MARQUES, A. P. da S. **Produtividade e perfil químico de óleo essencial de acessos de *Varronia curassavica* Jacq. em diferentes horários de coleta e período sazonal**. 2016. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agranomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

MARTINS, C. de M. **Estudo químico, atividade antioxidante, atividade antimicrobiana e análise do óleo essencial da espécie *Kielmeyera coriacea* Mart. & Zucc (pau-santo) do cerrado**. 2012. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.

MARTINS, C. de M. *et al.* Chemical constituents and evaluation of antimicrobial and cytotoxic activities of *Kielmeyera coriacea* Mart. & Zucc. essential oils. **Evid Based Complement Alternat Med**, [S. l.], p. 1-9, 2015.

MOITA NETO, J. M. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, [S. l.], v. 21, p. 467-469, 1998.

MONDELLO, L. **Flavors and fragrances of natural and synthetic compounds 2. Mass spectral database**. 2. ed. Nova Jersey: Wiley–Blackwell, 2011.

MORAES, I. B.; KARSTEN, J.; CASALI, M. P. M. Uso de plantas medicinais em regiões de Cerrado. **Revista das Ciências da Saúde do Oeste Baiano**, Higia, v. 1, n. 2, p. 34-57, 2016.

MORAIS L. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**, [S. l.], v. 27, p. 4050- 4063, 2009.

NAZIR, N.; ZAHOOR, M.; UDDIN, F. *et al.* Chemical composition, in vitro antioxidant, anticholinesterase, and antidiabetic potential of essential oil of *Elaeagnus umbellata* Thunb. **BMC Complement Med Ther**, [S. l.], v. 21, n. 73, 2021.

NETO, M. M. J. Estatística multivariada. **Revista de Filosofia e Ensino**, [S. l.], 2011. Disponível em: [http://www.criticanarede.com/cien\\_estatistica.html](http://www.criticanarede.com/cien_estatistica.html)> Acesso em: 12 set. 2020.

OGUNWANDE, I. A. *et al.* Studies on the essential oils composition, antibacterial and cytotoxicity of *Eugenia uniflora* L. **Int J Aromather**, [S. l.], v. 15, p. 147-152, 2005.

OKOH, O. O.; SADIMENKO, A. P.; AFOLAYAN, A. J. Comparative evaluation of the antibacterial activities of the essential oils of *Rosmarinus officinalis* L. obtained by hydrodistillation and solvent free microwave extraction methods. **Food Chemical**, [S. l.], v. 120, p. 308-312, 2010.

OLMEDO, R. H.; ASENSIO, C. M.; GROSSO, N. R. Thermal stability and antioxidant activity of essential oils from aromatic plants farmed in Argentina, **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 69, p. 21-28, 2015.

OUSSALAH, M.; CAILLET, S.; SAUCIER, L.; LACROIX, M. Inhibitory effects of selected plant essential oils on the growth of four pathogenic bacteria: *E. coli* O157:H7, *salmonella typhimurium*, *staphylococcus aureus* and *listeria monocytogenes*. **Food Control**, [S. l.], v. 18, n. 5, p. 414-420, 2007.

QUEIROZ, T. B., MENDES, A. D. R., SILVA, J. C. R. L., FONSECA, F. S. A., MARTINS, E. R. Teor e composição química do óleo essencial de erva-baleeira (*Varronia curassavica* Jacq.) em função do horário de coleta. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, [S. l.], v. 18, 2016.

RAPOSO, J. D. A. **Estudo químico e atividade antioxidante dos óleos essenciais de espécies *Myrcia* (Myrtaceae) do Baixo Amazonas**. 2017. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) – Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

ROCHA J. G.; PEIXOTO J. C.; SANTOS T. L.; Bioprospecção no cerrado: fitoquímica foliar de *Justicia Nodicaulis* (Nees) Leonard (*Acanthaceae*) ocorrente em cerrado goiano. **Revista de Divulgação Científica Sena Aires**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 198-205, 2019.

