

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO
CAMPUS MORRINHOS
LICENCIATURA EM QUÍMICA

RHUAN EMMANUEL SILVA MENDES

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE ÓLEO DE CAPIM LIMÃO (*Cymbopogon spp.*) E
AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E TEOR DE COMPOSTOS
FENÓLICOS TOTAIS**

MORRINHOS – GO
2025

RHUAN EMMANUEL SILVA MENDES

TRABALHO DE CURSO

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE ÓLEO DE CAPIM LIMÃO (*Cymbopogon spp.*) E
AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E TEOR DE COMPOSTOS
FENÓLICOS TOTAIS**

Trabalho de curso apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, campus Morrinhos, como um dos requisitos para a obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Dr. Erwing Bergamo Paiva;
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**

M538 Emmanuel Silva Mendes, Rhuan
 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DE ÓLEO DE CAPIM
 LIMÃO (*Cymbopogon spp.*) E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE
 ANTIOXIDANTE E TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS
 TOTAIS / Rhuan Emmanuel Silva Mendes. Morrinhos 2025.

51f. il.

Orientador: Prof. Dr. Erwing Bergamo Paiva.
Coorientadora: Profª. Dra. Alessandra Cristina Tomé.
Tcc (Licenciado) - Instituto Federal Goiano, curso de 0422155 -
[MO.GRAD] Licenciatura em Química - Morrinhos (Campus
Morrinhos).

1. capim-limão. 2. óleo essencial. 3. capacidade antioxidante. 4.
composto fenólicos. I. Título.

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, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

Tese (doutorado)	Artigo científico
Dissertação (mestrado)	Capítulo de livro
Monografia (especialização)	Livro
TCC (graduação)	Trabalho apresentado em evento

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

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

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

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

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que 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;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, 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;
- Que cumpriu 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.

/ /

Local

Data

Documento assinado digitalmente



RHUAN EMMANUEL SILVA MENDES

Data: 09/01/2026 22:49:22-0300

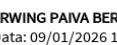
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:



Documento assinado digitalmente



ERWING PAIVA BERGAMO

Data: 09/01/2026 18:00:43-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a)



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

Ata nº 107/2025 - CCEG-MO/CEG-MO/DE-MO/CMPMHOS/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CURSO

Aos dezessete dias do mês de dezembro de 2025, às 15h30min, na sala 01 do bloco da Química no IF Goiano - campus Morrinhos, reuniu-se a banca examinadora composta pelos docentes Carla de Moura Martins (membro), Deomar Plácido da Costa (membro) e Erwing de Paiva Bergamo (presidente da banca e orientador), para examinar o Trabalho de Curso (TC) intitulado "Caracterização química de óleo de capim limão (*Cymbopogon spp.*) e avaliação da atividade antioxidante e teor de compostos fenólicos totais" do discente Rhuan Emmanuel Silva Mendes, matrícula nº 2021104221550010, 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 8,7. Ao final da sessão pública de defesa foi lavrada a presente ata que segue assinada pelos membros da Banca Examinadora.

(Assinado Eletronicamente)

Profa. Dra. Carla de Moura Martins

Avaliadora

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. Deomar Plácido da Costa

Avaliador

(Assinado Eletronicamente)

Prof. Dr. Erwing Paiva Bergamo

Orientador

Documento assinado eletronicamente por:

- Carla de Moura Martins, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 18/12/2025 15:03:14.
- Erwing Paiva Bergamo, COORDENADOR(A) DE CURSOS - FUC0001 - CCLQ-MO , em 23/12/2025 19:49:23.
- Deomar Placido da Costa, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO , em 23/12/2025 20:09:45.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 16/12/2025. 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: 775542

Código de Autenticação: 602f289c68



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Morrinhos
Rodovia BR-153, Km 633, Zona Rural, SN, Zona Rural, MORRINHOS / GO, CEP 75650-000
(64) 3413-7900

Dedico este trabalho a todas que abdicaram de algo para que eu chegassem aqui, sejam horas de sono, finais de semana trabalhados ou qualquer outra coisa em função disso.

