

**INSTITUTO FEDERAL GOIANO CAMPUS MORRINHOS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**DANILO ANTÔNIO SILVA**

***Siparuna guianensis* Aublet: COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE  
NEMATICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS  
EXTRATOS VEGETAIS**

Morrinhos – GO

2025

**DANILO ANTÔNIO SILVA**

***Siparuna guianensis* Aublet: COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE  
NEMATICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS  
EXTRATOS VEGETAIS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Licenciatura  
em Química do Instituto Federal Goiano –  
Campus Morrinhos, como requisito para obtenção  
do grau de Licenciado em Química.

Orientadora: Prof. Dra. Carla de Moura Martins  
Coorientadora: Dra. Alessandra Cristina Tomé

Morrinhos – GO

2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

S586s Silva, Danilo Antônio  
Siparuna guianensis Aublet: COMPOSIÇÃO QUÍMICA E  
ATIVIDADE NEMATICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL E  
ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS EXTRATOS VEGETAIS  
/ Danilo Antônio Silva. Morrinhos 2025.  
  
68f. il.  
  
Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Carla de Moura Martins.  
Coorientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. Alessandra Cristina Tomé.  
Tcc (Licenciado) - Instituto Federal Goiano, curso de 0422155 -  
[MO.GRAD] Licenciatura em Química - Morrinhos (Campus  
Morrinhos).  
1. Siparuna guianensis Aublet. 2. Óleo essencial. 3. Atividade  
nematicida. 4. Antioxidante. 5. Meloidogyne enterolobii. I.  
Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

### **TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

#### **Identificação da Produção Técnico-Científica (assinale com X)**

- ☐ Tese
- ☐ Dissertação
- ☐ Monografia – Especialização
- ☐ Artigo - Especialização
- ☒ TCC - Graduação
- ☐ Artigo Científico
- ☐ Capítulo de Livro
- ☐ Livro
- ☐ Trabalho Apresentado em Evento
- ☐ Produção técnica. Qual: \_\_\_\_\_

Nome Completo do Autor: Danilo Antônio Silva

Matrícula: 2021104221550096

Título do Trabalho: Siparuna guianensis Aublet: COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE NEMATICIDA DO ÓLEO ESSENCIAL E ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DOS EXTRATOS VEGETAIS

#### **Restrições de Acesso ao Documento [Preenchimento obrigatório]**

Documento      confidencial:      ☒ Não      ☐ Sim,      justifique:

---

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 26/01/2026

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

## DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NAO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. O documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. Obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. Cumprir quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Morrinhos, 26 de janeiro de 2026

Danilo Antônio Silva

*Assinado eletronicamente pelo o Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais*

Ciente e de acordo:

Carla de Moura Martins

*Assinatura eletrônica do(a) orientador(a)*

Documento assinado eletronicamente por:

- **Danilo Antônio Silva, 2021104221550096 - Discente**, em 26/01/2026 17:03:52.
- **Carla de Moura Martins, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 26/01/2026 17:06:13.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/01/2026. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

**Código Verificador:** 781998

**Código de Autenticação:** eb1842acff



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Morrinhos

Rodovia BR-153, Km 633, Zona Rural, SN, Zona Rural, MORRINHOS / GO, CEP 75650-000

(64) 3413-7900



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Ata nº 88/2025 - CCEG-MO/CEG-MO/DE-MO/CMPMHOS/IFGOIANO

### **ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO**

Aos nove dias do mês de dezembro de 2025, às 17h00, na sala 03 do bloco da Química no IF Goiano - campus Morrinhos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes Felipe de Moura Souza (membro), Gilmara Aparecida Correa Fortes (membra) e Carla de Moura Martins (presidente da banca e orientadora), para examinar o Trabalho de Curso (TC) intitulado “*Siparuna guianensis* Aublet: composição química e atividade nematocida do óleo essencial e atividade antioxidante dos extratos vegetais” do discente Danilo Antônio Silva, matrícula nº 2021104221550096, do Curso de Licenciatura em Química do IF Goiano — Campus Morrinhos. A palavra foi concedida ao discente para a apresentação oral do seu TC. Em seguida, houve arguição do candidato pelos membros da banca examinadora. Após esta etapa, a banca examinadora decidiu pela APROVAÇÃO do discente, com nota final igual a 9,4. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

*(Assinado Eletronicamente)*

Prof. Dr. Felipe de Moura Souza

Avaliador

*(Assinado Eletronicamente)*

Profa. Dra. Gilmara Aparecida Correa Fortes

Avaliadora

*(Assinado Eletronicamente)*

Profa. Dra. Carla de Moura Martins

Orientadora

Documento assinado eletronicamente por:

- **Carla de Moura Martins, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 09/12/2025 19:11:28.
- **Gilmara Aparecida Correa Fortes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 09/12/2025 19:56:42.
- **Felipe de Moura Souza, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO** , em 09/12/2025 20:11:43.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 09/12/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

**Código Verificador:** 772801

**Código de Autenticação:** acd21f86ee



INSTITUTO FEDERAL GOIANO

Campus Morrinhos

Rodovia BR-153, Km 633, Zona Rural, SN, Zona Rural, MORRINHOS / GO, CEP 75650-000

(64) 3413-7900

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais Venúzia Amaral e João Antônio, e ao meu irmão Henrique Antônio, pelo apoio incondicional, pelo amor e convivência diária.

Quero agradecer também a minha tia Rosângela e a minha avó Maria Marcolina, por todo amor, e por serem a extensão da minha família primária.

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos e toda sua comunidade, pela oportunidade de formação nesta renomada instituição.

A todos os professores do Núcleo de Química e Pedagogia, com os quais tive o prazer de dividir experiências, e que sem dúvidas foram fundamentais em minha formação.

Agradeço especialmente a professora Dr<sup>a</sup>. Carla Martins, minha orientadora, pela oportunidade de orientação na Iniciação Científica que culminou nesta pesquisa, pelo suporte, pela paciência, as correções e ensinamentos e pelas viagens no período da greve para efetivação da pesquisa.

Agradeço a minha coorientadora Alessandra Tomé por toda a ajuda fundamental na execução das análises, pelas viagens e pelos ensinamentos compartilhados nesta trajetória.

A técnica de laboratório Dayana Martins pelo suporte com os materiais da pesquisa e acompanhamento nas análises.

A minha colega Karoline Chartier, agora professora, pelo compartilhamento das angústias e pela parceria nas análises biológicas.

Ao professor Rodrigo Silva, meu coorientador do IC e à aluna Gabriela Araújo do Laboratório de Nematologia, do IF Goiano – Campus Morrinhos, pelas análises da atividade nematocida.

Aos meus colegas e amigos Rhuan Emmanuel, Mariana Soares e Isadora Mendonça pela trajetória e parceria durante os 4 anos de curso. De alguma forma nós terminamos pessoal!

Agradeço a todos que de alguma forma estiveram presentes em minha vida durante toda essa trajetória, mesmo que indiretamente.

Enfim, o meu muito obrigado!



## RESUMO

Produtos naturais e óleos essenciais possuem papel histórico, cultural, na saúde e no controle de pragas. No Brasil, os conhecimentos populares e o uso tradicional amparam a investigação da espécie *Siparuna guianensis* Aublet., popularmente conhecida como “negramina”, uma planta amplamente distribuída na América do Sul e empregada como repelente natural e em cuidados tradicionais, com composição volátil sujeita à variabilidade sazonal e geográfica. A partir de relatos e estudos prévios acerca da atividade antioxidante de óleo essencial da negramina, e seus efeitos biológicos relevantes, este trabalho visou caracterizar os constituintes voláteis do óleo essencial das folhas de *Siparuna guianensis* Aublet; avaliar a atividade nematicida do óleo contra *Meloidogyne enterolobii* e mensurar a atividade antioxidante dos extratos hidroetanólico, etanólico e aquoso da mesma planta. O óleo essencial foi obtido através da hidrodestilação por aparelho Clevenger, apresentando rendimento médio de 0,19% e perfil rico em sesquiterpenos, com destaque para o  $\gamma$ -muuroleno (26,2%) e elixeno (24,2%) como compostos majoritários. Os bioensaios *in vitro*, revelaram que o óleo essencial reduziu a eclosão de *Meloidogyne enterolobii* de forma concentração-dependente, atingindo 96,75% em 50  $\mu$ L (5 dias) e efeitos já em 2,5–5,0  $\mu$ L (87,5–89,0%). Já em relação a atividade antioxidante dos extratos brutos, verificou-se baixo potencial ativo, sendo os melhores resultados obtidos: DPPH:  $IC_{50} \approx 392 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  para o extrato hidroetanólico; ABTS:  $19,93 \mu\text{mol Trolox} \cdot \text{g}^{-1}$  no extrato hidroetanólico; FRAP:  $22,82 \mu\text{mol FeSO}_4 \cdot \text{g}^{-1}$  no extrato aquoso. Destarte, o óleo essencial de *Siparuna guianensis* Aublet., mostra-se promissor como agente nematicida, enquanto os extratos mostram limitada atividade antioxidante. Recomenda-se ampliar a amostragem sazonal/geográfica e avançar para testes *in vivo*, no que diz respeito a atuação do óleo essencial como antinematóide.

**Palavras-chave:** *Siparuna guianensis* Aublet. Óleo essencial. Atividade nematicida. Antioxidante. *Meloidogyne enterolobii*.

## ABSTRACT

Natural products and essential oils play a longstanding cultural and practical role in health and pest control. In Brazil, traditional knowledge supports investigating *Siparuna guianensis* Aublet. (“negramina”), a South American species used as a natural repellent whose volatile composition varies seasonally and geographically. Building on prior reports of antioxidant and other bioactivities, this study aimed to characterize the volatile constituents of the leaf essential oil (EO); evaluate the essential oil nematicidal activity against *Meloidogyne enterolobii* and determine the antioxidant activity of hydroethanolic, ethanolic, and aqueous extracts. The essential oil was obtained by hydrodistillation (Clevenger), yielding 0.19% and a sesquiterpene-rich profile dominated by  $\gamma$ -muurolene (26.2%) and elixene (24.2%). In vitro bioassays showed a concentration-dependent reduction in *Meloidogyne enterolobii* hatching, reaching 96.75% at 50  $\mu$ L (5 days), with marked effects already at 2.5–5.0  $\mu$ L (87.5–89.0%). Antioxidant activity of the crude extracts was low, best results were observed in: DPPH: IC<sub>50</sub> = 392.23  $\mu$ g·mL<sup>-1</sup> for the hydroethanolic extract; ABTS: 19.93  $\mu$ mol TE·g<sup>-1</sup> for the hydroethanolic extract; and FRAP: 22.82  $\mu$ mol FeSO<sub>4</sub>·g<sup>-1</sup> for the aqueous extract. Overall, the essential oil of *Siparuna guianensis* Aublet. shows promising nematicidal potential, whereas the extracts exhibit limited antioxidant activity. Future work should broaden seasonal and geographic sampling and advance to in vivo tests, particularly regarding antinematode activity of the essential oil.

**Keywords:** *Siparuna guianensis* Aublet.; Essential oil; Nematicidal activity; Antioxidant; *Meloidogyne enterolobii*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Compostos majoritários encontrados no OE de <i>S. guianensis</i> .....	12
Figura 2 – Distribuição geográfica do gênero <i>Siparuna</i> no Brasil.....	14
Figura 3 – <i>Siparuna guianensis</i> .....	15
Figura 4 – Óleo essencial de laranja exportado do Brasil .....	17
Figura 5 – Esquema das destilações por aparelho Clevenger e por arrasto de vapor.....	19
Figura 6 – Morfologia geral de um fitonematoide fêmea.....	23
Figura 7 – Folhas frescas da <i>S. guianensis</i> .....	26
Figura 8 – Processo de hidrodestilação e óleo obtido .....	27
Figura 9 – Agitação dos extratos .....	30
Figura 10 – Filtragem dos extratos .....	30
Figura 11 – Cromatograma do óleo essencial de <i>S. guianensis</i> Aublet.....	41
Figura 12 – Espectro de Massa do composto identificado no TR 24,3 min.....	44
Figura 13 – Espectro de Massa do $\gamma$ -muurolene.....	45
Figura 14 – Estrutura dos principais componentes do OE de <i>S. guianensis</i> .....	46
Figura 15 – Reação de estabilização do radical DPPH .....	47
Figura 16 – Reação entre o radical ABTS e o composto antioxidante.....	49
Figura 17 – Reação de redução do TPTZ com o ferro III .....	50
Figura 18 – Curva-padrão de sulfato ferroso.....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Preparo das soluções para curva-padrão de Trolox. ....	32
Tabela 2 – Preparo das soluções para curva-padrão de sulfato ferroso .....	34
Tabela 3 – Rendimento do OE de <i>S. guianensis</i> extraído entre os meses de março e abril de 2024 .....	37
Tabela 4 – Rendimento do OE da <i>S. guianensis</i> em diferentes regiões e meses do ano .....	38
Tabela 5 – Compostos identificados via CG-EM.....	42
Tabela 6 – Resultados da análise antioxidante dos extratos de <i>S. guianensis</i> a partir do sequestro do radical DPPH.....	48
Tabela 7 – Resultados da análise antioxidante dos extratos de <i>S. guianensis</i> a partir do método ABTS.....	49
Tabela 8 – Resultados da análise antioxidante dos extratos de <i>S. guianensis</i> a partir do método de redução do FRAP.....	51
Tabela 9 - Resumo ANOVA dos juvenis de <i>Meloidogyne enterolobii</i> eclodidos pelo teste <i>in vitro</i> com aplicação de óleo essencial de negramina. ....	54
Tabela 10 - Valores médios de eclosão de juvenis de <i>Meloidogyne enterolobii</i> e percentual de redução de eclosão em função das concentrações do óleo essencial de negramina e do tempo de exposição de 5 dias. ....	54

## ABREVIACÕES E SIGLAS

ABTS	Ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)
AI	Índice aritmético
CG-EM	Cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas
DPPH	2,2-difenil-1-picrilidrazila
EV	Extrato vegetal
EVs	Extratos vegetais
FRAP	Capacidade antioxidante de redução de ferro
IC <sub>50</sub>	Concentração inibitória
IF Goiano	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano
IR	Índice de retenção
<i>M. enterolobii</i>	<i>Meloidogyne enterolobii</i>
NIST	National Institute of Standards and Technology
OE	Óleo essencial
OEs	Óleos essenciais
ROS	Espécies reativas de oxigênio
<i>S. guianensis</i>	<i>Siparuna guianenses</i> Aublet
TPTZ	2,4,6-tris(2-piridil)-s-triazina
TR	Tempo de retenção
TROLOX	Ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	14
2.1 <i>Siparuna guianensis</i> Aublet.....	14
2.2 Óleos essenciais .....	16
2.3 Métodos de extração e análise dos óleos essenciais .....	19
2.4 Extratos vegetais e atividade antioxidante .....	21
2.5 Nematoides e atividade nematicida .....	22
3 OBJETIVOS.....	25
3.1 Objetivo Geral.....	25
3.2 Objetivos Específicos .....	25
4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....	26
4.1 Coleta e preparação do Material vegetal.....	26
4.2 Óleo Essencial.....	26
4.2.1 Extração do óleo essencial de <i>S. guianensis</i> .....	26
4.2.2 Análise do óleo essencial através de CG-EM .....	27
4.2.3 Determinação da composição química do óleo essencial .....	28
4.3 Avaliação da atividade antioxidante do Extratos Vegetais de <i>S. guianensis</i> .....	29
4.3.1 Preparação dos Extratos Vegetais .....	29
4.3.2 Método do DPPH .....	30
4.3.3 Método do radical ABTS .....	32
4.3.4 Método FRAP .....	33
4.4 Avaliação da atividade nematicida do OE de <i>S. guianensis</i> .....	34
4.4.1 Preparação e multiplicação do inóculo de <i>Meloidogyne enterolobii</i> .....	34
4.4.2 Montagem do experimento.....	35
4.4.3 Delineamento experimental.....	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
5.1 Óleo Essencial.....	37
5.1.1 Rendimento do óleo essencial .....	37
5.1.2 Identificação dos componentes do óleo essencial de <i>S. guianensis</i> .....	39
5.2 Análise da atividade antioxidante dos extratos vegetais de <i>S. guianensis</i> .....	47
5.2.1 Resultados da atividade antioxidante pelo método do DPPH .....	47
5.2.2 Resultados da atividade antioxidante pelo método do ABTS .....	48
5.2.3 Resultados da atividade antioxidante pelo método do FRAP .....	49
5.2.4 Discussões acerca dos resultados obtidos nos testes de atividade antioxidante.....	51
5.3 Atividade nematicida do OE de <i>S. guianensis</i> contra a espécie <i>M. enterolobii</i> .....	54
6 CONCLUSÕES .....	57

REFERÊNCIAS ..... 59

## 1 INTRODUÇÃO

A relação do homem com os produtos naturais data de tempos imemoriais, precedentes de qualquer conceito científico, ora estabelecido durante tempos mais modernos. O uso de plantas no controle de enfermidades, pragas e em mecanismo de defesa, ajuda a contar a história de desenvolvimento da humanidade, desde os períodos da pré-história até a contemporaneidade, nas mais diversas civilizações, seja no Ocidente ou no Oriente, com conhecimentos que perpassam a barreira do tempo e seguem desafiando o conhecimento científico ainda nos dias atuais (Viegas; Bolzani; Barreiro, 2006).

Na mesma toada, no Brasil, há uma herança eterna dos povos originários, que detinham grande conhecimento sobre o uso de plantas com ações benéficas para os seres humanos, que reforçam a grande importância cultural dessas explorações (Rocha *et al.*, 2021). É um legado que segue sendo carregado pelas comunidades locais do país, como mostra o trabalho de Santos *et al.* (2024), que investigaram as plantas conhecidas e utilizadas pelas comunidades residentes no Delta do Parnaíba, encontrando um vasto repertório de uso que vai desde a medicina até a construção de moradias, reforçando a importância social

Avançando à contemporaneidade, os produtos naturais, antes parte de uma cadeia natural na relação do homem com a natureza, se transformaram em fonte de exploração visando o lucro. O Brasil é hoje um país de destaque nesse tipo de exploração, representado um centro de grandezas naturais, associadas à sua grande fauna e flora. A floresta amazônica é um grande símbolo dessa riqueza natural, e torna-se cada vez mais, um palco da geopolítica capitalista internacional. Em 2005, Becker já comentava sobre os projetos de mercantilização da natureza, através da Amazônia:

“Torna-se patente que, se há uma valorização da natureza e da Amazônia, há também a relativização do poder da virtualidade dos fluxos e redes do mundo contemporâneo, com a globalização, que acaba com as fronteiras e com os Estados. Na verdade, os fluxos e redes não eliminam o valor estratégico da riqueza localizada, *in situ*; eles sustentam a riqueza circulante do sistema financeiro, da informação, mas a riqueza localizada no território também tem seu papel e seu valor” (Becker, 2005, p.78).

Essa discussão ganha cada vez mais força, diante do estabelecimento da China como nova potência econômica global, pressionando países como os Estados Unidos na busca por recursos naturais para suprir suas necessidades econômicas e produtivas, fazendo da região Amazônica um alvo de interesse na manutenção da hegemonia global dessas potências, subjugando os países subdesenvolvidos e em desenvolvimento da América do sul, em uma



luta já iniciada pela apropriação dos recursos naturais, ignorando seus impactos ambientais, sociais e econômicos nessas regiões (Amin, 2015).