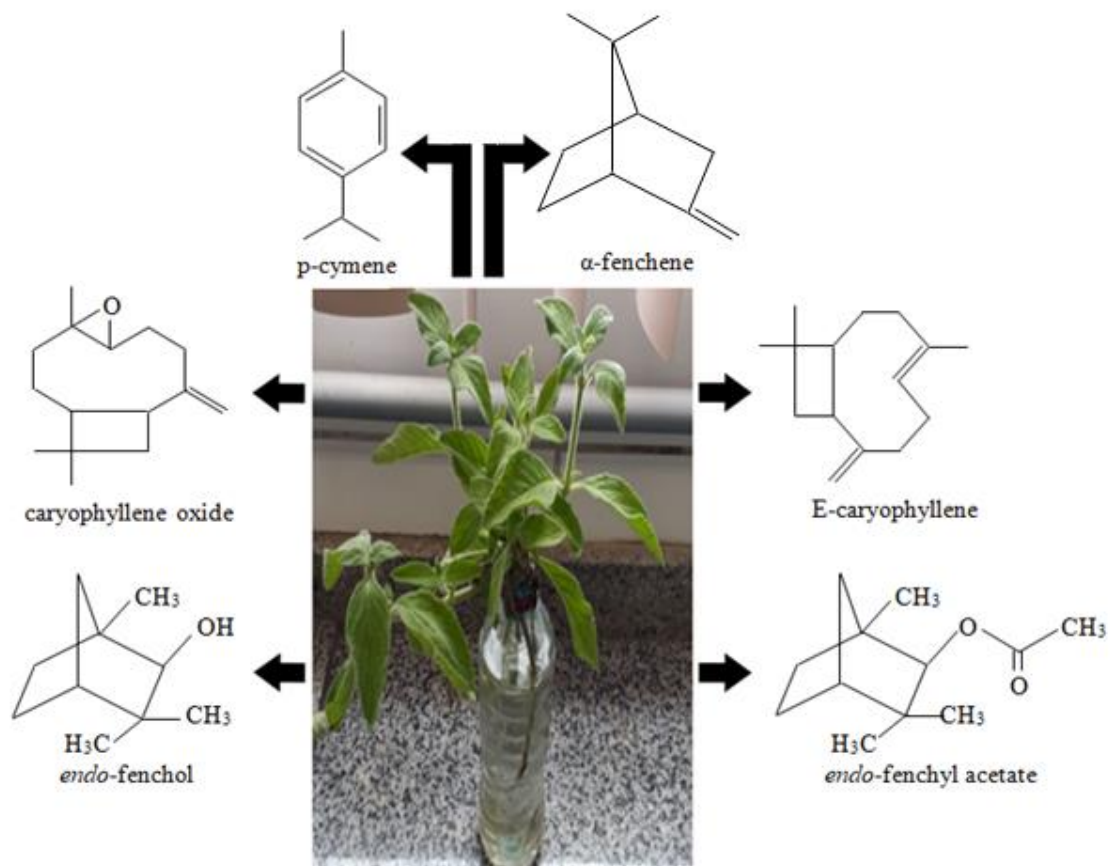
- SANTOS, E. F. N.; SOUSA, I. F. Análise estatística multivariada da precipitação do estado de sergipe através dos fatores e agrupamentos. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 14, n. 23, p. 205-222, 2018.
- SARTO, M. P. M.; JUNIOR, G. Z. Atividade antimicrobiana de óleos essenciais. **Revista UNINGÁ Review**, [S. l.], v. 20, p. 98-102, 2014.
- SCATIGNA, A. V. *et al.* *Dizygostemon riparius* (Plantaginaceae, Gratioleae), a new species from Maranhão, northeastern Brazil. **Willdenowia**, [S. l.], v. 49, p. 177-186, 2019.
- SCATIGNA, A. V.; MOTA, N. F. O. Flora of the cangas of the Serra dos Carajás, Pará, Brazil: Plantaginaceae. **Rodriguesia**, [S. l.], v. 68, p. 1077-1083, 2017.
- SENA, M. M. *et al.* Avaliação do uso de métodos quimiométricos em análise de solos. **Química Nova**, [S. l.], v. 23, p. 547-556, 2000.
- SIANI, A. C. *et al.* Anti-inflammatory activity of essential oils from *Syzygium cumini* and *Psidium guajava*. *Pharm. Biology Early Online*, [S. l.], p. 1-7, 2013.
- SILVA, C. de M. *et al.* Sesquiterpenoids of *Senecio bonariensis* Hook. & Arn., **Asteraceae**. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [S. l.], v. 20, p. 87-92, 2010.
- SILVA, F. B. *et al.* Evidências de mudanças climáticas na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S. l.], v. 31, n. 3, p. 330-336, 2016.
- SIMÕES, C. M. O.; SPITZER, V. Óleos voláteis. In: Simões, C. M. O. *et al.* (Ed.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5. ed., Porto Alegre: EDUFRGS, 2004.
- SOLÓRZANO-SANTOS, F.; MIRANDA-NOVALES, M. G. Essential oils from aromatic herbs as antimicrobial agents. **Current Opinion In Biotechnology**, [S. l.], v. 23, n. 2, p. 136-141, 2012.
- SOUSA, R. "**Cerrado**". São Luís, 12 out. 2021. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/cerrado.htm>. Acesso em: 12 out. 2021.
- SOUZA, S. A. M.; MEIRA, M. R.; FIGUEIREDO, L. S.; MARTINS, E. R. Óleos essenciais: Aspectos econômicos e sustentáveis. **Revista Enciclopédia Biosfera**, [S. l.], v. 6, p. 1-11, 2010.
- SOUZA, V. C.; GIULIETTI A. M. Levantamento das espécies de *Scrophulariaceae* sensu lato nativas do Brasil. **Pesquisas**, [S. l.], v. 60, p. 7-288, 2009.
- TAVARES, E. S. *et al.* Análise do óleo essencial de folhas de três quimiotipos de *Lippia alba* (Mill.) N. E. Br. (Verbenaceae) cultivados em condições semelhantes. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 1-5, 2005.
- VAN, D. D. H.; KRATZ, P. D. A generalization of theretention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **Journal of Chromatography**, [S. l.], v. 11, p. 463-471, 1963.

VERMA, R. S.; PADALIA, R. C.; CHAUHAN, A. Essential oil composition of *Aegle marmelos* (L.). Correa: chemotypic and seasonal variations. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, [S. l.], v. 94, p. 1904-1913, 2014.

VICTORIA, F. N. *et al.* Essential oil of the leaves of *Eugenia uniflora* L.: Antioxidant and antimicrobial properties. **Food and Chemical Toxicology**, [S. l.], v. 50, p. 2668-2674, 2012.

WALTER, B. M. T. **Fitofisionomias do bioma cerrado**: síntese terminológica e relações florísticas. Tese (Doutorado em Química), Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

ANEXO A – Exemplar de *Dizygostemon riparius* e principais constituintes do seu óleo essencial



Fonte: o autor (2021).