RESUMO

O capim-limão (*Cymbopogon spp.*) é uma planta amplamente utilizada na medicina tradicional e na indústria de alimentos devido às suas propriedades terapêuticas, especialmente relacionadas à atividade antioxidante. O objetivo desse trabalho, foi realizar a caracterização química do óleo essencial extraído por hidrodestilação, bem como a avaliação da atividade antioxidante e do teor de compostos fenólicos totais de extratos obtidos com diferentes solventes: metanol, acetona, hexano e éter de petróleo. A caracterização por CG-EM revelou predominância dos isômeros do citral (52,36%), além de outros compostos como geraniol, β -pineno/ β -mirceno e Ácido Hexanodioico, Éster Bis(2-Etilhexil). A atividade antioxidante foi determinada pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP, enquanto os compostos fenólicos totais foram quantificados pelo método de *Folin-Ciocalteu*. Os resultados demonstraram que a polaridade do solvente exerce forte influência sobre a extração dos compostos bioativos. O metanol apresentou melhor desempenho em todos os testes, alcançando os maiores valores para extração dos compostos fenólicos ($307,56 \pm 18,15$ mg EAG/g de extrato) e elevada capacidade antioxidante nos ensaios ABTS ($28,64 \pm 0,88$ μ mol Trolox/g de extrato) e FRAP ($40,23 \pm 0,69$ μ mol FeSO₄/g de extrato). Hexano e éter de petróleo, solventes de baixa polaridade, tiveram os piores desempenhos. Assim, a extração com solventes mais polares demonstrou ser mais eficiente para compostos com perfil fenólico e antioxidante. Os dados obtidos corroboram com estudos prévios e reforçam o potencial bioativo do capim-limão, bem como a importância da escolha adequada do solvente no processo de extração.

Palavras – chave: capim-limão; óleo essencial; capacidade antioxidante; composto fenólicos.

ABSTRACT

Lemongrass (*Cymbopogon spp.*) is a plant widely used in traditional medicine and the food industry due to its therapeutic properties, especially those related to antioxidant activity. The objective of this study was to perform the chemical characterization of the essential oil extracted by hydrodistillation, as well as to evaluate the antioxidant activity and the total phenolic content of extracts obtained using different solvents: methanol, acetone, hexane, and petroleum ether. Characterization by GC–MS revealed a predominance of citral isomers (52.36%), in addition to other compounds such as geraniol, β -pinene/ β -myrcene, and hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester. Antioxidant activity was determined using the DPPH, ABTS, and FRAP methods, while total phenolic compounds were quantified using the Folin–Ciocalteu method. The results demonstrated that solvent polarity strongly influences the extraction of bioactive compounds. Methanol showed the best performance in all tests, achieving the highest values for phenolic compound extraction (307.56 ± 18.15 mg GAE/g extract) and high antioxidant capacity in the ABTS (28.64 ± 0.88 μ mol Trolox/g extract) and FRAP (40.23 ± 0.69 μ mol FeSO₄/g extract) assays. Hexane and petroleum ether, low-polarity solvents, showed the poorest performance. Thus, extraction with more polar solvents proved to be more efficient for compounds with a phenolic and antioxidant profile. The data obtained corroborate previous studies and reinforce the bioactive potential of lemongrass, as well as the importance of appropriate solvent selection in the extraction process.

Keywords: lemongrass; essential oil; antioxidant capacity; phenolic compounds.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 OBJETIVOS	8
2.1 Objetivo Geral	8
2.2 Objetivos Específicos	8
3 JUSTIFICATIVA.....	9
4 REFERENCIAL TEÓRICO	10
4.1 Descrição Macro e Microscópica do Capim Limão	10
4.2 Estresse oxidativo e compostos antioxidantes.....	12
4.3 Métodos de determinação da atividade antioxidante e compostos fenólicos	13
4.4 Metabólicos Secundários.....	15
4.4.1 Compostos Fenólicos.....	17
4.4.2 Terpenos.....	19
4.4.3 Alcaloides	21
5 METODOLOGIA.....	24
5.1 Coleta e separação do Material Vegetal.....	24
5.2 Extração do óleo essencial.....	24
5.3 Caracterização do óleo essencial	24
5.4 Preparo do extrato.....	25
5.5 Atividade Antioxidante	25
5.5.1 Análise pelo método DPPH	25
5.3.2 Análise pelo método FRAP	26
5.3.3 Análise pelo método ABTS	27
5.4 Compostos Fenólicos Totais	28
5.5 Análise Estatística.....	28
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
6.1 Caracterização	30
6.2 Atividade Antioxidante e Compostos Fenólicos.....	32
7 CONCLUSÃO.....	36
REFERÊNCIAS	37
APÊNDICE A – RESULTADOS DPPH EXPRESSOS EM IC₅₀.....	42
ANEXO A - ESPECTROS DE MASSA.....	43