Nesse contexto, a ânsia por exploração dos recursos naturais faz emergir um grande interesse por formação científica capacitada. Todos esses fatos, contribuíram imensamente na posição privilegiada do Brasil em relação a Ciência de Produtos Naturais (Berlinck, *et al.*, 2017). Dentre elas, encontra-se a Química de Produtos Naturais, considerada a área mais antiga de pesquisa dentro da Química brasileira, na qual tem emergido o interesse de pesquisa em fitoquímica envolvendo ecologia química, biossíntese de micromoléculas de plantas, microrganismos e atividade biológica (Pinto *et al.*, 2002). Apesar do claro interesse comercial por trás desses desenvolvimentos tecnológicos, esses estudos com produtos naturais têm ajudado a criar alternativas para mitigar, por exemplo, problemas ambientais causados por produtos sintéticos usuais.

Dentre essas tecnologias de produtos naturais, se fazem presentes os óleos essenciais (OEs) e os extratos vegetais (EVs), que têm sido explorados nas mais diversas aplicações, principalmente como matéria prima na produção de aromas e fragrâncias (Bizzo; Rezende, 2009). Contudo, um dos expoentes nas novas pesquisas com esses produtos, é a alta atividade biológica apresentada, tanto por óleo essencial (OE), quanto por extratos brutos de material vegetal.

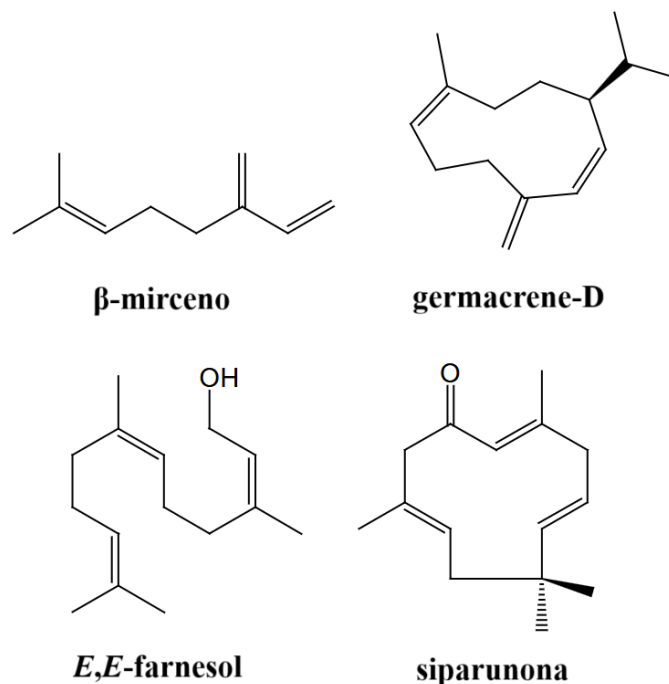
Nesse sentido, a ciência logra dos conhecimentos populares, na busca por espécies vegetais, culturalmente utilizadas no tratamento de sintomas e doenças, no controle de agentes externos, dentre outras aplicações.

A *Siparuna guianensis* Aublet., conhecida popularmente como negramina, é uma dessas plantas de uso popular. Pertencente à família Siparunaceae, essa espécie é amplamente distribuída nas regiões tropicais da América do Sul, incluindo o Brasil, onde é utilizada tradicionalmente como repelente natural e no tratamento de diversas enfermidades (Martins, 2016). A negramina é uma planta arbustiva que apresenta folhas simples, de espessura fina e cor bem esverdeada.

Uma variedade de estudos indica que o OE das folhas de *S. guianensis* possui uma composição química complexa, como mostra o trabalho Melo *et al.*, de (2017), que apontou como compostos majoritários o B-mirceno (16%), o germacrene-D (10%), E, E-farnesol (18%) e o siparunona (10%), como mostra a Figura 1. As principais classes de compostos encontradas, em um estudo realizado por Souza *et al.*, 2022 foram os sesquiterpenos oxigenados, sesquiterpenos hidrocarbonetos, monoterpenos oxigenados e compostos não terpênicos. Esses compostos são conhecidos por suas propriedades biológicas, incluindo atividades antimicrobiana, anti-inflamatória e antioxidante. No entanto, a variabilidade

sazonal e geográfica pode influenciar significativamente a composição química do óleo essencial, tornando necessária uma análise detalhada para cada região de coleta (Valentini; Rodríguez-Ortíz; Coelho, 2010a).

Figura 1 – Compostos majoritários encontrados no OE de *S. guianensis*



Fonte: adaptado de Melo *et al.*, 2017

A atividade antioxidante de plantas é um campo de estudo amplamente explorado devido ao potencial terapêutico dos compostos bioativos presentes em diversas espécies vegetais. Antioxidantes são substâncias que retardam ou inibem a oxidação de outras moléculas, protegendo as células contra os danos causados por radicais livres. Plantas como *Connarus perrottetii*, *Mansoa alliacea* e *Cecropia palmata* têm demonstrado atividade antioxidante significativa em estudos *in vitro*, devido à presença de compostos fenólicos, flavonoides e outros metabólitos secundários (Silveira, 2014). Esses compostos atuam neutralizando radicais livres e, assim, podem contribuir para a prevenção de doenças crônicas, como câncer e doenças cardiovasculares (Sousa *et al.*, 2007).

Uma série de trabalhos vem mostrando o potencial de substâncias presentes tanto no OE quanto nos extratos extraídos das folhas da espécie *S. guianensis*, no que diz respeito sua atividade biológica. Os trabalhos de Barbosa *et al.* (2022) e Santos; Nogueira; Chapla (2022), mostraram atividade antioxidante presente no OE da planta. Enquanto isso Almeida *et al.*

(2021) e Evangelista *et al.* (2019) apresentaram resultados positivos para inibição em testes com o método DPPH (2,2-difenil-1-picrilidrazila), em ambos os casos. No que diz respeito a investigação da atividade nematicida da planta, os estudos *in vitro* de Carvalho *et al.* (2019), apontaram sucesso na inibição da espécie *Strongyloides venezuelensis*, acima de 90%, em concentrações de 1,0 g/ml, tanto para o extrato etanólico quanto para o OE de *S. guianensis*

Diante desse contexto, o estudo da espécie vegetal *S. guianensis* Aublet. mostra-se relevante, uma vez que a negramina integra diversos bioma brasileiros, apresentando importância histórica e cultural, sobretudo para comunidades locais, que revelam suas propriedades benéficas para os seres humanos. Na realidade local, a atividade do agronegócio tem apresentado cada vez mais dominância, ameaçando a integridade do Cerrado, e consequentemente das suas espécies nativas. Os estudos sobre as propriedades do OE ou dos EVs da *S. guianensis* podem revelar aplicações relevantes desses produtos e impulsionar a preservação de um dos biomas mais ricos do território brasileiro, no que concerne à sua biodiversidade.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 *Siparuna guianensis* Aublet.

A *Siparuna guianensis* Aublet. faz parte da família Siparunaceae, catalogada pelo sistema de classificação APG IV (Cole; Hilger; Carvalho, 2016). Essa família, integra a ordem Laurales, e é composta por apenas dois gêneros, o *Glossocalyx*, encontrado restritamente ao Oeste da África, e o *Siparuna*, distribuído da América Central até o sul da América do Sul. Existem cerca de 59 espécies arbóreas ou arbustivas, pertencentes à Siparunacea (Brunassi; Lírio, 2025; Morocho *et al.*, 2023). Ambos os gêneros, pertenciam formalmente a família Monimiaceae (Feil, 1992). Contudo estudos realizados da filogenia molecular fizeram que o Siparunaceae fosse elevado a nível familiar (Renner, 1999).

No que diz respeito ao gênero *Siparuna*, o Instituto de Pesquisas do Jardim Botânico do RJ, mostra que há no Brasil, ocorrência de 20 espécies aceitas, sendo que existem mais 50 consideradas sinônimos. Essas espécies estão distribuídas geograficamente por todo o país, como mostra o mapa da Figura 2, integrando os Domínios Fitogeográficos da Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica e Pantanal, sendo que o epicentro de diversidade se encontra na Região Amazônica (Peixoto; Lirio; Pignal, 2020).

Figura 2 – Distribuição geográfica do gênero *Siparuna* no Brasil



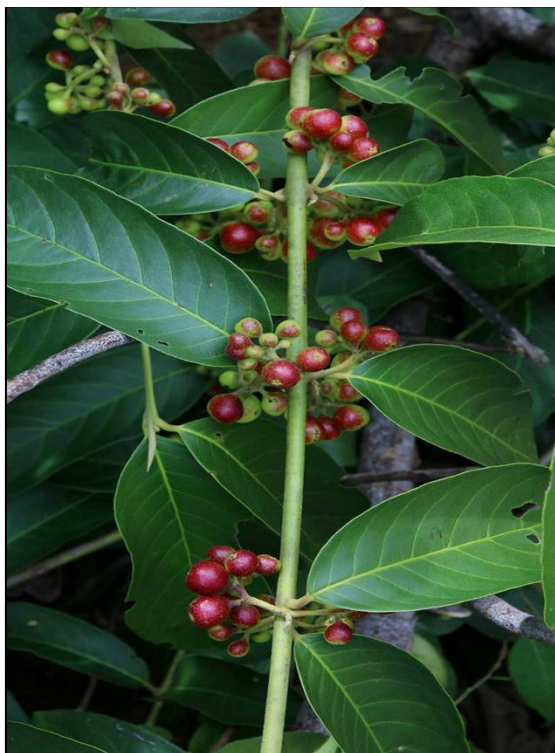
Fonte: adaptado de Peixoto; Lirio; Pignal, 2020

Entre as espécies desse gênero, a *Siparuna guianensis* Aublet, planta popularmente conhecida como negramina, capitú, limão-bravo ou pitaguará, destaca-se em virtude da sua

distribuição geográfica ao longo das Américas, com ocorrência desde a região neotropical da América Central, passando pelo México, Caribe até a região sul da América do Sul, no ecossistema de Floresta Temperada (Rodrigues *et al.*, 2023). Outro aspecto relevante da espécie são as propriedades encontradas em seus subprodutos ou nos seus compostos isolados, a exemplo dos estudos de Vilanculo *et al.*, 2025, que investigaram a atividade antimicrobiana dos constituintes, a partir do isolamento dos compostos, tendo a anonaina – um alcaloide encontrado em diversas plantas – apresentando boa atividade contra cepas de bactérias fitopatogênicas.

A *S. guianensis* é descrita como um arbusto ou árvore pequena, podendo atingir até 6 metros de altura, apresentando folhas simples, com uma margem serrilhada, como pode ser observado na Figura 3. Suas folhas possuem aroma característico, liberado através da maceração. Enquanto as flores são pequenas, de coloração amarelada e esverdeada, estando dispostas em inflorescências axilares. Já os frutos são bagas globosas, de coloração vermelha, quando estão maduros, contendo diversas sementes pequenas, de cor preta (Valentini; Rodríguez-Ortíz; Coelho, 2010a). Ela é considerada uma planta pioneira, o que significa que ela é uma das primeiras a colonizar áreas desmatadas ou perturbadas, através da dispersão zoocórica (Almeida *et al.*, 2021).

Figura 3 – *Siparuna guianensis*



Fonte: Biostrege. Disponível em: <https://biostrategie.com/en/vinere-siparuna-guianensis/>

As propriedades biológicas mencionadas anteriormente, têm sido exploradas de forma empírica, por populações tradicionais há vários séculos, a partir do uso de extratos, infusões, dentre variadas formas. O uso medicinal tradicional é um dos grandes atrativos da planta, sendo utilizada contra desordens estomacais, dor de cabeça, reumatismo e há relatos de uso como remédio contra a Malária (Valentini; Rodríguez-Ortíz; Coelho, 2010a; Vigneron *et al.*, 2005). Contudo, de acordo com os mesmos autores, no Panamá e na Guiana, os extratos da negramina são utilizados até mesmo como inseticidas e até mesmo na atividade de pesca, em virtude do odor característico da espécie que mascara o odor humano, dando origem ao nome popular “capitiú” (Caá: planta/ arbusto + pitiú: fedor de peixe), nativo da Língua Tupi-Guarani (Barbosa *et al.*, 2023 apud Figueiredo *et al.*, 2024). A importância etnobotânica se estende ainda às crenças em propriedades sobrenaturais ligadas à *S. guianensis*, com uso para banhos de descarrego e comercialização local reportados nos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro (Arjona, Montezuma, Silva, 2007; Rodrigues *et al.*, 2002).

Além da importância etnomedicinal, a *S. guianensis* se estabelece, também impulsionada pelas suas propriedades biológicas, como objeto de exploração econômica e consequentemente estudos científicos, como este. Esses fatores são contribuintes para garantir exploração consciente desta espécie, no que tange as garantias de conservação. A *S. guianensis* é considerada uma espécie pioneira no Brasil, além de ser tratada hoje como uma das espécies prioritárias para a conservação do cerrado brasileiro (Ronquim; Vital; Alvarez, 2011; Diniz, 2014).

## 2.2 Óleos essenciais

Vários autores se propuseram a definir o conceito de óleo essencial. Dentre eles, ainda no século passado, Guenther (1948), os definiu precisamente como óleos com características voláteis, obtidos através da destilação a vapor de plantas. Hoje, para além dessas definições, sabe-se que os OEs constituem um dos grupos mais importantes de matéria prima, para as indústrias alimentícias, farmacêuticas e de perfumaria. No Brasil, essa *commodity* tem ganhado cada vez mais força no mercado internacional, com destaque para exportações de OEs de laranja (Figura 4) (Bizzo; Rezende, 2022).

Figura 4 – Óleo essencial de laranja exportado do Brasil



Fonte: Comex Stat

Fonte: adaptado de (Bizzo; Rezende, 2022)

A composição dos OEs é altamente dependente da planta da qual eles são obtidos, mas no geral, ocorrem como uma mistura de hidrocarbonetos, terpenos, fenóis e aldeídos (Plant *et al.*, 2019). De acordo com Evans (2017) os OEs podem apresentar outras funções orgânicas oxigenadas, como os álcoois, cetonas e ésteres, com ocorrência determinada por diversos fatores, relacionados às características de cada planta.

Os OEs possuem características físicas muito marcantes, principalmente relacionado aos seus aromas, razão pelo qual são produtos de grande interesse das indústrias que pretendem explorar essas propriedades. No geral, são incolores, ou levemente amarelados, possuem aspecto oleoso e alta volatilidade, semelhante às de um álcool, líquidos à temperatura ambiente e possuem sabor ácido ou picante, apresentando baixa solubilidade em água, e instabilidade perante a luz e calor (Dhifi *et al.*, 2016; Moraes, 2009).

No que concerne a composição química desses óleos essenciais, geralmente possuem entre 20 e 60 componentes em diferentes concentrações, com alguns óleos podendo chegar a conter mais de 300 substâncias distintas. Contudo, os OEs geralmente apresentam dois ou três componentes majoritários, em altas concentrações, acima de 20%, quando comparado a outras substâncias presentes na sua composição (Chouhan; Sharma; Guleri, 2017). De acordo com Sousa, *et al.*, 2023, esses componentes majoritários são os principais responsáveis pela atividade biológica, encontrada em diversos OEs.

Um aspecto central, que rodeia a exploração comercial dos óleos essenciais é o controle de qualidade desses produtos. Com o aumento da divulgação de pesquisas sobre as propriedades benéficas dos OEs, os processos de adulteração tornam-se cada vez mais comuns. Geralmente, a adulteração ocorre com a substituição da planta original por uma alternativa, através da adição de produtos não voláteis, ainda, pode ocorrer com a adição de óleos vegetais, solventes e até OEs de menor custo. Portanto, o controle de qualidade desses produtos versa na autenticação dos óleos, através de vários métodos capazes de detectar essas alterações usuais, que vão desde análises mais simples, como a medição de densidade e o índice de refração, até provas de identificação e pureza mais robustas, como a análise de absorção através da técnica de UV e a cromatografia gasosa (Gomes, 2023; Sadgrove; González; Phumthum, 2022).

Indo além das explorações comerciais mais usuais, vê-se um aumento crescente no número de pesquisas sobre os OEs com alto potencial de atividade biológica. Essas aplicações têm abarcado as mais diversas áreas, como a de alimentos, agricultura e a medicina. A literatura mostra pesquisas de óleos essenciais com atividade antimicrobiana relevante, como em Abers *et al.*, (2021). Estudos recentes sobre a atividade antifúngica de diferentes OE também têm sido realizados, como nos trabalhos de Parker *et al.* (2022) e Martins; Bicas (2024). Recentemente, estudos *in vitro* sobre a atividade antiviral de OEs têm sido realizados, mostrando resultados promissores, com ações eficientes contra o SARS-Cov-2 e o Zika vírus (Zeljкови *et al.*, 2022; Sobrinho *et al.*, 2021).

No campo do agronegócio, a ânsia por alternativas menos danosas contra o meio ambiente, no combate de pragas, tem ocasionado estudos promissores envolvendo os OE, a exemplo das pesquisas sobre a atividade nematicida desses óleos. Segundo Addabbo; Avato (2021), os efeitos biológicos e farmacológicos dos OEs nessas espécies de seres vivos, está relacionado a sua lipofilicidade, que permite com que eles adentrem com facilidade nas células dos nematoides e interfiram na sua estatura celular. Os autores avaliaram a ação de óleos essenciais extraídos de 16 (dezesesseis) espécies vegetais, num período de 10 (anos), indicando um grande potencial de uso os OEs como medida efetiva no combate a nematoides de diferentes culturas.

Os efeitos antioxidante dos OEs também mostram grande potencial, sobretudo em aplicações alimentícias e medicinais (Tit; Bungau, 2023). No seu trabalho recente, Rosa *et al.* (2024), realizou testes com o OE de alecrim, associando o óleo com uma mistura hidratante fluída. Os estudos mostraram resultados positivos, através da redução do radical DPPH, para atividade antioxidante em ambos os casos.



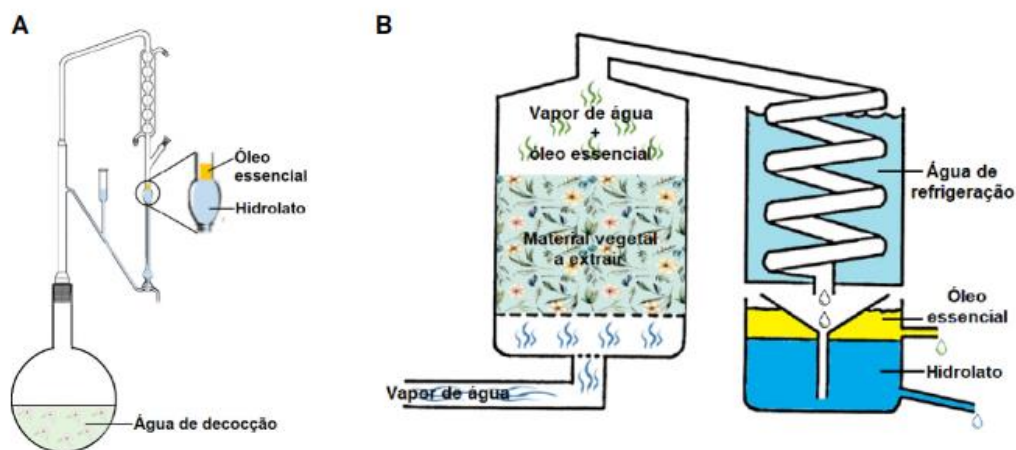
## 2.3 Métodos de extração e análise dos óleos essenciais

Como visto anteriormente, os OEs são misturas complexas de metabólitos voláteis, constituídos majoritariamente de terpenos e seus derivados oxigenados, além de fenóis, cetonas, aldeídos, álcoois e ésteres. Esse tipo de óleo é biossintetizado e armazenado em estruturas secretoras de plantas aromáticas, sendo que sua composição possui influência de fatores genéticos, fenológicos, ambientais e principalmente com o método de extração escolhido. Tais variáveis exigem protocolos padronizados de obtenção e análise para assegurar comparabilidade entre estudos (Evans, 2017; Baser; Bunchbauer, 2015).