1 INTRODUÇÃO

Dentre os biomas brasileiros, o Cerrado é o segundo maior, atrás apenas da Amazônia, cobrindo uma área de quase 2 milhões de quilômetros quadrados, ou seja, cerca de 23% de toda área territorial brasileira. Além de ser um dos maiores em área, também abrange uma das maiores e mais complexas biodiversidade do país, mas que, por conta das monoculturas e pecuária extensiva, vem cada vez sendo mais explorado e degradado. Essa degradação representa a perca de diversas plantas medicinais que poderia ser utilizada para o tratamento de doenças, além da multiplicidade de aplicações farmacêuticas, industriais, cosméticas e agrícolas (Evaristo; Ghesti; Areda, 2024).

Um dos modos de se estimular a preservação desse bioma é o investimento em pesquisas relacionadas à compreensão fitoquímica de vegetais associados a tal. Na Química, a área que se desdobra em estudar tais vegetais é a Química de Produtos Naturais, a qual, busca compreender os metabólitos secundários, suas vias de biossíntese e seu papel no meio ambiente. Por apresentarem vasta diversidade e complexidade estrutural, esses metabólitos podem apresentar uma série de propriedades biológicas que possam ser de interesse à indústria farmacêutica, de cosméticos e até mesmo ao setor agroquímicos (Bauermeister *et al.*, 2024).

Um dos vegetais que se adaptou muito bem ao Cerrado Brasileiro é o capim limão, vegetal da família das gramíneas e pertencente ao gênero *Cymbopogon*, apresenta rápido crescimento e está presente em diversas aplicações no dia a dia das pessoas, principalmente por suas propriedades fito medicinais, em que muitas das vezes é associado ao tratamento de pressão alta, falta de apetite ou dores intestinais. Essas propriedades podem estar relacionadas à composição química de seu óleo: monoterpenos, sendo o majoritário o citral, uma mistura de dois isômeros, o nerol e geranal. Além disso, são associadas propriedades antioxidantes a esses compostos, ou seja, de combate das espécies reativas de oxigênio (ROS), que em excesso no organismo humano, pode causar uma grande diversidade de problemas, como envelhecimento precoce e até mesmo câncer (Abdulazeez *et al.*, 2016; Zhao *et al.*, 2024 e Nacer *et al.*, 2024).

No entanto, a extração e caracterização de compostos que apresentam atividade antioxidante depende de inúmeros fatores, como o solvente utilizado para o preparo do extrato, quantificação da amostra e até mesmo, tipo de região do vegetal ao qual a amostra foi coletada. Por isso, o presente trabalho analisou como varia a capacidade antioxidante de extratos preparados do capim limão, utilizando quatro solventes diferentes: metanol, acetona, hexano e éter de petróleo. Para isso, foram utilizados três métodos de avaliação de atividade antioxidante:

ABTS, DPPH e FRAP. Também, seu buscou compreender a composição química do óleo essencial de tal vegetal.

Outros trabalhos, na mesma área, antecedem o presente, como o escrito por Chuyen e colaboradores (2017) em que avaliaram o impacto do uso de diferentes solventes (etanol, acetona, hexano e acetato de etila) e condições de extração para o teor de carotenoides, compostos fenólicos e atividade antioxidante de extratos de *Gac Peel*. Em seus resultados, ressaltou que o uso de diferentes solventes produziu diferença significativa nos resultados, sendo o etanol aquele que levou à maior eficiência na extração de compostos fenólicos e o acetato de etila com maior eficiência na extração de carotenoides. Já o hexano apresentou pior resultado na extração de fenólicos. Se tratando de atividade antioxidante, o etanol, acetona e acetato de etila apresentaram resultados similares, mas com o hexano com resultados inferiores aos outros extratos.