No que concerne à extração dos OEs, ainda há a predominância, a nível acadêmico, da utilização de técnicas clássicas, contudo, elas têm cada vez mais coexistido com técnicas mais modernas, a depender das exigências e limitações específicas.

A hidrodestilação em aparelho de Clevenger, e a destilação por arraste de vapor, permanecem como referência metodológica na extração de OEs, sobretudo das plantas menos ricas em OEs, devido a uma série de fatores, como custo, simplicidade, reprodutibilidade e aderência a monografias farmacopeicas (Borges, 2024; Zhang; Guo 2020). A Figura 5 ilustra o processo de extração do OE pelo aparelho Clevenger e o sistema de destilação por arrastamento de vapor.

Figura 5 – Esquema das destilações por aparelho Clevenger e por arrasto de vapor



**A: Sistema de hidrodestilação com aparelho Clevenger; B: Sistema de destilação por arrastamento a vapor.**

Fonte: adaptado de Pedro; Figueiro; Barroso (2018)

Contudo, de acordo com Souiy (2023), a maioria dos métodos convencionais possuem limitações relevantes, como por exemplo a degradação de compostos insaturados e a perda de certos componentes. Traços como este, tem impulsionado o desenvolvimento de novas técnicas para extração de óleos essenciais, baseada nas particularidades das plantas e na qualidade do produto desejado.

Nesse sentido, várias metodologias alternativas para obtenção de óleos essenciais de qualidade, são reportadas na literatura, como a extração assistida por ultrassom, extração assistida por micro-ondas, extração a líquido pressurizado e por fluído supercrítico (Almeida-Couto *et al.*, 2022).

A extração com dióxido de carbono supercrítico, por exemplo, opera em temperaturas moderadas, com seletividade ajustável por pressão e temperatura, além de poder utilizar outros solventes supercríticos, como alguns alcanos, reduzindo degradação térmica e resíduos de solvente. O principal entrave é o investimento em equipamento e a necessidade de otimização por matriz vegetal. (Maldonado, 2022; Reverchon; De Marco, 2006).

Zhang e Guo (2020), fizeram a comparação dos componentes extraídos do óleo essencial da *Nelumbo nucifera*, por três técnicas distintas, a extração por headspace, a extração a vapor e a extração por solvente, em que observaram, através de CG-EM (cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas), diferentes compostos majoritários em cada uma das extrações, evidenciando que a técnica utilizada pode ser selecionada de acordo com o tipo de composto que se deseja obter.

No que concerne ao núcleo analítico dos OEs, a cromatografia gasosa é o principal instrumento utilizado, através da combinação CG-EM, principalmente pela identificação robusta, decorrente da concordância entre espectros de massa, advindos de bibliotecas, índices de retenção lineares medidos através de séries de alcanos, e quando possível, injeção com padrões comparativos (Adams, 2007; Sousa, 2020).

Neste método o óleo essencial é injetado, sem tratamento prévio, evitando assim, possíveis alterações em sua composição química, resultantes de pré-tratamento indevido. No cromatógrafo, os componentes do óleo essencial são separados, por partições em duas fases, uma fase móvel, e a outra fase estacionária, e o processo segue para o detector, responsável pela identificação da amostra, através dos espectros de massa (Steffens, 2010; Sousa, 2020).

Apesar desta predominância no uso da técnica combinada de CG-EM, outros métodos de análise de composição química de óleos essenciais são desenvolvidos em substituição ou em combinação ao mais tradicional – como a Cromatografia Líquida de Alta Performance (HPLC-UV), Cromatografia Gasosa e Líquida Multidimensionais, ainda, técnicas como a Ressonância Magnética Nuclear (RMN), que apresenta vantagens na análise de

estereoisômeros termolábeis – no intuito de aprimorar o entendimento dos constituintes dos óleos essenciais e suas propriedades (Fatima; Mushtaq, 2019; Balvovini; Tomi; Casanova, 2001 *apud* Fatima; Mushtaq, 2019).

#### 2.4 Extratos vegetais e atividade antioxidante

Observa-se que as plantas são promissoras fontes de interesse biológico e farmacológico, no que tange ao combate à ação de radicais livres, uma vez que podem produzir no seu metabolismo secundário, uma série de substâncias, com propriedades biológicas (Neves *et al.*, 2022). Essas substâncias presentes na composição química dos vegetais e seus subprodutos, controlam os radicais livres, devido as suas propriedades antioxidantes. Veja que os antioxidantes, são naturalmente produzidos pelo corpo humano, e são capazes de estabilizar, ou até mesmo desativar os radicais livres, prevenindo os ataques à nível celular (Sousa *et al.*, 2007).

De acordo com Oliveira *et al.* (2007, p. 267), pode-se definir os antioxidantes como: “substâncias que em pequenas concentrações, em comparação ao substrato oxidável, retardam ou previnem significativamente o início ou a propagação da cadeia de reações de oxidação”. Alternativamente, suas ações podem ser definidas pela capacidade de redução da oxidação, seja pela inibição de radicais livres, ou pela complexação de metais (Duarte-Almeida *et al.*, 2006).

Nessa linha, evidencia-se a importância dos estudos sobre o potencial antioxidante, sobretudo por sua relevância fisiológica, visto que há uma série de doenças e processos degenerativos, associados à superprodução de radicais livres no corpo humano e outros animais (Silva; Mourão, 2022). O estresse oxidativo tem sido associado a ocorrência de várias doenças, como as doenças de Parkinson e Alzheimer, complicações cardíológicas e até mesmo o câncer (Akgül *et al.*, 2022).

Os setores de cosméticos e farmacêuticos têm explorado cada vez mais essas propriedades biológicas, na tentativa de substituição dos antioxidantes sintéticos por alternativas naturais, principalmente de origem vegetal, o que tem dado origem a uma série de estudos de investigação acerca do potencial biológico de diversas espécies (Martins *et al.*, 2016).

Em seus estudos, Diab; Donia; Saad-Allah (2021) investigaram a atividade antioxidante de espécies nativas do Egito, verificando que o extrato vegetal (EV) da espécie *Suaeda vermiculata* mostrou os menores valores de concentração inibitória (IC<sub>50</sub>), no teste

com o DPPH, indicando os maiores índices de efetividade na atividade antioxidante, dentre as plantas testadas.

Os EVs da espécie *Syzygium cumini*, popularmente conhecida como jamelão, demonstraram potencial antioxidante relevante. Na comparação entre o extrato etanólico e o extrato aquoso da planta, o primeiro apresentou melhores resultados frente a inibição do radical livre ABTS, tendo sido constatada relação direta com a presença de compostos fenólicos, flavonoides e saponinas em sua composição, obtida através do método de Folin-Ciocalteu (Oliveira *et al.*, 2022).

Furtado *et al.*, 2021, avaliaram a atividade antioxidante de extratos das folhas e sementes da espécie *Citrullus lanatus* (melancia), através de teste *in vitro* envolvendo o sequestro do radical DPPH, nos quais as folhas apresentaram valores de  $IC_{50} = 62,70 \mu\text{g/mL}$  e as sementes  $IC_{50} = 194,58 \mu\text{g/mL}$ , valores que indicam uma atividade antioxidante baixa. As conclusões apontam que mesmo com alto teor de componentes fenólicos presentes nos extratos, uma alta atividade oxidante exige dentre outras condições, mecanismos adequados de ação dos compostos bioativos.

Pesquisas utilizando outras tecnologias associadas aos extratos biológicos também têm sido desenvolvidas, como no estudo de Rocha *et al.* (2023), cujo objetivo consistiu na preparação de biopolímeros comestíveis, associados aos EVs de duas espécies vegetais, a *Melissa officinalis* e a *Camellia sinensis*, que apresentaram ótima atividade antioxidante, mostrada pelo teste realizado com o método DPPH. Os autores mostraram ainda a preservação de massa e de aparência de frutas revestidas com a combinação do biopolímero a base de gelatina e os EVs.

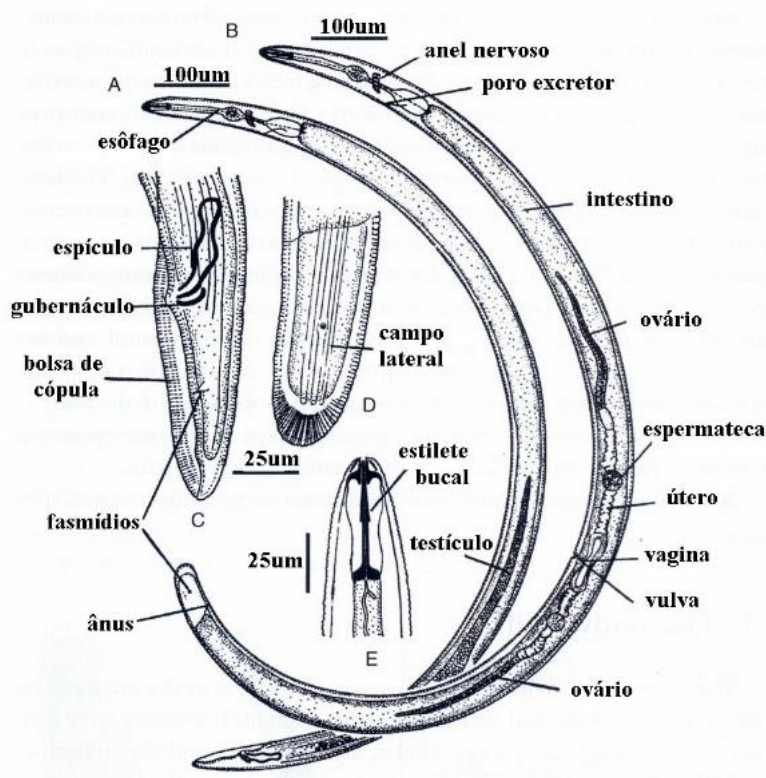
## 2.5 Nematoides e atividade nematicida

O termo nematoide é utilizado para designar os animais de corpo não segmentado, com medidas entre 0,1 mm até 8 m de comprimento, com estrutural corporal, no geral, cilíndrica (Koppenhöfer, 2007).

De forma geral, o ciclo de vida dos fitonematoides parasitas é composto por seis fases bem definidas, chamadas de estádios, sendo eles: ovo, juvenis (J1, J2, J3 e J4) e adulto. O juvenil do segundo estágio (J2), geralmente é a forma infectante, responsável por emergir do ovo, deslocando-se no solo e penetrando as raízes das plantas, onde estabelecem um sítio de alimentação permanente, constituído de células responsáveis pela nutrição (Silva, 2022; Oliveira; Kubo; Inomoto, 2016, p. 47).

A grande maioria dos nematoides tem atividade parasita, sendo que aqueles conhecidos por parasitar espécies vegetais, são conhecidos como fitonematoídes (Figura 6). Eles são classificados como endoparasitas, quando passam a maior parte do seu ciclo vital no interior das raízes das plantas, ou ectoparasitas, aqueles que se alimentam da parte externa das raízes (Pereira, 2022).

Figura 6 – Morfologia geral de um fitonematoíde fêmea



Fonte: Ferraz e Brown (2016)

De acordo Moreira *et al.* (2015), os nematoides do gênero *Meloidogyne* são os principais limitantes da produção agrícola mundial, em virtude do seu processo evolutivo, gerador de uma alta capacidade de adaptação a diversas condições de umidade e temperatura, colaborativas à sua reprodução. Em culturas populares no Brasil, como o caso da soja, os fitonematoídes de galhas, *Meloidogyne incógnita* e *Meloidogyne javanica* são as espécies com maior ocorrência nos solos brasileiros, variando somente em relação a sua predominância em diferentes regiões (Dias *et al.*, 2010).

O controle desses nematoides é um desafio árduo para o agronegócio atual. No Brasil, estima-se que em menos de 10 anos, essas espécies serão responsáveis por um prejuízo de R\$ 870 bilhões para a indústria (Ramos, 2022). A utilização de compostos químicos no controle de nematoides, apresenta hoje um custo elevado e baixa efetividade, além de ser responsável

pela degradação do meio ambiente, por meio da intoxicação de fontes fluviais, redução da biodiversidade, etc. (Moreira; Ferreira, 2015).

Nesse sentido, os estudos sobre fontes alternativas para o combate a fitonematoides têm crescido no Brasil, como é o caso dos estudos com substâncias fitoquímicas. Grande parte destes trabalhos, envolvem a experimentação com a utilização de EVs e exsudados radiculares, sendo que a maior parte são ambientalmente mais seguros ou demonstram menor toxicidade ao meio ambiente que os nematicidas químicos usuais (Castro, 2010). Contudo, há uma crescente nas pesquisas envolvendo a atividade nematicida envolvendo óleos essenciais de plantas, mesmo que de maneira controlada, uma vez que várias espécies vegetais têm apresentado substâncias com potencial nematicida (Borges, 2017).

Utilizando diferentes concentrações de óleo essencial de *Croton zehntneri* (canela), Araújo *et al.* (2016), em testes controlados, verificaram elevada mortalidade e nenhuma eclosão de ambas as espécies *Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne enterolobii*, em concentrações acima de 80 µL/ml, atestando potencial relevante do óleo essencial da planta frente aos nematoides citados.

Nos estudos de Albuquerque *et al.* (2021), todas as concentrações do óleo essencial de *Ruta graveolens*, popularmente conhecida como arruda reduziram de forma dose-dependente a eclosão de larvas do nematoide *Caenorhabditis elegans*, sendo que a concentração de 4% (v/v) foi a que demonstrou melhor resultado frente a eclosão das larvas, reduzindo-a em aproximadamente 95%. Os autores atribuíram a molécula de 2-undecanona, identificada majoritariamente no OE, como possível detentora de propriedades antinematoides, evidenciando o potencial de uso do OE da espécie pesquisada.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do trabalho é identificar os constituintes voláteis do óleo essencial da espécie *Siparuna guianensis* Aubl., bem como avaliar a atividade nematicida do OE e a atividade antioxidante dos extratos vegetais da planta.

#### 3.2 Objetivos Específicos

- Extrair o óleo essencial da folha de *S. guianensis* Aublet. por hidrodestilação em aparelho Clevenger;
- Preparar os extratos vegetais da folha de *S. guianensis* Aublet. em solução aquosa, etanólica e hidroetanólica;
- Identificar os constituintes químicos do óleo essencial pela comparação com a biblioteca NIST08 e do Índice Aritmético (AI);
- Avaliar a atividade nematicida do óleo essencial contra o *Meloidogyne enterolobii*;
- Verificar a atividade antioxidante dos extratos vegetais através dos métodos DPPH, ABTS e FRAP;

## 4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### 4.1 Coleta e preparação do Material vegetal

O material vegetal foi extraído entre os meses de março e abril de 2024 na zona rural do município de Morrinhos/GO, georreferenciados nas coordenadas 17°34'45.3"S 49°06'56.1"W. Inicialmente colheu-se em campo galhos inteiros da planta, e posteriormente realizou-se a separação das folhas frescas (Figura 7), que foram armazenadas em sacos plásticos para transporte até o laboratório, a fim de realizar-se a preparação para extração do óleo e do EV.

A planta foi identificada através do aplicativo para telefone móvel Pl@ntNet, através de imagens, que são submetidas a análise em banco de dados e por algoritmos computacionais.

Figura 7 – Folhas frescas da *S. guianensis*



Fonte: fotos do autor

### 4.2 Óleo Essencial

#### 4.2.1 Extração do óleo essencial de *S. guianensis*

O óleo essencial foi extraído através da técnica de hidrodestilação, utilizando um Aparelho de Destilação Clevenger (Figura 8). No total, foram realizadas 4 extrações, no Laboratório de Química Orgânica do IF Goiano – *Campus Morrinhos*, em ocasiões distintas, nos meses de março e abril de 2024, onde extraiu-se o OE de uma massa aproximada de 1,6 kg de folha de *S. guianensis* Aublet.



O procedimento padrão para extração do óleo essencial, executado em 4 ocasiões, consistiu na trituração das folhas frescas, alocadas dentro de dois balões de fundo redondo, cada um com 3 L, onde adicionou-se, ainda, aproximadamente 2 L de água destilada. Após, submeteu-se os balões com o material vegetal ao processo de destilação, durante 4 horas, ao final obteve-se o óleo, recolhido em um frasco previamente pesado, armazenado em congelador no término de cada extração. No mesmo procedimento, a fase aquosa foi coletada e submetida a extração, através de funil de separação, utilizando 5 mL de diclorometano, e realizando a filtragem da fase orgânica com sulfato de sódio anidro, onde obteve-se, após evaporação do solvente, porcentagem do óleo essencial extraído.

A massa de óleo obtida, foi medida em uma balança analítica. Para realizar o cálculo do rendimento do OE extraído, utilizou-se a seguinte equação:

$$Rendimento(\%) = \frac{Massado\acute{o}leoextraído}{Massadomaterialvegetal} \times 100\% \quad (1)$$

Figura 8 – Processo de hidrodestilação e óleo obtido



Fonte: fotos do autor

#### 4.2.2 Análise do óleo essencial através de CG-EM

O óleo essencial extraído foi submetido à análise para identificação de seus componentes utilizando-se um cromatógrafo a gás acoplado à espectrômetro de massas utilizando uma adaptação do método de Adams (2007). O cromatógrafo utilizado foi da marca Perkin Elmer, modelo Clarus 680, acoplado ao espectrômetro de massas SQ8S,

equipado com coluna capilar Elite 5, com as dimensões de 30m x 0,25mm x 0,25µm, além de um injetor Split, modo 1:20. Utilizou-se o hélio como gás de arraste com fluxo constante de 1,0 mL min<sup>-1</sup>, e a temperatura do injetor foi mantida em 220°C. Foram injetados 1 µL de amostra, preparada pela diluição de 5 µL do OE em 1,5 mL de diclorometano. Programou-se o forno a temperatura de 60°C, seguida por um gradiente de aquecimento de 3°C por minuto, até os 246°C, mantendo a temperatura constante. A ionização foi realizada no modo EI<sup>+</sup> (impacto eletrônico) com a fonte de íons e a linha de transferência do espectrômetro de massas ajustada para 220°C. A faixa de varredura foi de 50 *m/z* a 450 *m/z*, no modo MS Scan.

#### 4.2.3 Determinação da composição química do óleo essencial

Após o procedimento de separação e análise dos componentes do óleo essencial através da CG-EM, realizou-se a identificação destes componentes, através do cromatograma e dos espectros de massa obtidos. Comparou-se os espectros de massa dos compostos separados na cromatografia gasosa àqueles da biblioteca de referência NIST, integrada ao próprio instrumento. Complementarmente, calculou-se o índice de retenção (IR), um fator importante na identificação de compostos.

O índice de retenção (IR) é um valor obtido através da interpolação, que relaciona o tempo de retenção do componente estudado, com o tempo de retenção de dois padrões, no caso deste estudo, uma série padrão de alcanos, de 7 a 30 carbonos. Os tempos de retenção (RT) desse padrão são aqueles antes e depois da eluição do pico do composto de interesse (Viegas; Bassoli, 2007). Esse índice tem como base o Índice de Kovats, (1958), calculado sob condições isotérmicas de temperatura, tendo sido adaptado por Van den Dol e Kratz, em 1963, na utilização de temperaturas programadas de coluna e suas variações durante o processo. O cálculo do IR foi realizado através da seguinte equação:

$$RI=100 \times \left( \frac{t_c \cdot t_n}{t_{n+1} \cdot t_n} + n \right) \quad (2)$$

Considerando que:

- $t_c$ : tempo de retenção do componente analisado
- $t_n$ : tempo de retenção do alcano eluído em tempo de retenção anterior a  $t_c$
- $t_{n+1}$ : tempo de retenção do alcano eluído em tempo de retenção posterior a  $t_c$
- $n$ : número de carbonos do alcano eluído em  $t_n$

Os valores de IR, obtidos para cada componente investigado, foram comparados com valores encontrados em Adams (2007), que traz o índice na notação como “AI”, abreviação para “Arithmetic Index”. A biblioteca de Adams mostra índices calculados em uma coluna J&W DB-5, apolar, fase estacionária 5% diphenyl/95% dimethyl polysiloxane, equivalente a coluna Elite 5, utilizada neste estudo.

#### 4.3 Avaliação da atividade antioxidante do Extratos Vegetais de *S. guianensis*

##### 4.3.1 Preparação dos Extratos Vegetais

Para a preparação dos EVs voltados para a análise da atividade antioxidante, utilizou-se a metodologia descrita em Vieitez *et al.* (2018) com adaptações. Utilizou-se as folhas secas da *S. guianensis*, na preparação de três extratos distintos: aquoso, etanólico e hidroetanólico (50/50), a partir da razão inicial de 1:20 da folha da planta por volume de cada um dos solventes.

A preparação padronizada dos extratos iniciou-se a partir da secagem das folhas em estufa, no Laboratório de Química Inorgânica do IF Goiano – *Campus Morrinhos*, na temperatura média de 35°C, até a remoção da maior parte da umidade. Em seguida, as folhas secas, foram transportadas para a central analítica do mesmo *Campi*, onde foram trituradas em moinho de facas do tipo willye da marca Fortinox modelo Star FT 50, obtendo-se o material em formato de pó. Em seguida, preparou-se os extratos nas seguintes proporções:

- *Extrato aquoso*: adicionou-se 1,0020 g de folha de *S. guianensis* triturada a um erlenmeyer de 50 mL, além de 20 mL de água ultrapura.
- *Extrato etanólico*: adicionou-se 1,0029 g de folha de *S. guianensis* triturada a um erlenmeyer de 50 mL, além de 20 mL de etanol absoluto.
- *Extrato hidroetanólico*: adicionou-se 1,0063 g de folha de *S. guianensis* triturada a um erlenmeyer de 50 mL, além de 10 mL de água ultrapura e 10 mL de etanol absoluto.

Na sequência, os extratos foram colocados para agitação, em mesa agitadora da marca Tecnal modelo TE – 140I, em temperatura ambiente, durante uma hora. Por último, a extração seguiu, com a submissão dos extratos à filtração simples, com papel de filtro nº 4 Unifil, conforme mostram as Figuras 9 e 10. Após o processo, ajustou-se o volume final

para 50 mL com o solvente utilizado em cada caso, mantendo-os armazenados fora do alcance da luz, selados e refrigerados em congelador, abaixo de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Figura 9 – Agitação dos extratos



Fonte: fotos do autor

Figura 10 – Filtragem dos extratos



Fonte: fotos do autor

#### 4.3.2 Método do DPPH

O método para determinação da atividade antioxidante total pela captura do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) foi realizado conforme Bozin *et al.* (2006), com as devidas adaptações. Foi preparada a solução de DPPH, dissolvendo-se 5,0 mg de DPPH em álcool metílico e completando o volume para 250 mL em balão volumétrico com o mesmo solvente. A solução de trabalho foi mantida em frasco coberto com folha de alumínio, protegido da luz, e conservada em refrigeração.

Para preparo das amostras, efetuou-se a diluição em balão volumétrico de 5 mL, adicionando 20 µL da amostra e completando o volume com metanol. Antes de cada sequência de leituras o espectrofotômetro foi calibrado (zerado) com metanol e as medições foram realizadas a 515 nm. A solução controle foi preparada com 750 µL de metanol acrescidos de 1,5 mL da solução de DPPH e a absorbância do controle foi lida sempre antes das análises.

A determinação da atividade antioxidante foi realizada em triplicata, utilizando cada extrato. Para cada amostra preparou-se um branco composto por 750 µL da amostra e 1,5 mL de metanol, cuja absorbância foi determinada. Para a análise final, misturou-se uma alíquota de 1 µL da amostra com 1,5 mL da solução de DPPH e a absorbância foi medida após 20 minutos de incubação à temperatura ambiente e protegida da luz. Todos os procedimentos foram realizados ao abrigo da luz e em temperatura ambiente.

A porcentagem de descoloração do DPPH foi calculada segundo a Equação 3 e o valor de IC<sub>50</sub> foi obtido por interpolação linear conforme a Equação 4.

$$\%descoloração = \left[ 1 - \left( \frac{Abs_{amostra} - Abs_{branco}}{Abs_{controle}} \right) \right] * 100 \quad (3)$$

$$IC_{50} = C_1 + \left( \frac{50 - D_1}{D_2 - D_1} \right) * (C_2 - C_1) \quad (4)$$

Considerando que:

- IC<sub>50</sub>: concentração do composto necessária para promover 50% de inibição da resposta biológica avaliada;
- C<sub>1</sub>: concentração do composto que produz um percentual de inibição imediatamente inferior a 50%;
- C<sub>2</sub>: concentração do composto que produz um percentual de inibição imediatamente superior a 50%;
- D<sub>1</sub>: percentual de inibição observado na concentração C<sub>1</sub>;

- $D_2$ : percentual de inibição observado na concentração  $C_2$ .

#### 4.3.3 Método do radical ABTS

Seguindo, o método para determinação da atividade antioxidante através da captura do radical ABTS (2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)) também foi extraído de Rufino *et al.*, (2007), realizando-se as devidas adaptações. De início fez-se o preparo das seguintes soluções:

- Solução estoque de ABTS 7 mM: dissolveu-se 192 mg de ABTS em água destilada até completar o volume de 50 mL em um balão volumétrico;
- Solução de persulfato de potássio 140 mM: dissolveu-se 378,4 mg de persulfato de potássio em água destilada até completar o volume de 10 mL em um balão volumétrico;
- Solução de trabalho do Radical ABTS: reagiu-se 5 mL da solução de ABTS com 88  $\mu$ L da solução de persulfato de potássio. A mistura foi mantida no escuro, à temperatura ambiente, por 16 horas, na sequência diluiu-se 1 mL da mistura em álcool etílico até obter-se uma absorbância de 0,70 nm  $\pm$  0,05 nm a 734 nm;
- Solução padrão de trolox 2 mM: dissolveu-se 25 mg de trolox em etanol, completando o volume para 50 mL em um balão volumétrico.

A partir da solução padrão de trolox (2.000  $\mu$ M), preparou-se, em balões volumétricos de 10 mL, soluções variando a concentração de 100  $\mu$ M a 1500  $\mu$ M, conforme a Tabela 1:

Tabela 1 – Preparo das soluções para curva-padrão de Trolox.

Solução padrão de trolox (mL)	Etanol (mL)	Concentração ( $\mu$ M)
0,5	9,5	100
2,5	7,5	500
5,0	5,0	1000
7,5	2,5	1500
10	0	2000

Fonte: adaptado de Rufino *et al.*, (2007)

Utilizando uma alíquota de 30  $\mu\text{L}$  de cada concentração de trolox, e 3,0 mL da Solução de trabalho do Radical ABTS, fez-se a leitura no espectrofotômetro Thermo Scientific modelo Genesys 10 S, a 734 nm, após 6 minutos de cada mistura, utilizando o etanol como branco para calibração. A curva padrão foi plotada, e a partir dos dados calculou-se a absorbância referente a 1000  $\mu\text{M}$  de trolox.

Para a determinação da atividade antioxidante total, utilizou-se os 3 (três) extratos preparados, com diferentes solventes, realizando os testes em triplicata. Para cada análise, transferiu-se uma alíquota de 1  $\mu\text{L}$  de cada diluição dos extratos e 3,0 mL da Solução de trabalho do Radical ABTS, fazendo a leitura nas mesmas condições do preparo do padrão, após 6 minutos da mistura, a 734 nm e utilizando etanol para calibrar o espectrofotômetro. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{M}$  trolox / g.

#### 4.3.4 Método FRAP

O método de análise da atividade antioxidante, através do poder de redução do ferro (FRAP), considerada uma das técnicas mais reprodutivas dentre as usuais (DPPH, ABTS, dentre outras). A metodologia utilizada também foi extraída de Rufino *et al.*, (2007), com as devidas adaptações. Foi realizado o preparo inicial das seguintes soluções:

- Solução de HCl: para 1 L de água destilada utilizou-se 3,34 mL de HCl concentrado;
- Solução de TPTZ (2,4,6-tri(2-piridil) -1,3,5-triazina) 10 mM: dissolveu-se 3,12 g de TPTZ em 5 mL de HCl 40 mM;
- Solução de Cloreto férrico 20 mM: dissolveu-se 5,4 g de cloreto férrico em água destilada, completando o balão de 1 L;
- Tampão Acetato 0,3 M, pH 3,6: dissolveu-se 3,1 g de acetato de sódio em 16 mL ácido acético glacial, completando o balão de 1 L com água destilada;
- Solução do reagente FRAP: utilizou-se 25 mL do Tampão Acetato preparado, com 2,5 mL de Solução TPTZ e 2,5 mL de Solução de cloreto férrico;
- Solução padrão de Sulfato Ferroso 2 mM: dissolveu-se 27,8 mg de sulfato ferroso em água destilada, completando com água para um balão de 50 mL;

Na construção da curva-padrão do sulfato ferroso, utilizou-se a solução preparada do sulfato ferroso 2 mM, em concentrações de 500  $\mu\text{M}$  a 2000  $\mu\text{M}$ . Os dados organizados estão na Tabela 2:

Tabela 2 – Preparo das soluções para curva-padrão de sulfato ferroso

Solução padrão de sulfato ferroso (mL)	Água destilada (mL)	Concentração final ( $\mu\text{M}$ )
2,5	7,5	500
5,0	5,0	1000
7,5	2,5	1500
10	0	2000

Fonte: adaptado de Rufino *et al.*, (2007)

Em ambiente escuro, transferiu-se 90  $\mu\text{L}$  de solução em cada concentração para tubos de ensaio. Em seguida, adicionaram-se 270  $\mu\text{L}$  de água destilada e 2,7 mL do reagente FRAP. As amostras foram homogeneizadas em agitador de tubos e incubadas em banho-maria a 37 °C por 30 minutos. Após esse período, realizou-se a leitura da absorbância a 595 nm, utilizando o reagente FRAP como branco para calibração do espectrofotômetro.

Para a verificação do potencial antioxidante total, utilizou-se os 3 (três) extratos preparados (etanólico, aquoso e hidroetanólico), realizando-se os testes em triplicata. Utilizou-se alíquotas de 2  $\mu\text{L}$  dos extratos em diferentes solventes. Para cada triplicata, adicionou-se ainda aos tubos de ensaio 270  $\mu\text{L}$  de água destilada e 2,7 mL do reagente FRAP. Mantendo as condições de ausência de luzes artificiais, homogeneizou-se as amostras em agitador de tubos e depois elas foram colocadas em banho-maria a 37 °C por 30 minutos. Após esse período, realizou-se a leitura da absorbância a 595 nm, utilizando o reagente FRAP como branco para calibração do espectrofotômetro. Através dos resultados da curva padrão e os dados coletados de absorbância de cada triplicata, obteve-se resultados expressos em  $\mu\text{M}$  sulfato ferroso/g.

#### 4.4 Avaliação da atividade nematicida do OE de *S. guianensis*

Este estudo foi conduzido em condições controladas *in vitro* no Laboratório de Nematologia do Instituto Federal Goiano – Campus Morrinhos, localizado no município de Morrinhos, Goiás.

##### 4.4.1 Preparação e multiplicação do inóculo de *Meloidogyne enterolobii*

A população de nematoides selecionada já havia sido identificada anteriormente como *Meloidogyne enterolobii*, com base nas características da enzima esterase, utilizando a técnica



de eletroforese de isoenzimas, conforme descrito por Orstein e Davis (1964) (Machado; Silva; Ferraz, 2019). Os ovos de *M. enterolobii* para este experimento foram obtidos a partir das raízes da variedade de jiloeiro verde-claro, cultivadas em casa de vegetação durante um período de 60 dias.

O processo de extração dos ovos seguiu a metodologia proposta por Boneti e Ferraz (1981). Inicialmente, as raízes foram cuidadosamente fragmentadas em pedaços de aproximadamente um centímetro, totalizando cerca de 10 gramas de material. Esses fragmentos foram então triturados em um liquidificador, onde foram misturados com 200 mL de uma solução contendo 0,5% de NaOCl, sendo o processo realizado por um intervalo de 20 segundos. A mistura resultante foi passada por peneiras de 200 e 500 mesh, sendo a fração retida após a peneira de 500 mesh cuidadosamente coletada. Posteriormente, essa fração foi submetida a um exame minucioso sob microscópio de luz, com aumento de 100 vezes, utilizando uma lâmina de contagem de nematoides de Peters. A concentração do inóculo foi ajustada para 80 ovos por mL<sup>-1</sup>, usando uma câmara de Peters sob microscópio de luz com objetiva de 10x, totalizando aumento de 100 vezes.

#### 4.4.2 Montagem do experimento

No âmbito laboratorial, foi conduzida uma avaliação do impacto do OE de *S. guianensis* na eclosão de juvenis (J2). A avaliação ocorreu em tubos de ensaio de 10 mL (25 x 150 mm) e empregou diferentes concentrações do OE para verificar sua eficácia.

Uma suspensão de 1 mL, contendo 80 ovos de *M. enterolobii*, foi colocada nos tubos de ensaio. Em seguida, por meio de uma micropipeta, foram incorporadas as concentrações estabelecidas do OE (0, 2,5, 5,0, 10,0, 20,0 e 50,0 µL). No tratamento controle (0 µL), a suspensão de ovos foi misturada com 1 mL de água destilada. O experimento foi então colocado em uma câmara de incubação do tipo B.O.D., a 26 °C, mantida no escuro, durante 5 dias.

#### 4.4.3 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido por meio de um delineamento inteiramente casualizado, composto por seis tratamentos e cinco repetições, totalizando 30 unidades experimentais. Cada unidade consistiu em um tubo de ensaio de 10 mL de capacidade, com dimensões de 25 x 150 mm. As avaliações foram realizadas após 5 dias, contabilizando-se os juvenis eclodidos vivos e mortos.

Os dados foram tabulados e analisados utilizando o teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Essa análise foi realizada com base nas médias das características avaliadas. Os dados foram analisados com o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2014).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Óleo Essencial

#### 5.1.1 Rendimento do óleo essencial

O cálculo do rendimento em qualquer processo químico é fundamental para a avaliação da sua eficiência. No caso dos óleos essenciais, que apresentam grande potencial econômico, esse parâmetro ainda é usado como avaliador da viabilidade econômica, controle de qualidade e o desenvolvimento de novas pesquisas comparativas, avaliando os métodos de extração (Santos *et al.*, 2004).

Com o intuito de investigar o rendimento do óleo essencial da *S. guianensis*, extraído através da hidrodestilação, comparou-se a massa de folha fresca com a massa obtida de óleo, ao final das 4 (quatro extrações). Os teores dos componentes voláteis do OE da *S. guianensis* foram avaliados entre os meses de março e abril, que representam o final da estação chuvosa na região sul goiana. Os valores de rendimento estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Rendimento do OE de *S. guianensis* extraído entre os meses de março e abril de 2024

Período	Massa de folha utilizada (g)	Massa do óleo obtido (g)	Rendimento (%)
mar/abr 2024	1.625,12	3,0903	0,19%

Fonte: o autor

O rendimento da composição volátil das folhas da negramina é altamente influenciado pela sazonalidade, em função da sua fenologia e da meteorologia do local onde ela ocorre. No caso da *S. guianensis*, a ocorrência da espécie vai desde a América Central, na Nicarágua, passando pelo norte da América do Sul até o Paraguai, no Brasil, incluindo estados como Amazonas, Goiás, Mato Grosso e até o Paraná (Renner e Hausner *apud* Valentini, 2010a).

Diante disso, os valores de rendimentos encontrados como referência, para a espécie analisada, mostram muitas variações. A literatura analisada confirma essa previsão, apresentando o rendimento dos componentes voláteis do OE, bastante variado, sendo que os valores mais próximos do observado neste trabalho podem ser vistos na Tabela 4:

Tabela 4 – Rendimento do OE da *S. guianensis* em diferentes regiões e meses do ano

<b>Região</b>	<b>Período (mês)</b>	<b>Rendimento</b>	<b>Autor(es)</b>
Roraima	ago	0,17%	Martins (2016)
Mato-Grosso	jan	0,21%	Valentini <i>et al.</i> (2010b)
Tocantins	abril	0,20%	Santos <i>et al.</i> (2023)
Minas Gerais	mar	0,19%	Castellani (2006)

Fonte: o autor

Os rendimentos observados na Tabela 4, assim como o obtido neste estudo, apresentam valores considerados baixos, principalmente se comparados a outros valores encontrados na literatura de referência, como: 6,6% em Diniz (2014) e 6,8%, obtidos por Montanari (2010), ambos referentes ao OE de *S. guianensis*. No entanto, observa-se, que os valores obtidos nesses estudos são de extrações do OE a partir de plantas colhidas no período mais seco do ano, ambos na região de Viçosa/MG, enquanto, os demais valores de rendimento em torno de 0,2%, incluindo o deste trabalho, foram obtidos de extração de plantas colhidas nos períodos mais chuvosos, nas respectivas regiões do Brasil.

Desta forma, sugere-se que a pluviosidade é um fator relevante na obtenção de componentes voláteis do OE da negramina, indicando que os volumes de chuva afetam diretamente a produção volátil da planta. As menores produções de OE, segundo Castellani (2006), podem estar associadas a limitações de recursos, observadas nos períodos de chuva, onde a produção do OE estaria concorrendo com drenos, como frutos e brotos, no que concerne ao gasto energético. Contudo, essa relação entre os períodos vegetativos/ reprodutivos e o volume de chuva ainda gera controvérsia, nos trabalhos analisados sobre o OE da *S. guianensis*.