Chuyen e colaboradores (2017) justificam seus resultados ao fato de que compostos fenólicos e carotenoides são mais facilmente extraídos por solventes altamente polarizados, sendo que, tais substâncias apresentam caráter elevado de polaridade, os fenóis devido ao grupamento OH em sua extremidade e os carotenoides devido a dupla ligação alternada presente em sua cadeia aberta. Tal polaridade não é observada no hexano, por ser um hidrocarboneto saturado de cadeia aberta.

Resultados similares podem ser observados no trabalho de Filho & Castro (2019), em que avaliaram o impacto do uso de diferentes solventes na extração de compostos fenólicos de farinhas do fruto de Jatobá do Cerrado. Nesse estudo, o solvente com maior eficiência na extração de compostos fenólicos totais para a farinha da casca foi o etanol (80% etanol e 20% água), com diferença significativa em testes estatísticos realizados. Já para a farinha do arilo foram a água e metanol puros. No entanto, o solvente com menor rendimento foi a água, algo justificado de forma similar ao realizado por Chuyen e colaboradores (2017). Outro detalhe importante ressaltado por esses autores foi que a composição química do vegetal pode variar, a depender de inúmeras variáveis, como tipo de solo, influência hídrica, sazonalidade, luminosidade e região de plantio, por isso, esses dados devem ser levados em consideração ao se analisar os resultados do presente trabalho.

Considerando que diferentes solventes possuem distintas capacidades de extração de metabólitos, coloca-se como problemática compreender como se caracteriza quimicamente o óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon spp.*), bem como em que medida a escolha do solventes influencia a atividade antioxidante e o teor de compostos fenólicos totais de extratos produzidos a partir desse mesmo vegetal.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a capacidade antioxidante de diferentes extratos (produzidos com metanol, acetona, hexano e éter de petróleo) do capim-limão (*Cymbopogon spp*) além da caracterização do óleo essencial da planta.

2.2 Objetivos Específicos

- Extrair o óleo essencial do capim limão *in natura*, utilizando aparelho Clevenger;
- Caracterizar o óleo via cromatografia gasosa acoplado ao espectrômetro de massas;
- Preparar os extratos de capim limão nos solventes metanol, acetona, hexano e éter de petróleo;
- Determinar a atividade antioxidante dos extratos por meio dos métodos DPPH, FRAP e ABTS;
- Determinar a concentração de compostos fenólicos pelo método de *Folin-Ciocalteu*.

3 JUSTIFICATIVA

Uma das características relacionadas aos fitocompostos em plantas, é sua variabilidade de acordo com uma série de fatores, como, localização geográfica, sazonalidade, altitude, clima e composição do solo. Diante disso, inúmeras pesquisas se fazem necessário para se compreender com maior complexidade como esses fatores podem afetar a composição do óleo essencial de plantas, assunto que, não apenas um estudo conseguirá esgotar, sendo necessário o empenho de inúmeros pesquisadores ao longo do mundo (Muscolo; Mariateresa; Giulio; Mariateresa, 2024).

Além disso, a maior compreensão da composição Química desses vegetais permite seu uso mais consciente e maior aproveitamento de suas partes, podendo, por exemplo, uma região da planta apresentar maior concentração de compostos antioxidantes em detrimento à outra, o que por vezes, permitirá isolar essa região e realizar as extrações a partir desta, além de permitir a escolha do método e solventes mais adequados, possibilitando o escalonamento e aplicações industriais (Shi *et al.*, 2022).

Já por outro lado, as aplicações relacionadas aos compostos antioxidantes são inúmeras, como o estudo realizado por Tomé e colaboradores (2022) e Rosa e Pintro (2022), que utilizaram em seus estudos compostos que apresentam capacidade antioxidante para inibir a oxidação lipídica de carnes e derivados, o que permite a conservação de alimentos por mais tempo, aumentando, assim, a qualidade de alimentos em substituição aos conservantes sintéticos.