É o caso dos estudos de Valentini *et al.* (2010b), que sugere, através de dados obtidos em extrações mensais, menor produção de compostos voláteis no período vegetativo da planta, o que confronta diretamente as observações de Castellani (2006). O trabalho de Martins (2016), contradiz as duas proposições, indicando que o maior rendimento obtido nos seus estudos, teria sido em um período seco, durante o período vegetativo, porém sem apresentar brotos, flores ou frutos. Em trabalhos mais recentes, como o de Santos (2023), essa questão continua inconclusiva. O autor apenas determina que os fatores climáticos, como a temperatura e a pluviosidade influenciam diretamente no rendimento do óleo essencial.

### 5.1.2 Identificação dos componentes do óleo essencial de *S. guianensis*

A identificação dos componentes voláteis do óleo essencial de *S. guianensis*, extraído das plantas colhidas entre os meses de março e abril de 2024, ao final da estação chuvosa no sul de Goiás, foi realizada através da análise dos picos presentes no cromatograma obtido da técnica de CG-EM (Figura 11), e seus respectivos tempos de retenção (TR). Como mostra a figura, o recorte temporal onde houve retenção dos componentes do OE, iniciou-se próximo dos 2 min e apresentou picos relevantes até a faixa dos 56 min, considerado nesta análise.

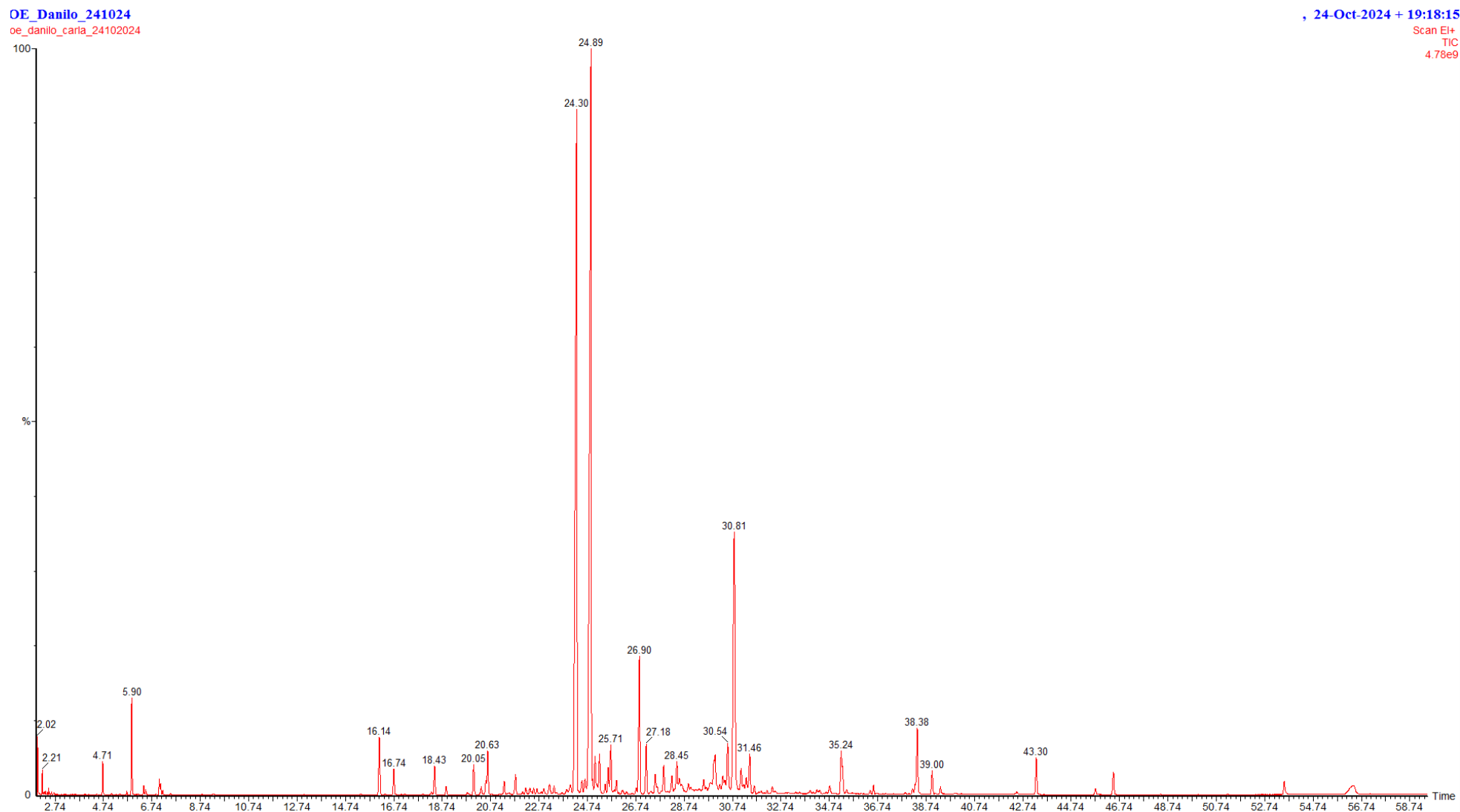
Nesse sentido, a partir do tratamento dos dados obtidos da técnica analítica CG-EM, foi possível realizar a identificação dos constituintes voláteis do OE, compilados na Tabela 5. Os componentes foram organizados conforme a ordem crescente do tempo de retenção (TR), apresentando cada nomenclatura usual, fórmula molecular, índice de retenção (IR) e a área quantificada.

Avaliando os compostos identificados, de acordo com o grupo químico pertencente, tem-se que 12,1% correspondem a monoterpenos, 45,4% a sesquiterpenos, 27,3% a sesquiterpenoides oxigenados e o restante à outras substâncias, como alcanos e diésteres. Logo, a análise dos componentes voláteis encontrados no OE de *S. guianensis* mostra que a maior parte dos compostos identificados integram o grupo dos terpenos. Esse é um resultado esperado quando se analisa a composição de óleos essenciais, uma vez que há uma predominância desse grupo e dos seus derivados, na composição dos óleos das mais variadas espécies vegetais (Rizzo; Hovell; Rezende, 2009).

O grupo dos terpenos é considerado o grupo com maior quantidade e diversidade de compostos orgânicos naturais, e juntamente com os fenilpropanoides, conferem as características organolépticas aos OE. Nas plantas, por exemplo, tais moléculas orgânicas são produzidas como metabolismo secundários, no combate ao ataque de agentes externos (Felipe; Bicas, 2016). Na verdade, as reações envolvendo a produção desses compostos voláteis, em especial, os terpenóides, parece ter relação direta no controle do estresse oxidativo no metabolismo vegetal, a partir da regulação dos níveis das chamadas espécies reativas de oxigênio (ROS), sobretudo na proteção contra o estresse abiótico, advindo das condições climáticas, nutricionais, dentre outras, sob as quais as plantas estão submetidas (Boncan, *et al.*, 2020).

As diversas classes de terpenos, se dividem em função do número de unidades isoprênicas ( $C_5H_8$ ), que se ligam entre si. As classes mais comuns são os monoterpenos ( $C_{10}$ ), os sesquiterpenos ( $C_{15}$ ) e os diterpenos ( $C_{20}$ ). Os sesquiterpenos, predominantes

no OE analisado neste estudo, possuem volatilidade acentuada, característica fundamental no aroma de produtos naturais, como frutas e ervas, a exemplo da própria negramina. Porém, como visto nos compostos encontrados neste estudo, os terpenos podem estar ainda associados ao oxigênio, dando origem aos terpenóides, como é o caso dos compostos que apresentam diferentes funções oxigenadas, como os álcoois, aldeídos, cetonas e éteres (Forezi, *et. al*, 2022; Felipe; Bicas, 2016).

Figura 11 – Cromatograma do óleo essencial de *S. guianensis* Aublet.

Fonte: dados da pesquisa

Tabela 5 – Compostos identificados via CG-EM

Pico	TR (min)	Nome do composto	Fórmula molecular	IR		Área (%)
				Calculado	Adams (2007)	
1	2,018	Heptane	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	700	700	0,7
2	2,208	n.i	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	729	-	0,4
3	4,709	1R- $\alpha$ -pinene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	935	932	1,0
4	5,905	Myrcene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	991	988	3,5
5	7,050	D-limonene	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub>	1030	1024	0,4
6	16,144	n.i	-	1279	-	2,2
7	16,739	2-Undecanone	C <sub>11</sub> H <sub>22</sub> O	1294	1293	1,9
8	18,430	$\delta$ -elemene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1335	1335	1,0
9	18,905	$\alpha$ -cubebene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1347	1345	0,2
10	20,046	$\alpha$ -copaene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1375	1374	0,7
11	20,361	$\beta$ -bourbonene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1383	1387	0,3
12	21,306	$\alpha$ -gurjunene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1406	1409	0,2
13	21,776	E-Caryophyllene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1418	1417	0,3
14	23,377	Aromandendrene <allo>	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1458	1458	0,1
15	24,302	$\gamma$ -muurolene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1481	1478	26,2
16	24,522	$\beta$ -selinene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1487	1489	0,1
17	24,642	cis- $\beta$ -Guaiene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1490	1492	0,3
18	24,892	Elixene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1496	1492*	24,2
19	25,058	(Z)- $\alpha$ -bisabolene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1500	1506	1,2
20	25,243	Bulnesene < $\alpha$ ->	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1505	1509	0,6
21	25,483	$\gamma$ -cadinene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1511	1513	0,3
22	25,713	$\beta$ -cadinene	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1517	1518**	1,8
23	25,948	$\alpha$ -irone	C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O	1524	1520	0,4
24	26,898	Elemol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	1549	1548	2,6
25	27,178	Germacrene B	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub>	1556	1559	0,9
26	27,549	n.i	-	1566	-	0,4



27	27,904	Spathulenol	C <sub>15</sub> H <sub>24</sub> O	1575	1577	0,3
28	28,229	Globulol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	1583	1590	0,1
29	28,449	n.i	-	1589	-	1,7
30	28,924	Ledol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	1602	1602	0,1
31	29,554	Cubenol <1,10-di-epi->	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	1619	1618	0,2
32	30,024	n.i	-	1632	-	0,5
33	30,550	α-cadinol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	1646	1652	1,6
34	30,810	β-eudesmol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	1653	1652	8,0
35	31,100	n.i	-	1661	-	0,3
36	31,455	Bulnesol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	1671	1670	0,7
37	31,645	n.i	-	1676	-	0,2
38	32,390	Shyobunol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	1696	1688	0,2
39	34,766	Drimenol	C <sub>15</sub> H <sub>26</sub> O	1765	1766	0,1
40	35,237	n.i	-	1778	-	0,6
41	35,292	Eudesmol acetate <γ->	C <sub>17</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	1780	1783	0,4
42	36,567	n.i	-	1817	-	0,1
43	38,383	n.i	-	1872	-	1,4
44	38,998	n.i	-	1891	-	0,3
45	39,338	n.i	-	1901	-	0,1
46	43,295	n.i	-	2027	-	0,4
47	46,486	n.i	-	2133	-	0,3
48	53,559	Adipol 2EH	C <sub>22</sub> H <sub>42</sub> O <sub>4</sub>	2406	2398***	0,6

Nota: TR: tempo de retenção; n.i: não identificado; IR: índice de retenção; \*IR utilizado de Yu *et al.*, 2007 (NIST); \*\* IR de Skaltsa *et al.*, 2003; \*\*\*IR utilizado da NIST.

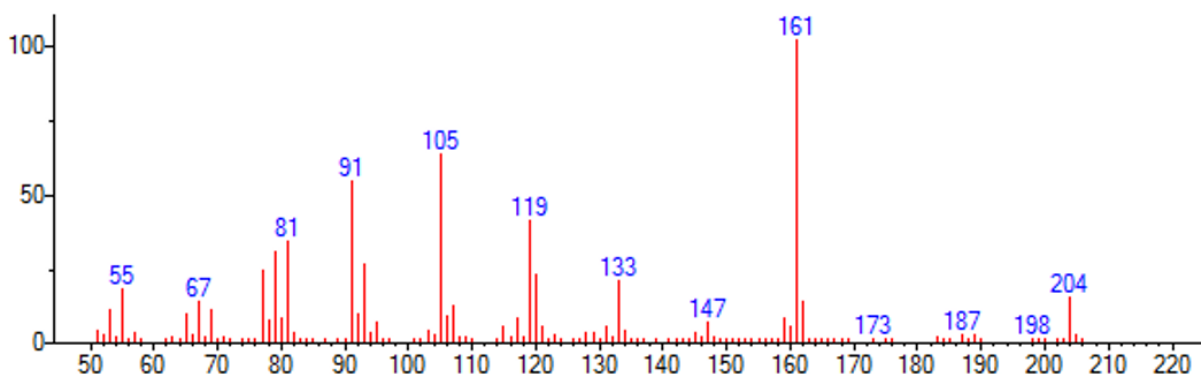
Fonte: dados da pesquisa

Na composição química do OE de *S. guianensis* identifica-se dois componentes majoritários, que juntos correspondem a mais da metade de toda composição volátil do óleo. O primeiro componente é o  $\gamma$ -muurolene, com o percentual de 26,2% das substâncias quantificadas do OE. Esse composto é um sesquiterpeno, encontrado no óleo essencial de diversas espécies vegetais, como em Zuccoloto *et al.* (2019), onde o  $\gamma$ -muurolene aparece como componente majoritário do OE de três espécies *Baccharis*, onde esteve associado a atividade oxidante do óleo. O  $\gamma$ -muurolene figurou como composto majoritário no óleo essencial de *Protium ovatum*, cujo OE apresentou relevante propriedade antifúngica (Rodrigues *et al.*, 2023).

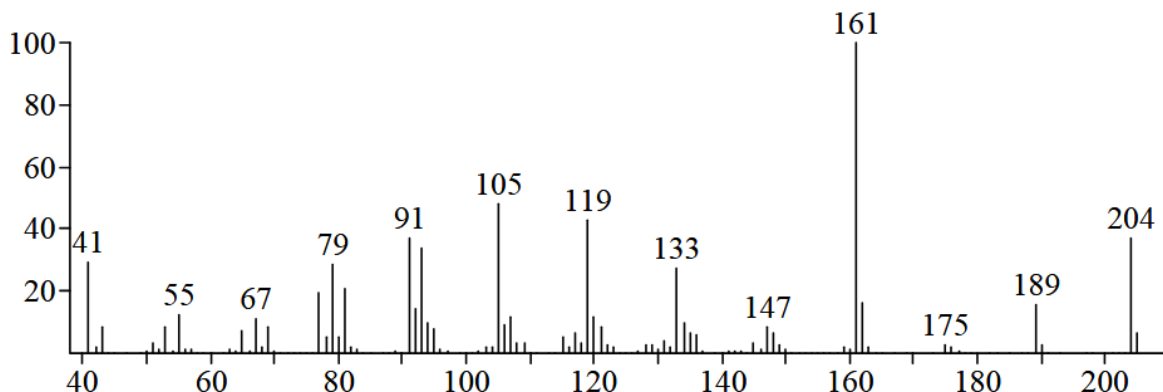
O segundo composto mais abundante no OE de *S. guianensis* foi o elixene, com percentual de 24,2%, um sesquiterpeno insaturada de fórmula molecular  $C_{15}H_{24}$ . A literatura mostra que o elixene está presente, de forma majoritária, em OE de diversas espécies vegetais do gênero *Eugenia*. Em Ferreira *et al.* (2021), o elixene foi o principal composto do OE da espécie *Eugenia involucrata*, cujo óleo demonstrou considerável atividade antioxidante, através dos testes com o radical ABTS e com DPPH. Nos estudos de Toledo *et al.* (2020), o elixene teve o percentual de 26,53% do OE, além da sugerir considerável efeito antioxidante, o óleo da espécie *Eugenia involucrata* DC também demonstrou alto potencial antimicrobiano. Outra espécie relevante, que mostra a presença do elixene foi a *Eugenia platysema*, cujo OE apresentou o elixene como composto majoritário (9,16%), como mostra o trabalho de Tenfen *et al.* (2015).

Nesse sentido, vale apresentar uma análise detalhada dos espectros de massa do componente mais abundante na amostra. Nas Figuras 12 e 13, podemos visualizar os espectros de massa do composto identificado em TR = 24,3 min e do  $\gamma$ -muurolene, com o pico do íon molecular em  $m/z$  204.

Figura 12 – Espectro de Massa do composto identificado no TR 24,3 min



Fonte: dados da pesquisa

Figura 13 – Espectro de Massa do  $\gamma$ -muurolene

Fonte: Adams (2007)

Podemos observar as seguintes fragmentações a partir dos picos do espectro:

- $m/z$  189: perda de uma molécula de  $\text{CH}_3$
- $m/z$  175: perda de um grupo  $\text{C}_2\text{H}_5$
- $m/z$  161: formação do pico base: perda de um grupo  $\text{C}_3\text{H}_7$
- $m/z$  147: perda de um grupo  $\text{C}_4\text{H}_9$
- $m/z$  133: perda de um grupo  $\text{C}_5\text{H}_{11}$
- $m/z$  119: perda de um grupo  $\text{C}_6\text{H}_{13}$
- $m/z$  91: rearranjo para íon tropílio

Além dos compostos majoritários, destaca-se na composição química do OE de *S. guianensis*, o  $\beta$ -eudesmol (8%), um composto aromático pertencente a classe dos sesquiterpenoides, presente em diversas plantas medicinais, como *Pterocarpus santalinus*, *Ginkgo biloba* e *Nardostachys jatamansi* (Li *et al.*, 2013). O  $\beta$ -eudesmol apresenta relevante ação antioxidante e anti-inflamatória tem reconhecido efeito no sistema nervoso e demonstra potencial anticâncer relevante tanto em testes *in vitro* quanto *in vivo* (Kim, 2018; En-Long *et al.*, 2008; Narahara *et al.*, 2020).

O mirceno (3,5%) também é um dos compostos presentes na amostra do OE analisado, sendo caracterizado um monoterpene abundante em óleos essenciais de várias espécies vegetais, a exemplo da maconha, do capim-limão e a verbena, sendo considerado um potente aromatizante. Diversos estudos *in vitro* apontam o mirceno com potencial anticâncer (Pincigher *et al.*, 2023). Este composto é descrito em vários trabalhos como majoritário, no OE extraído das folhas de *S. guianensis*, como no caso estudado por Santos, Nogueira; Chapla, 2022, onde o composto teve predominância, no percentual de 79,47%. Os resultados obtidos por Andrade *et al.* (2013), também apontaram o  $\beta$ -myrcene

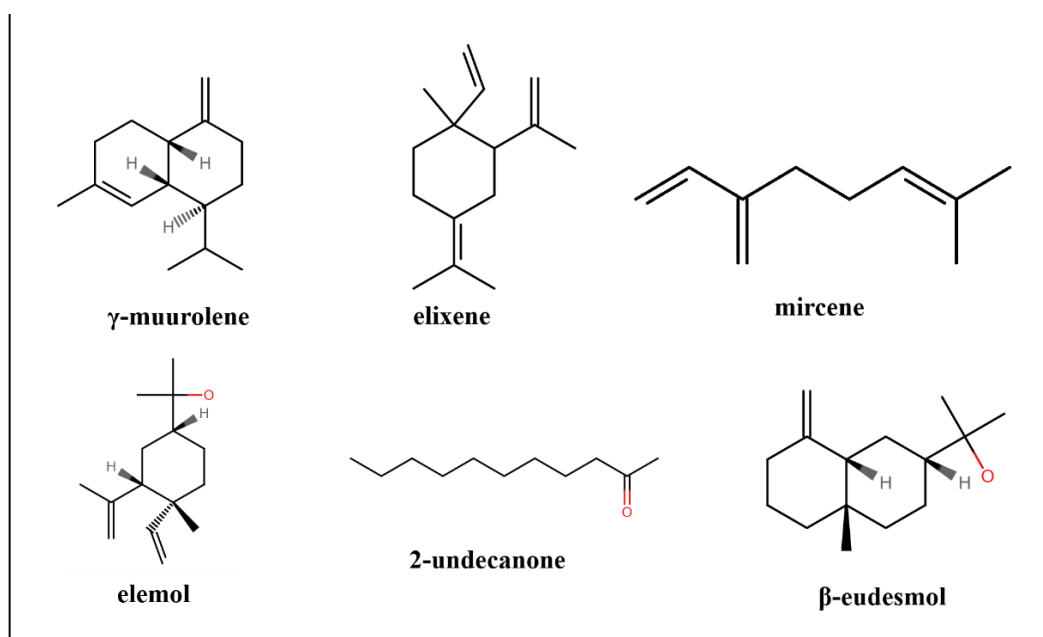
(13,14%), como um dos compostos majoritários do OE das folhas de *S. guianensis*, ficando atrás apenas do biciclogermacreno (16,71%).

Por sua vez, o elemol (2,6%), composto pertencente ao grupo dos sesquiterpenóides, identificado ainda como um álcool terciário, também foi encontrado na amostra analisada via CG-EM em porcentagem relevante. Esse sesquiterpenóide possui papel relevante no metabolismo e na fragrância das plantas, tendo sido identificado como promissor repelente contra mosquitos, em estudos com seu OE (Schultz; Peterson; Coats, 2006). Suas propriedades repelentes também foram atestadas em estudos envolvendo ninfas das espécies de carrapato, *Ixodes scapularis* e *Amblyomma americanum* (Carroll *et al.*, 2009). O elemol também é frequentemente encontrado como composto presente no OE de *S. guianensis*, inclusive como composto majoritário em algumas amostras (Santos *et al.*, 2024).

Da mesma forma, o composto químico 2-undecanona (1,9%), uma dialquil cetona, foi reportado como um dos compostos majoritários em estudos envolvendo o mesmo OE, a exemplo do trabalho de Lourenço *et al.* (2018), onde apareceu como segundo composto majoritário, no percentual de 10,81% em amostras coletadas em Formoso do Araguaia, no Estado do Tocantins. A 2-undecanona foi reportada, como agente anticâncer de pulsão, em testes *in vivo* com camundongos (Lou *et al.*, 2019).

Os compostos majoritários e os demais componentes relevantes têm suas estruturas químicas apresentadas na Figura 14.

Figura 14 – Estrutura dos principais componentes do OE de *S. guianensis*



Fonte: elaborado pelo autor

## 5.2 Análise da atividade antioxidante dos extratos vegetais de *S. guianensis*

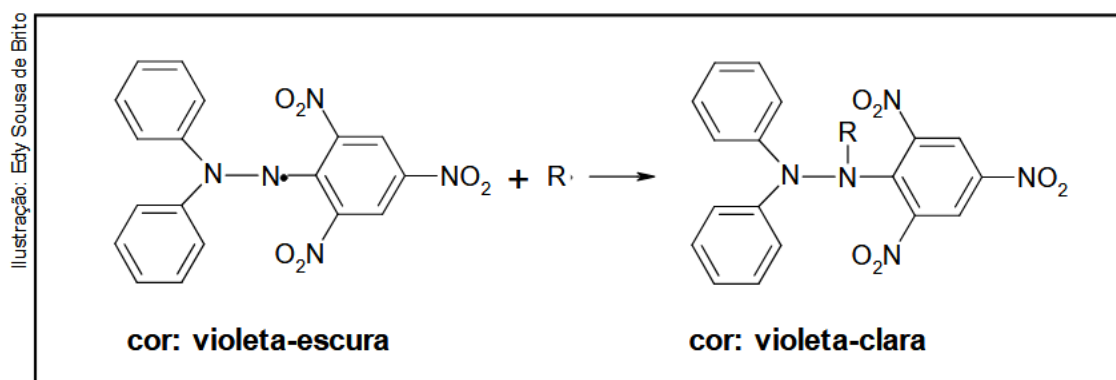
Foram utilizados 3 (três) métodos distintos para avaliar a atividade antioxidante dos três EVs das folhas de *S. guianensis* (hidroetanólico, etanólico e aquoso). A escolha de diferentes métodos se justifica pela existência de diversos tipos de radicais livres e formas de atuação em organismos, sendo inviável a existência de um método universal, capaz de medir a atividade antioxidante de toda e qualquer amostra, de forma precisa (Alves *et al.*, 2010). Em virtude disso, preconiza-se, hoje, a utilização de duas ou mais metodologias, levando em conta os pontos fortes, fracos e aplicabilidade de determinados ensaios (Sucupira *et al.*, 2012).

### 5.2.1 Resultados da atividade antioxidante pelo método do DPPH

O primeiro método escolhido para análise da atividade antioxidante dos extratos de *S. guianensis* foi o método do DPPH, que leva o nome do reagente utilizado na experimentação. O método do DPPH é um dos mais utilizados para verificação da atividade antioxidante, sobretudo de compostos fenólicos individuais ou de amostras completas (Gallego, 2017).

O DPPH, consiste em uma molécula com um radical livre estável, em razão do elétron deslocalizado, possuindo coloração violeta, e banda de absorção a 520 nm. O DPPH é facilmente obtido diretamente através da dissolução do reagente em meio orgânico, conforme a Figura 15 (Rufino *et al.*, 2007; Alves *et al.* 2010).

Figura 15 – Reação de estabilização do radical DPPH



Fonte: adaptado de Rufino *et al.*, (2007)

O princípio da técnica consiste na redução do radical DPPH•, de coloração violeta intensa e com máximo de absorção em torno de 520nm, por substâncias antioxidantes presentes na amostra, as quais atuam como doadoras de elétrons ou de átomos de hidrogênio.

A reação de neutralização converte o DPPH• na sua forma reduzida (DPPH-H), de coloração amarelada, ocasionando decréscimo proporcional da absorbância, que pode ser monitorado espectrofotometricamente (Alves *et al.*, 2010; Gulcin; Alwasel, 2023).

A magnitude dessa diminuição de absorbância indica a capacidade da amostra em sequestrar radicais livres, podendo ser expressa em porcentagem de inibição ou pelo valor de IC<sub>50</sub>, que representa a concentração necessária para reduzir 50 % da absorbância inicial do radical.

Os valores obtidos no presente experimento estão dispostos da Tabela 6, expressos em média  $\pm$  desvio padrão, levando em conta ainda a porcentagem (%) de descoloração do DPPH.

Tabela 6 – Resultados da análise antioxidante dos extratos de *S. guianensis* a partir do sequestro do radical DPPH

Amostra	% descoloração do DPPH	IC <sub>50</sub> (µg/mL)
Extrato hidroetanólico	26,13 $\pm$ 4,75	392,23 $\pm$ 79,57
Extrato etanólico	11,74 $\pm$ 4,97	1.133,61 $\pm$ 119,33
Extrato aquoso	22,67 $\pm$ 5,31	456,62 $\pm$ 99,45

Fonte: o autor

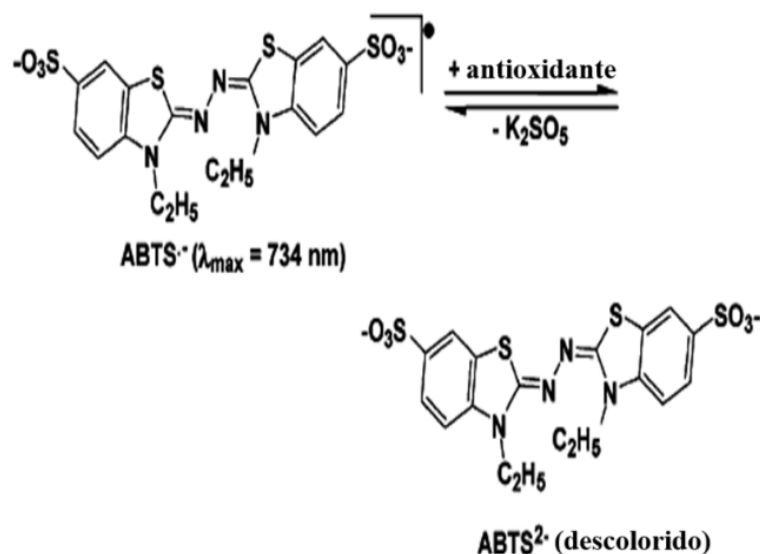
### 5.2.2 Resultados da atividade antioxidante pelo método do ABTS

O método ABTS, é uma das abordagens espectrofotométricas mais amplamente empregadas na avaliação da atividade antioxidante de compostos bioativos, especialmente em matrizes alimentares e EV. Assim como o DPPH•, se baseia no mecanismo de sequestro de radical livre (Cruz, 2016). Contudo, neste caso, o radical é o cátion ABTS•<sup>+</sup>, formado pela reação do sal ABTS com um agente oxidante, comumente o persulfato de potássio. O radical resultante apresenta coloração azul-esverdeada intensa, com absorção máxima em torno de 645, 734 e 815 nm, sendo esta propriedade explorada para quantificar a capacidade antioxidante das amostras testadas (Ilyasov *et al.*, 2020).

Diferentemente do radical DPPH, o radical catiônico ABTS•<sup>+</sup>, pode ser solubilizado em meios orgânicos e aquosos, nos quais é possível determinar-se a atividade antioxidante, dependendo da natureza do composto em análise (Arnao, 2000 apud Souza, 2013).

A análise metodológica em si consiste na incubação do radical ABTS•<sup>+</sup> com amostra de interesse (extrato, substância, etc.), promovendo a redução do radical por ação dos compostos antioxidantes presentes, conforme mostra a reação da Figura 16.

Figura 16 – Reação entre o radical ABTS e o composto antioxidante



Fonte: adaptado de Shalaby e Shanab (2013)

A diminuição da absorbância é diretamente proporcional à atividade antioxidante da amostra, permitindo a construção de curvas de calibração com padrões, a exemplo do Trolox, utilizado neste estudo, para expressar os resultados em equivalentes de Trolox.

A Tabela 7, apresenta os resultados da análise amostral, expressos em média  $\pm$  desvio padrão, para cada extrato, realizada em triplicata, em  $\mu\text{mol}$  de Trolox/g.

Tabela 7 – Resultados da análise antioxidante dos extratos de *S. guianensis* a partir do método ABTS

Amostra	( $\mu\text{mol}$ de Trolox/g)
Extrato hidroetanólico	$19,93 \pm 3,02$
Extrato etanólico	$14,74 \pm 3,90$
Extrato aquoso	$8,00 \pm 0,89$

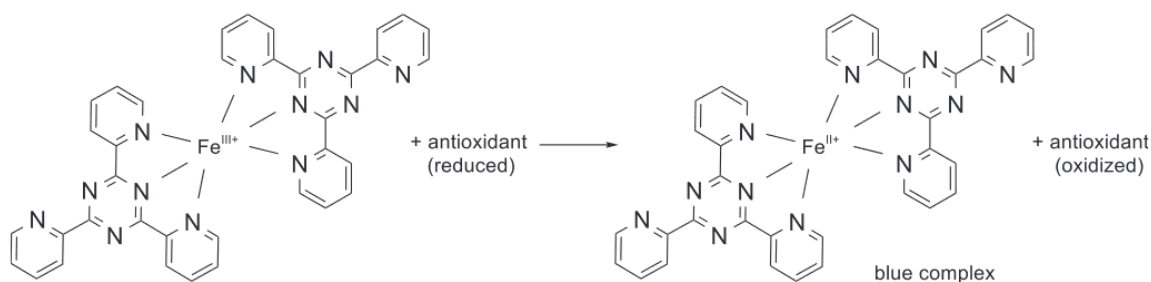
Fonte: o autor

### 5.2.3 Resultados da atividade antioxidante pelo método do FRAP

O último teste utilizando os princípios da óptica, foi realizado através do método FRAP. De acordo com Rufino *et al.*, (2007), este ensaio, além de poder ser utilizado em avaliação da atividade antioxidante para extratos de alimentos e bebidas, também é eficaz na avaliação da eficiência antioxidante de substâncias puras, podendo ter seus resultados comparados com metodologias mais complexas.

O ensaio utiliza, via de regra, duas substâncias reagentes, um sal férrico, como o cloreto férrico, utilizado neste estudo, e o complexo TPTZ. Um antioxidante presente na amostra, pode causar a redução dos íons férricos ( $\text{Fe}^{\text{III}+}$ ) para íons ferrosos ( $\text{Fe}^{\text{II}+}$ ), os quais formam um complexo com o TPTZ, com a característica cor azul da solução e absorvendo no comprimento de onda próximo de 593 nm, conforme mostra a Figura 16 (Pohanka, 2023).

Figura 17 – Reação de redução do TPTZ com o ferro III



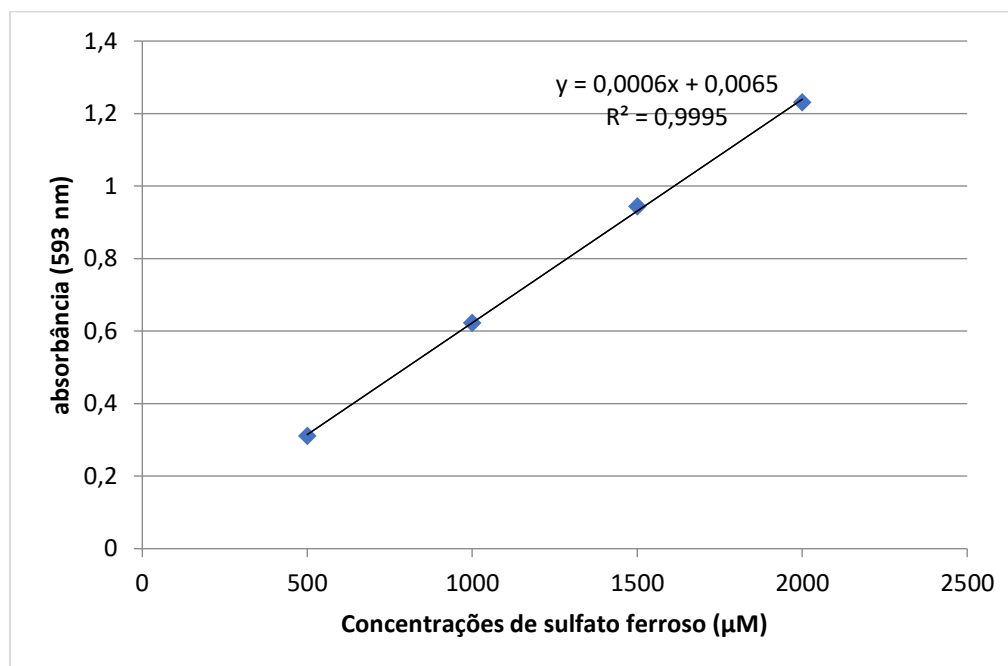
Fonte: adaptado de Pohanka (2023)

O radical ariloxila formado durante o teste com o FRAP, funciona como indicador da capacidade da substância de reduzir o íon férrico, avaliando, portanto, a partir disso a atividade antioxidante. Quanto maior a formação de radicais ariloxila, maior será a capacidade do antioxidante de reduzir o íon férrico, indicando, assim, uma atividade antioxidante mais elevada (Marques, 2023).

Neste caso, os resultados apresentados na Tabela 8, foram expressos em  $\mu\text{mol}$  de  $\text{FeSO}_4/\text{g}$ , visto que a curva de calibração, utilizada na obtenção da equação por regressão linear, geradora dos dados de atividade antioxidante das amostras, foi construída, como mostra a Figura 18, a partir da absorbância pela concentração de sulfato ferroso.



Figura 18 – Curva-padrão de sulfato ferroso



Fonte: dados da pesquisa

Tabela 8 – Resultados da análise antioxidante dos extratos de *S. guianensis* a partir do método de redução do FRAP

Amostra	(μmol de FeSO <sub>4</sub> /g)
Extrato hidroetanólico	12,87 ± 2,24
Extrato etanólico	20,32 ± 1,81
Extrato aquoso	22,82 ± 3,59

Fonte: o autor

#### 5.2.4 Discussões acerca dos resultados obtidos nos testes de atividade antioxidante

Da análise dos dados da Tabela 6, verifica-se que o extrato hidroetanólico, foi o que apresentou maior capacidade antioxidante,  $IC_{50} = 392,23 \mu\text{g. mL}^{-1}$ , visto que valores menores do índice de concentração inibitória, indicam maior atividade antioxidante. Apesar disso, nenhum dos extratos exibiu valores que indicam potencial ativo para atividade antioxidante, mesmo na ausência de testes diretos com amostras comparativas.

Nos seus estudos, Magalhães (2018) utilizou extrato das folhas de *S. guianensis*, obtido por maceração em etanol a 70%. Para a realização dos ensaios pelo método do DPPH, solubilizou-se o extrato em dimetilsulfóxido. Os testes foram feitos em diferentes concentrações, variando de 0,1 a 100 μg/mL, apresentando  $IC_{50}$  médio = 34,3 μg/mL, nos testes com o extrato etanólico.

No trabalho realizado por Evangelista *et al.*, (2019), com metodologia não descrita, foi analisado, através do DPPH, extrato hidroetanólico, cujos resultados em concentrações de 100, 50 e 25 µg/mL, apresentaram percentuais de descoloração iguais a 63%, 49% e 41%, respectivamente, tendo os autores afirmado potencial promissor da espécie diante do estresse oxidativo.

Os autores Soares *et al.*, (2017) utilizaram a extração assistida por ultrassom, na produção dos extratos hidroetanólicos, etanólico e aquoso das folhas de *S. guianensis*, os quais foram submetidos ao teste com o radical DPPH. O extrato hidroetanólico foi que apresentou melhor capacidade antioxidante, com  $IC_{50} = 68,98 \mu\text{g/mL}$ , convergindo, neste caso, com a análise realizada no presente estudo. Porém, os extratos etanólico ( $IC_{50} = 137,04 \mu\text{g/mL}$ ), apresentou melhores resultados em relação ao potencial antioxidante do que o aquoso ( $IC_{50} = 150,06 \mu\text{g/mL}$ ), diferindo do que fora encontrado na análise aqui reportada.

Outros estudos foram encontrados, utilizando o ensaio com DPPH, avaliando partições obtidas com solventes distintos daqueles utilizados neste trabalho, como o trabalho de Strada *et al.*, (2009), que comparou as atividades oxidantes de extratos brutos de *S. guianensis*, cujos melhores resultados foram expressos em (%) de descoloração: hexano (25,71%), diclorometano (31,51%), acetato de etila (56,02%), metanol (53,45). Já Conegundes (2016) avaliou a atividade de um extrato metanólico das folhas da mesma espécie, em diferentes concentrações, obtendo  $IC_{50}$  médio = 25,12 µg/mL.

Alguns resultados também foram encontrados, envolvendo o estudo de extratos da espécie *Siparuna brasiliensis*, pelo método do DPPH. O primeiro estudo analisado, mostrou aumento progressivo da atividade antioxidante, conforme o aumento da concentração do extrato de alcoólico de *Siparuna brasiliensis*, apresentando alto potencial antioxidante, com valores de  $IC_{50} = 17,71 \mu\text{g/mL}$ , estudo no qual verificou-se alto teor de fenólicos na espécie, que sugerem relação direta com a capacidade antioxidante encontrada (Souza *et al.*, 2013).

Em relação aos resultados obtidos da análise pelo método ABTS, registrados na Tabela 7, também verificou-se maior potencial antioxidante no extrato hidroetanólico de  $19,93 \pm 3,02 \mu\text{mol}$  de Trolox/g. Por outro lado, a análise realizada através do ensaio FRAP, trouxe o extrato aquoso, como de maior capacidade antioxidante, no valor de  $22,82 \pm 3,59 \mu\text{mol}$  de  $\text{FeSO}_4/\text{g}$ .

Contudo, nenhum estudo relevante foi localizado na literatura utilizando os métodos ABTS e FRAP, referentes a análise da atividade antioxidante de extratos brutos de folhas da *S. guianensis*, carecendo, portanto, de referenciais para comparação.

Apesar da carência de dados comparativos para os métodos do ABTS e FRAP, para plantas da mesma família da *S. guianensis*, e dos poucos dados comparativos utilizando o

ensaio com o DPPH, conflitantes aqueles obtidos neste estudo, é preciso ponderar a forma como estes dados foram produzidos e os objetivos e as limitações práticas das técnicas de análise *in vivo*.

A princípio, tem-se a etapa de extração como passo crucial na identificação de antioxidantes de materiais vegetais, uma vez que os métodos empregados têm influência direta no rendimento, solubilidade e na eficácia para identificação de compostos ativos biologicamente (Lezoul *et al.*, 2020). Vários fatores, como temperatura, tipo de solvente, tempo de extração e até mesmo o armazenamento correto da planta, impactam diretamente na eficácia da extração, e por consequência, da investigação das propriedades biológicas de determinado material vegetal (Shahidi; Samarasinghe, 2025).

Aspectos relacionados a fisiologia das espécies vegetais, diretamente ligadas à sazonalidade, também imperam um fator importante na composição química e consequentemente na atividade antioxidante das plantas. Em um estudo realizado por Ribeiro *et al.* (2020), verificou-se relação direta entre a produção de compostos fenólicos, e a sazonalidade da *S. floribunda*, que produziu a maior taxa de polifenóis no período de escassez de chuva, fator que esteve correlacionado com melhores resultados de potencial antioxidante, nos testes realizados *in vitro*.

Nos testes realizados no trabalho já citado de Soares *et al.* (2017), as folhas da *S. guianensis* foram colhidas no mês de agosto de 2014, na cidade de Gurupi, estado do Tocantins, período notável de escassez hídrica. Em contrapartida, nas análises realizadas no presente estudo, utilizou-se folhas obtidas nos meses de março e abril de 2024, que compreende o final da estação chuvosa, na região Centro-Oeste. Fatores como este, podem ajudar a elucidar as diferenças encontradas em relação aos resultados obtidos no teste de DPPH, entre os dois ensaios, sendo necessário maior investigação acerca de outras variáveis, como por exemplo a própria quantificação dos compostos fenólicos, flavonoides, etc., não realizadas neste estudo.

De todo modo, faz-se necessário nos atermos aos objetivos e princípios das pesquisas *in vitro*, referentes a atividade antioxidante de espécies vegetais. Conhecendo as suas possibilidades, e principalmente suas limitações, pode-se aprimorar a qualidade dos resultados e sua aplicabilidade.

Diante da sua natureza, do baixo custo e razoável facilidade de realização, estes ensaios devem ser utilizados para investigar as propriedades antioxidantes de isolados ou amostras completas, servindo como norte para comparações entre amostras e para novos estudos mais complexos, envolvendo, por exemplo, amostragem *in vivo* (Granato *et al.*, 2018).

A partir deste entendimento, deve-se buscar a melhora dos processos de análise *in vitro*, procurando maneiras de: padronização e otimização dos métodos de extração, a fim de extrair compostos antioxidantes de diferentes polaridades; harmonização das metodologias de análise por diferentes ensaios, limitando as comparações às análises da mesma natureza; correlação e padronização das unidades exibidas nos ensaios de cada ensaio, além do entendimento dos mecanismos dos antioxidantes *in vivo* (Kotha *et al.*, 2022).

### 5.3 Atividade nematicida do OE de *S. guianensis* contra a espécie *M. enterolobii*

Os dados obtidos na análise estatística realizada pelo SISVAR, mostram o potencial do óleo essencial de *Siparuna guianensis* frente a eclosão dos ovos da espécie nematoide *Meloidogyne enterolobii*. Os resultados obtidos dos juvenis da espécie eclodidos no teste estão dispostos na Tabela 9.

A Tabela 10 demonstra o efeito do óleo essencial de negramina sobre a eclosão de *Meloidogyne enterolobii*, indicando uma relação positiva entre o aumento da concentração do óleo e a redução da eclosão dos juvenis.

Tabela 9 - Resumo ANOVA dos juvenis de *Meloidogyne enterolobii* eclodidos pelo teste *in vitro* com aplicação de óleo essencial de negramina.

Fontes de Variação	GL	Quadrados médios
Tratamentos	5	458,51**
Erro	24	6,01
Total	29	
Média Geral	11,03	
CV (%)	22,23	

GL - Grau de Liberdade; CV - Coeficiente de Variação; \* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; \*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: dados da pesquisa

Tabela 10 - Valores médios de eclosão de juvenis de *Meloidogyne enterolobii* e percentual de redução de eclosão em função das concentrações do óleo essencial de negramina e do tempo de exposição de 5 dias.

Tratamentos	Variáveis analisadas		
	J2 eclodidos em 5 dias	% de redução de eclosão	% de redução de eclosão comparado com o controle
T1 Controle	29,40 c	63,25%	-
T2 2,5 µL	10,00 b	87,5%	65,98%
T3 5,0 µL	8,80 b	89,00%	70,06%
T4 10,0 µL	11,00 b	86,25%	62,58%

T5 20,0 µL	4,40 a	94,5%	85,03%
T6 50,0 µL	2,60 a	96,75%	91,15%
CV%	22,23	-	-

\*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Fonte: dados da pesquisa

Observa-se que mesmo em concentrações baixas, como 2,5 e 5,0 µL, foram observadas reduções significativas de 87,5% e 89%, respectivamente. A maior eficácia foi obtida na concentração de 50%, com 96,75% de redução da eclosão.

As pesquisas sobre a atividade nematicida dos OEs com propriedade nematicida têm crescido cada vez mais, impulsionada pela necessidade de metodologias menos danosas ao meio ambiente, tendo diversos óleos demonstrado grandes efeitos nematicidas, contra várias espécies (Catani *et al.*, 2023).

Os fitoquímicos presentes nos OEs vem sendo reportados como potenciais fontes de componentes bioativos com propriedades nematicidas. Terpenóides, constituintes da composição volátil de grande parte dos OEs são apontados como os principais responsáveis pela atividade biológica desses óleos (Kundu *et al.*, 2021).

No trabalho de Carvalho *et al.* (2019) os autores investigaram a ação do OE de *S. guianensis* contra o nematoide *Strongyloides venezuelensis*, um parasita animal, comumente associado a causa de Estrongiloidíase. Os autores apontaram a crescente inibição de 80,0% até o máximo de 90,1% no teste frente a eclosão dos ovos de *S. venezuelensis*, utilizando de 0,2 mg/mL até 1,0 mg/mL do OE das folhas de *S. guianensis*, convergindo com os dados encontrados no presente trabalho, em relação ao aumento da redução da eclosão dos ovos com o aumento da concentração do OE.

Estudos utilizando outros OEs, contra a eclosão juvenis do *M. enterolobii* foram desenvolvidos, como o caso do trabalho de Moreira *et al.* (2018), no qual investigou-se a o potencial do OE da espécie vegetal *Tephrosia toxicaria* sob a eclosão de juvenis de *M. enterolobii* e *M. javanica*. Foi observada a redução da eclosão acima de 80% dos juvenis de ambas as espécies, em todas as concentrações analisadas no teste. Ainda, associou-se presença de linalol, carvone e myrcene no OE da planta como principais responsáveis pela atividade nematicida, sendo que o myrcene (3,5%) foi encontrado no OE de *S. guianensis*, analisado neste trabalho, sugerindo que o composto pode ser um dos responsáveis pelos bons resultados contra a eclosão dos juvenis de *M. enterolobii*.

Esses resultados evidenciam o potencial do óleo essencial de negramina como uma alternativa biológica eficaz no manejo de fitonematoides *in vitro*, podendo servir de ponto de partida para o desenvolvimento de novas pesquisas explorando essas propriedades.

## 6 CONCLUSÕES

Tendo como base os objetivos propostos de identificar os constituintes voláteis do óleo essencial de *S. guianensis*, avaliar sua atividade nematicida contra *Meloidogyne enterolobii* e mensurar a atividade antioxidante de extratos dessa mesma espécie, verifica-se que os resultados obtidos permitem oferecer uma resposta integrada ao problema de pesquisa.

A caracterização química por CG-EM revelou um perfil majoritário por terpenos, com predomínio de sesquiterpenos, destacando-se  $\gamma$ -muuroleno (26,2%) e elixeno (24,2%) como componentes majoritários. O rendimento médio do OE, obtido por hidrodestilação (Clevenger), foi de 0,19% para folhas coletadas no final da estação chuvosa, no Sul de Goiás. Esses achados atendem ao objetivo de identificação e situam a amostra dentro de faixas já relatadas para a espécie e para condições fenológicas e climáticas análogas.

No que diz respeito ao desempenho biológico, o OE de *S. guianensis*, exibiu efeito expressivo sobre a eclosão de *M. enterolobii* in vitro, com reduções significativas mesmo em baixas concentrações (87,5% a 2,5  $\mu$ L e 89,0% a 5,0  $\mu$ L), alcançando 96,75% de redução a 50  $\mu$ L após 5 dias. Esses dados sustentam a hipótese de que o OE de *S. guianensis* possui potencial nematicida, atendendo ao objetivo específico correspondente e abrindo perspectiva para aplicações em manejo alternativo de fitonematoides, desde que validadas em condições de maior complexidade ecológica.

Os dados da atividade antioxidante, obtido através dos três ensaios (DPPH, ABTS e FRAP), apontaram respostas consistentes, porém modestas: no DPPH, o extrato hidroetanólico apresentou a melhor performance ( $IC_{50} \approx 392 \mu\text{g.mL}^{-1}$ ), indicando baixa potência relativa; no ABTS, o mesmo extrato foi superior ( $\approx 19,93 \mu\text{mol de Trolox.g}^{-1}$ ); e, no FRAP, o extrato aquoso destacou-se ( $\approx 22,82 \mu\text{mol de FeSO}_4.\text{g}^{-1}$ ).

Apesar dos bons resultados, é preciso reconhecer os limites estabelecidos pela metodologia. A coleta ocorreu em único período e região, utilizou-se apenas um método de extração, a identificação química dependeu de bibliotecas sem ampla confirmação por padrões, e os testes realizados se ativeram a condições *in vitro*, carecendo avaliar seletividade, persistência e segurança em cenários mais complexos.

Diante disso, sugere-se como passos futuros, a ampliação da amostragem no tempo e espaço, a comparação de técnicas de extração e seus efeitos no perfil químico, a quantificação de compostos fenólicos e flavonoides para apoiar análises multivariadas e migração dos estudos para o campo, com delineamentos mais precisos de doses-resposta, avaliação e organismos não-alvo e de parâmetros toxicológicos.

No mais, os achados ampliam o conhecimento atual sobre a espécie *Siparuna guianensis* Aublet, e podem servir de ponto de partida para descobertas relevantes no campo das ciências química e biológica.



## REFERÊNCIAS

- ABERS, M. *et al.* Antimicrobial activity of the volatile substances from essential oils. **BMC Complementary Medicine and Therapies**, v. 21, n. 124, 2021, p. 1-14. DOI: [10.1186/s12906-021-03285-3](https://doi.org/10.1186/s12906-021-03285-3).
- ADAMS, R. P. **Identification of essential oil components by gas chromatography/quadrupole mass spectroscopy**. Carol Stream: Allured Bussiness Media, 2007. 804 p
- ADDABBO, T.; AVATO, P. Chemical Composition and Nematicidal Properties of Sixteen Essential Oils—A Review. **Plants**, v.10. n. 1368. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10071368>.
- ALMEIDA, M. A. *et al.* Avaliação Do Perfil Fitoquímico E Do Potencial Antioxidante Do Extrato Aquoso Das Folhas De Siparuna Guianensis Aublet. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 17, n. 2, 2021. Disponível em: <https://revista.uepb.edu.br/BIOFARM/article/view/2248/1838>. Acesso em: 10 set. 2024.
- ALVES, C. Q. *et al.* Métodos para determinação de atividade antioxidante in vitro em substratos orgânicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 10, p. 2202–2210, 2010. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/3769>. Acesso em: 8. ago. 2025.
- AMIN, M. M. A Amazônia na geopolítica mundial dos recursos estratégicos do século XXI. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, Coimbra, n. 107, p. 17-38, set. 2015. DOI: <https://doi.org/10.4000/rccs.5993>.
- ANDRADE, M. A. *et al.* Chemical Composition and Antioxidant Activity of Essential Oils from Cinnamodendron dinisii Schwacke and Siparuna guianensis Aublet. **Antioxidants**, v. 2, p. 384-397, 2013. DOI: doi:10.3390/antiox2040384
- ARNAO, M. B. Some methodological problems in the determination of antioxidant activity using chromogen radicals: a practical case. **Trends Food Sci Tech**, v. 11, n. 11, p. 419-421, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00027-9).
- BARBOSA, D. L. S. *et al.* Vulnerabilidade ambiental da área de proteção ambiental delta do Parnaíba. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 6, p. 45227–45239, jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv8n6-175>.
- BARBOSA, L. G. V.; TAVARES, M. S.; JESUS, E. N. S.; *et al.* Avaliação da atividade antioxidante e antiproliferativa do óleo essencial de *Siparuna guianensis* Aublet em camundongos com tumor ascítico de Ehrlich. Universidade do Estado do Pará, Belém, 2021. Disponível em: <https://resumos.sbpmed.org.br/index.php/spmb/article/view/228/153>. Acesso em: 9. ago. 2025.
- BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 19, n. 53, p. 71–86, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000100005>.
- BERLINCK, R. G. S. Produtos naturais marinhos e suas aplicações biotecnológicas. **Química Nova**, São Paulo, v. 40, n. 6, p. 706-710, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170070>.

BIZZO, H. R.; REZENDE, C. M. O mercado de óleos essenciais no Brasil e no mundo na última década. *Química Nova*, v. 45, n. 8, p. 949-958, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170889>.

BONCAN, D. A. T. *et al.* Terpenes and Terpenoids in Plants: Interactions with Environment and Insects. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 21, p. 1-19, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms21197382>

BONETI, J. I. S.; FERRAZ, S. Modificação do método de HUSSEY & BARKER para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* de raízes de cafeeiro. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, 6, 3: 553, 1981.

BOZIN, B. *et al.* Characterization of the volatile composition of essential oils of some Lamiaceae spices and the antimicrobial and antioxidant activities of the entire oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.54, n.5, p.1822-1828, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf051922u>.

BRUNASSI, G. R.; LÍRIO, E. J. Flora of Ceará: Siparunaceae. *Rodriguésia*, v. 76, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-7860202576003>.

CARROLL, J. F. *et al.* Elemol and amyris oil repel the ticks *Ixodes scapularis* and *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae) in laboratory bioassays. *Experimental and Applied Acarology*, v. 51, p. 383–392, 2010. DOI: DOI 10.1007/s10493-009-9329-0

CARVALHO, M. G. *et al.* in vitro anthelmintic activity of *Siparuna guianensis* extract and essential oil against *Strongyloides venezuelensis*. *Journal of Helminthology*, v. 94, ed. 50, p. 1-5, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0022149X19000282>.

CASTELLANI, D.C. *et al.* Produção de óleo essencial em catuaba (*Trichilia catigua* k. Juss) e negramina (*Siparuna guianensis* Aubl.) em função da época de colheita. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 8, n. 4, p. 62-65, 2006. Disponível em: [https://www1.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Botanica/RBPMRevistaBrasileiradePlantasMediciniais/artigo12\\_v8\\_n4\\_p062-065.pdf](https://www1.ibb.unesp.br/Home/Departamentos/Botanica/RBPMRevistaBrasileiradePlantasMediciniais/artigo12_v8_n4_p062-065.pdf). Acesso em: 14 out. 2025.

CATANI, L. *et al.* Essential oils as nematocides in plant protection—A review. *Plants*, v. 12, n. 6, p. 1418, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants12061418>.

CHOUHAN, S.; SHARMA, K.; GULERIA, S. Antimicrobial activity of some essential oils—present status and future perspectives. *Medicines*, India, v. 4, n. 58, p. 1-21, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/medicines4030058>.

COLE, T. C. H.; HILGER, H. H.; CARVALHO, F. A. *Filogenia das angiospermas: sistemática das plantas com flores*. Trad. F. A. Carvalho. Heidelberg: Institute of Pharmacy and Molecular Biotechnology; Berlin: Freie Universität Berlin, 2016. (Versão portuguesa de *Angiosperm Phylogeny Poster – Flowering Plant Systematics*, baseada em APG IV, abril 2016). Disponível em: <https://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb>. Acesso em: 10 out. 2025.

CONEGUNDES, J. L. M. *Caracterização química, estudo farmacológico e toxicológico de Siparuna guianensis Aublet (Siparunaceae)*. 2017. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Farmácia, Juiz de Fora, 2017.

CRUZ, P. N. **Potencial antioxidante e antimicrobiano dos extratos obtidos da semente de butiá da praia (*Butia catarinensis*)**. 2016. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2016.

DAVIS, B.J. Disc electrophoresis. II. Method end Application to human serum proteins. **Annals of the New York Academy of Sciences**, 121: 404-427, 1964.

DINIZ, J. A. **Siparuna guianensis Aublet como nova fonte de  $\alpha$ -bisabolol para o controle de *Rhipicephalus microplus***. 2014. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2014.

DHIFI, W.; BELLAHSENE, S.; SADRATI, N.; KHEDHER, M.R.B.; CHAIEB, K.; BAKHROUF, A. Essential oils' chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities: a review. **Microbial Pathogenesis**, v. 3, n. 25, p. 1-16, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3390/medicines3040025>.

DUARTE-ALMEIDA, J. M. *et al.* Avaliação da atividade antioxidante utilizando sistema  $\beta$ -caroteno/ácido linoléico e método de sequestro de radicais DPPH•. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, n. 2, p. 446–452, abr.–jun. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000200031>.

EVANGELISTA, M. R. *et al.* Potencial antioxidante da partição hidroetanólica de *Siparuna guianensis* Aublet. **Brazilian Journal of Health and Pharmacy (BJHP)**, v. 1, supl. 1, p. 6, 2019. Disponível em: <https://revistacientifica.crfmng.emnuvens.com.br/crfmg/article/view/95>. Acesso em: 7. ago. 2025.

EVANS, N. Óleos Essenciais: O Guia Definitivo sobre Óleos Essenciais para Alcançar uma Saúde Extraordinária. p.1-46. **Babelcube Inc**, 2017.

FELIPE, L.O.; BICAS, J. L. Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 2, p. 120-130, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160068>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

FERREIRA, O. O. *et al.* Chemical composition and antioxidant activity of essential oils from leaves of two specimens of *Eugenia florida* DC. **Molecules**, v. 26, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26195848>.

FIERASCU, R. M. *et al.* The application of essential oils as a next-generation of pesticides: recent developments and future perspectives. **Z. Naturforsch**, v. 75, p. 183-204, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1515/znc-2019-0160>.

FOREZI, L. S. M. *et al.* Aqui Tem Química: parte IV. Terpenos na Perfumaria. **Revista Virtual de Química**, v. 14, n. 6, p. 1005-1024, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20220055>.

GALLEGO, T. B. **Potencial antioxidante do chá da *Artemisia annua*** em diferentes modos de preparo. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2017.

GOMES, M. V. V. B. **Controle de qualidade dos óleos essenciais comerciais de Alecrim (*Rosmarinus officinalis*)**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2023.

GRANATO, D. *et al.* Antioxidant activity, total phenolics and flavonoids contents: should we ban in vitro screening methods? **Food Chemistry**, v. 264, p. 471–475, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.012>.

GULCIN, I.; ALWASEL, S. H. DPPH radical scavenging assay. **Processes**, v. 11, n. 8, p.1-20, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr11082248>.

ILYASOV, I. *et al.* ABTS/PP Decolorization Assay of Antioxidant Capacity Reaction Pathways. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 21, n. 1131, p. 1–27, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms21031131>.

JARAMILLO, C. C. P. *et al.* Acción antioxidante conjunta de extractos etanólicos de *Mollinedia lanceolata*, *Croton leptostachyus* y *Siparuna sessiliflora*. **Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**, v. 41, n. 158, p. 64–70, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.18257/raccefyn.425>.

KAMSU, G. T. *et al.* In vitro Antisalmonellal and Antioxidant Activities of Leaves Extracts of *Tectona grandis* L. F. (Verbenaceae). **European Journal of Medicinal Plants**, v. 29, n. 4, p. 1-13, 2019. DOI: <https://doi.org/10.9734/ejmp/2019/v29i430164>.

KIM, K. Y. Anti-inflammatory and ECM gene expression modulations of  $\beta$ -eudesmol via NF- $\kappa$ B signaling pathway in normal human dermal fibroblasts. **Biomedical Dermatology**, v. 2, n. 3, 2018. DOI 10.1186/s41702-017-0014-3.

KOTHA, R. R. *et al.* Oxidative stress and antioxidants—A critical review on in vitro antioxidant assays. **Antioxidants**, v. 11, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox11122388>.

KOVÁTS, E. Gas-chromatographische charakterisierung organischer verbindungen. Teil 1: retentionsindices aliphatischer halogenide, alkohole, aldehyde und ketone. **Helvetica Chimica Acta**, v. 41, n. 7, p. 1915-1932, 1958. DOI: <https://doi.org/10.1002/hlca.19580410703>.

KUNDU, A. *et al.* A comprehensive in vitro and in silico analysis of nematicidal action of essential oils. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.614143>.

LEZOUL, N. E. H. *et al.* Extraction processes with several solvents on total bioactive compounds in different organs of three medicinal plants. **Molecules**, v. 25, 2020. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/molecules25204672>.

LI, Y. *et al.*  $\beta$ -Eudesmol induces JNK-dependent apoptosis through the mitochondrial pathway in HL60 cells. **Phytotherapy Research**, v. 27, n. 3, p. 338–343, 2013. DOI: 10.1002/ptr.4727

LIMA, Y.M.S. *et al.* Caracterização química e análise da atividade larvica e repelência do óleo essencial das folhas de *Siparuna guianensis* frente ao *Aedes aegypti*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 21, p. 327-333, 2019. DOI: [10.21577/1984-6835.20220119](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20220119).

MACHADO, A.C.Z., SILVA, S.A., FERRAZ, L.C.C.B. 2019. Métodos em nematologia agrícola. **Sociedade Brasileira de Nematologia**, Piracicaba.

MAGALHÃES, M. Avaliação da atividade antimicrobiana e antioxidante de *Oenocarpus bacaba* Mart., *Cordia glabrata* Mart. e *Siparuna guianensis* Aubl. 2018. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Farmácia) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências da Saúde, Campus Universitário de Sinop, Sinop-MT, 2018.

MALDONADO, G. **Estudo sobre os métodos de extração de óleos essenciais – uma revisão integrativa**. 2022. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022.

MARQUES, T. A. **Estudo químico do óleo essencial e extrato de *Pleroma granulosum* e avaliação de atividade antioxidante e antifúngica**. 2023. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Química, Programa de Pós-Graduação em Química, Uberlândia, 2023.

MARTINS, R. M. G. **Composição química e atividade biológica do óleo essencial de *Siparuna guianensis* Aublet (Siparunaceae)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2016.

MARTINS, F. J. *et al.* Antioxidant activity and potential photoprotective from amazon native flora extracts. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**, v. 161, p. 34-39, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.05.012>.

MELO, D. C. *et al.* Anticariogenic and antimycobacterial activities of the essential oil of *Siparuna guianensis* Aublet (Siparunaceae). **Orbital: The Electronic Journal of Chemistry**, v. 9, n. 1, p. 55-60, jan./mar. 2017. DOI <http://dx.doi.org/10.17807/orbital.v0i0.930>.

MONTANARI, R. M. **Composição química e atividades biológicas dos óleos essenciais de espécies de Anacardiaceae, Siparunaceae e Verbenaceae**. 2010. Tese (Doutorado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

MORAIS, L.A.S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira**. v. 27. n.2. 2009. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/577686/1/2009AA051.pdf>. Acesso em: 15. ago. 2025.

MOREIRA, F. J. C. *et al.* Assessment of the *Tephrosia toxicaria* essential oil on hatching and mortality of eggs and second-stage juvenile (J2) root-knot nematode (*Meloidogyne enterolobii* and *M. javanica*). **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 12, p. 1829-1836, 2018. DOI: 10.21475/ajcs.18.12.12.p1102.

MOROCHO, V. *et al.* Chemical composition and biological activity of essential oil from leaves and fruits of limoncillo (*Siparuna muricata* (Ruiz & Pav.) A. DC.). **Antibiotics**, v. 12, n. 82, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics12010082>.



- MOURA, A. S. *et al.* Fruit consumption and dispersion to *Siparuna guianensis* (Siparunaceae) by *Guerlinguetus (ingrami) brasiliensis* (Mammalia: Rodentia) in Southeastern Brazil. **Natureza Online**, v. 15, n. 3, p. 14-17, 2017. Disponível em: <http://www.naturezaonline.com.br/revista/article/view/460>. Acesso em: 10 set. 2025.
- OLIVEIRA, C. M. G.; KUBO, R. Z.; INOMOTO, M. M. Nemotoides Parasitos da Batata. In: SALAS, F. J. S. S.; TÖFOLI, J. G. **Cultura da Batata: Pragas e Doenças**, ed. 1 São Paulo: Instituto Biológico, 2017. p. 45-59.
- PARKER, R. A. *et al.* Antifungal activity of select essential oils against *Candida auris* and their interactions with antifungal drugs. **Pathogens**, v. 11, n. 821, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens11080821>.
- PEIXOTO, A.L.; LIRIO, E.J.; PIGNAL, M.. Siparunaceae in Flora do Brasil 2020. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, 2020. Disponível em: <http://floradobrasil2020.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB14543>. Acesso em: 11. set. 2025.
- PINTO, A. C. *et al.* **Produtos naturais: atualidade, desafios e perspectivas**. *Química Nova*, São Paulo, v. 25, supl. 1, p. 45-61, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000800009>.
- PLANT, R. M. *et al.* **The Essentials of Essential Oils**. **Advances in pediatrics**, v. 66. p.111–122.
- POHANKA, M. Assays of antioxidant capacity: optics and voltammetry. **International Journal of Electrochemical Science**, v. 18, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijoes.2023.100276>.
- RENNER, S. S. Circumscription and Phylogene of the Laurales: Evidence from molecular and morphological data. **American Journal of Botany**, v. 86, n. 9, p. 1301-1315, 1999. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10487818/>. Acesso em: 8. set. 2025.
- REVERCHON, E.; DE MARCO, I. Supercritical fluid extraction and fractionation of natural matter. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 38, n. 2, p. 146-166, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2006.03.020>.
- RIBEIRO, D. A. Influence of seasonal variation on phenolic content and in vitro antioxidant activity of *Secondatia floribunda* A. DC. (Apocynaceae). *Food Chemistry*, vol. 315, pp. 126277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126277.PMid:32004983>
- ROCHA, A. B.; LOPES, R. M.; SCHWARTSMANN, G. Natural products in anticancer therapy. **Current Opinion in Pharmacology**, v. 1, n. 4, p. 364–369, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1471-4892\(01\)00063-7](https://doi.org/10.1016/S1471-4892(01)00063-7).
- ROCHA, L. P. B. *et al.* Uso de plantas medicinais: histórico e relevância. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18282>.
- RODRIGUES, L. A., *et al.* **Espécies vegetais nativas usadas pela população local em Luminárias, MG. Lavras**: Universidade Federal de Lavras – UFLA, [s.d.]. Parte da dissertação de mestrado da primeira autora, n. 52, p. 1-34, 2002.

RODRIGUES, E. S. R. *et al.* Aspectos etnobotânicos, fitoquímicos e farmacológicos da espécie *Siparuna guianensis* Aublet: Revisão Sistemática. **Peer Review**, v. 5, n. 19, 2023. DOI: 10.53660/987.prw2561.

RODRIGUES, G. B. C. *et al.* Bioprospecting the Cerrado's Aromatic Flora: Chemical and Biological Studies of Three Essential Oils. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 66, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678>.

ROESLER, R. *et al.* Atividade antioxidante de frutas do Cerrado. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 1, p. 53-60, jan./mar. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000100010>.

ROSA, C. D. B. *et al.* Atividade antioxidante do óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) pelo método DPPH e emprego em fluido hidratante. **Scientia Naturalis**, Rio Branco, v. 6, n. 1, p. 48-70, 2024. DOI: <https://doi.org/10.29327/269504.6.1-4>.

RUFINO, M. S. M. *et al.* Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS. **Embrapa**, Fortaleza, jul. 2007.

SADGROVE, N. J.; PADILLA-GONZÁLEZ, G. F.; PHUMTHUM, M. Fundamental chemistry of essential oils and volatile organic compounds, methods of analysis and authentication. **Plants**, v. 11, n. 789, 2022. DOI: [10.3390/plants11060789](https://doi.org/10.3390/plants11060789).

SANTOS, A. S. *et al.* Descrição de sistema e de métodos de extração de óleos essenciais e determinação de umidade de biomassa em laboratório. **Embrapa**, Bélem, 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/402448/1/com.tec.99.pdf>. Acesso em: 13 out. 2025.

SANTOS, D. B. *et al.* Intraspecific chemical variability and antioxidant capacity of *Siparuna guianensis* Aubl. essential oil from Brazil. **Horticulturae**, v. 10, n. 690, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae10070690>.

SANTOS, L. S. *et al.* Contribuições das plantas para comunidades locais e tradicionais no Delta do Parnaíba, Brasil: uma revisão. **Hoehnea**, v. 51, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/2236-8906e192022>.

SANTOS, R. M.; NOGUEIRA, K. L.; CHAPLA, V. M. Composição química e atividade antioxidante de óleos essenciais das folhas da *Schinus terebinthifolius* e *Siparuna guianensis*. **Revista Virtual de Química**, [S.l.], no prelo, p. 1–6, 2023. DOI: <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20220119>.

SCHULTZ, G.; PETERSON, C.; COATS, J. Natural Insect Repellents: Activity against Mosquitoes and Cockroaches. In: RIMANDO, A. M.; DUKE, S. O. **Natural Products for Pest Management**, v. 927, American Chemical Society: Washington DC, p. 168-181. DOI: <https://doi.org/10.1021/bk-2006-0927.ch013>

SHAHIDI, F.; SAMARASINGHE, A. How to assess antioxidant activity? Advances, limitations, and applications of in vitro, in vivo, and ex vivo approaches. **Food Production Processing and Nutrition**, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43014-025-00326-z>.

SILVA, R. V. *Nematoides fitoparasitas: métodos de controle e mecanismos de sobrevivência*. 2022. 35 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2022.

SILVEIRA, G. D. *Estudo da atividade antioxidante *in vitro* e caracterização cromatográfica em extratos de plantas medicinais da Amazônia*. 2014. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

SOARES, I. M. *et al.* Application of a degreasing process and sequential ultrasound-assisted extraction to obtain phenolic compounds and elucidate the potential antioxidant of *Siparuna guianensis* Aublet. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 11, n. 21, p. 357–366, 2017. DOI: 10.5897/JMPR2017.6387.

SOBRINHO, A. C. N. *et al.* Antiviral activity on the Zika virus and larvicidal activity on the *Aedes* spp. of *Lippia alba* essential oil and  $\beta$ -caryophyllene. **Industrial Crops and Products**, v. 162, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113281>.

SOUSA, B. N. *Composição química do óleo essencial de pequi (Caryocar brasiliense Cambess) e atividade nematicida no controle de Meloidogyne javanica*. 2020. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Instituto Federal Goiano, Campus Morrinhos, Morrinhos, 2020.

SOUSA, C. M. M. *et al.* Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 351-355, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200021>.

SOUSA, D. P. de. *et al.* Essential oils: chemistry and pharmacological activities. **Biomolecules**, v. 13, n. 1144, 2023. DOI: [10.3390/biom13071144](https://doi.org/10.3390/biom13071144).

SOUZA, J. A. T. *et al.* Chemical composition and seasonal variation of the volatile oils from *Siparuna guianensis* Aubl. leaves collected from Monte do Carmo, Tocantins. **Research, Society and Development**, Itajubá, v. 11, n. 1, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i1.24908>.

SOUZA, J. N. P. *et al.* Bioprospecção das atividades antioxidante e antimicrobiana de espécies vegetais medicinais coletadas em Ouro Preto-MG. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v. 10, n. 1, p. 1–15, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5216/ref.v10i1.18635>.

STRADA, C. L. *et al.* Avaliação do potencial antioxidante do isolado a partir de *Siparuna guianensis*. **Anais da 33ª Reunião Anual da SBQ**, 2010. Disponível em: <https://www.s bq.org.br/33ra/cdrom/resumos/T0426-1.pdf>. Acesso em. 16 out. 2025.

SUCUPIRA, N. R. *et al.* Métodos para determinação da atividade antioxidante de frutos. **UNOPAR Científica – Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 14, n. 4, p. 263–269, 2012. DOI: <https://doi.org/10.17921/2447-8938.2012v14n4p%25p>.

VALENTINI, C. M. A.; RODRÍGUEZ-ORTÍZ, C. E.; COELHO, M. F. B. *Siparuna guianensis* Aublet (negramina): uma revisão. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 12, n. 1, p. 96-104, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-05722010000100014>.



VALENTINI, C. M. A. *et al.* Variação anual do rendimento e composição química dos componentes voláteis da *Siparuna guianensis* Aublet. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 7, p. 1506-1509, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000700015>.

VAN DEN DOOL, H.; KRATZ, P. D. A generalization of the retention index system including linear temperature programmed gas-liquid partition chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 11, p. 463-471, 1963. DOI: [https://doi.org/10.1016/S00219673\(01\)80947-X](https://doi.org/10.1016/S00219673(01)80947-X).

VIEGAS M. C.; BASSOLI, D.G. UTILIZAÇÃO DO ÍNDICE DE RETENÇÃO LINEAR PARA CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS VOLÁTEIS EM CAFÉ SOLÚVEL UTILIZANDO GC-MS E COLUNA HP-INNOWAX. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 2031-2034, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/6cRCxBrFZZZ9z4yscDPSHRm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 8. ago. 2025.

VIEGAS JR, C.; BOLZANI, V.S.; BARREIRO, E.J. Os produtos naturais e a química medicinal moderna. **Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 326-337, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/gQqYVTzykDtcSVtKvYDxWTP/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 8. ago. 2025.

VIEITIZ, I.; MACEIRAS, L., JACHMANIÁN, I.; ALBÓRES, S. The Journal of Supercritical Fluids Antioxidant and antibacterial activity of different extracts from herbs obtained by maceration or supercritical technology. **The Journal of Supercritical Fluids**, 133, p. 58-64, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.09.025>.

VIGNERON, M. *et al.* Antimalarial remedies in French Guiana: A knowledge attitudes and practices study. **Journal of Ethnopharmacology**, v.98, n. 3, p.351-360, 2005. DOI: 10.1016/j.jep.2005.01.049.

VILANCULO, O. M. M., *et al.* Antimicrobial activity and chemical constituents of *Siparuna guianensis* (Siparunaceae). **Chemistry & Biodiversity**, v. 0, ed. 1388, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1002/cbdv.202501388>.

TENFEN, A. *et al.* Chemical composition and evaluation of the antimicrobial activity of the essential oil from leaves of *Eugenia platysema*. **Natural Product Research**, v. 30, n. 17, p. 2007–2011, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2015.1107056>.

TIT, D. M.; BUNGAU, S. G. Antioxidant activity of essential oils. **Antioxidants**, v. 12, n. 383, 2023. DOI: [10.3390/antiox12020383](https://doi.org/10.3390/antiox12020383).

TOLEDO, A. G. *et al.* CHEMICAL COMPOSITION, ANTIMICROBIAL AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF THE ESSENTIAL OIL OF LEAVES OF *Eugenia involucrata* DC. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 2, p. 568-577, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v36n2a2020-48096>.

ZELJKOVIĆ, S. C. *et al.* Antiviral activity of selected *Lamiaceae* essential oils and their monoterpenes against SARS-CoV-2. **Frontiers in Pharmacology**, v. 13, 2022. DOI: [10.3389/fphar.2022.893634](https://doi.org/10.3389/fphar.2022.893634).

ZHAO, H. *et al.* Peppermint essential oil: its phytochemistry, biological activity, pharmacological effect and application. **Biomedicine & Pharmacotherapy**, v. 154, 2022. DOI: [10.1016/j.biopha.2022.113559](https://doi.org/10.1016/j.biopha.2022.113559).

ZUCCOLOTTO, *et al.* Chemical, antioxidant, and antimicrobial evaluation of essential oils and an anatomical study of the aerial parts from *Baccharis* species (Asteraceae). **Chemistry & Biodiversity**, v. 16, 2019. DOI: 10.1002/cbdv.201800547.