Há estudos relacionando o uso de fitocompostos com atividade antioxidante às propriedades antivirais, antifúngicas e antibióticas, por defender os organismos das plantas do ataque de microrganismos patogênicos, além da proteção dos compostos à radiação ultravioleta (UV). Propriedades medicinais também, são, com frequência associadas a esses compostos, como atividade antimutagênica, anti-inflamatória e antidiabética, por controlar os efeitos degenerativos causados pelas espécies de oxigênio reativas, que desencadeiam stress oxidativo no corpo humano (Muscolo; Mariateresa; Giulio; Mariateresa, 2024; Shi *et al.*, 2022; Mehmood, *et al.*, 2022).

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Descrição Macro e Microscópica do Capim Limão

O capim limão (Figura 1) é um vegetal da família das gramíneas (*Poaceae*), pertencente do gênero *Cymbopogon*, que engloba cerca de 55 espécies, todas, comumente chamadas de capim limão, erva cidreira, capim cidreira, capim santo ou capim cidrão. Seu cultivo ocorre em localidades com clima tropical ou semitropical, como Ásia, África, América Central e do Sul. Deve ser plantado em solos drenados, com valores de pH entre 4,3 e 8,4. Apresenta aspectos de moita, com rizomas de 1,3 a 2,5cm e folhas com cerca de 1,2 metros de altura e 15cm de largura, variando de acordo com as condições climáticas e de cultivo, mas, quando cultivada de forma comercial, gera cerca de duas podas no ano (Abdulazeez *et al.*, 2016).

Figura 1 – capim limão.

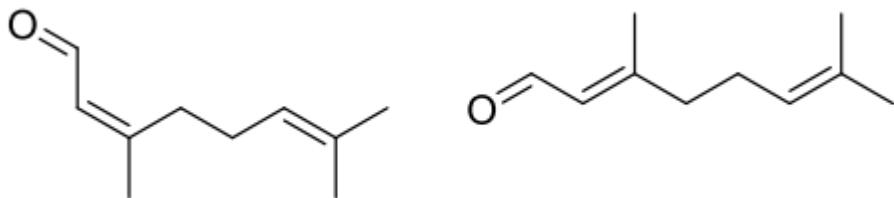


Fonte: o autor.

Seu uso é comum em países tropicais, como no Brasil, para tratamento de pressão alta, dores abdominais, falta de apetite, diarreia e outros, a partir do seu preparo em formato de chás, infusões ou consumo no formato de panificados, como bolos e pães. Esses usos, além de creres populares, também pode estar associado à composição química de seu óleo essencial, que apresenta concentrações consideráveis de terpenos, fenóis, cetonas e açúcares, sendo composto principalmente pelos isômeros ópticos do Citral: Geranal ((2E)-3,7-dimetilocta-2,6-dienal, citral A ou isômero E) e Neral ((2Z)-3,7-dimetilocta-2,6-dienal, citral B ou isômero Z) que podem ser observados na Figura 2. No entanto, outros componentes em menor proporção,

também podem estar presentes, como o mirceno, pineno e geraniol (Abdulazeez *et al.*, 2016; Guimarães *et al.*, 2008; Nacer *et al.*, 2024; Zhao *et al.*, 2024).

Figura 2 – Moléculas do *cis*-citrал (Neral ou citral b) à esquerda; *trans*-citrал (Geranal ou citral a) à direita.



Fonte: adaptado de Nacer *et al.*, 2024.

Tais compostos, listados acima, podem apresentar atividade biológica, mais especificamente, atividade antioxidante (Nacer *et al.*, 2024). Sendo esta, a capacidade de combater radicais livres que possam gerar algum tipo de dano oxidativo nos organismos vivos, como danos ao DNA, proteínas e organelas, causando diversas patologias, como doenças degenerativas, envelhecimento precoce, câncer, doenças cardiovasculares e neurológicas. O corpo humano consegue sintetizar parte dos antioxidantes necessários para realizar o combate desses radicais livres, mas, quando essa produção é insuficiente, é necessário o consumo desses antioxidantes, a fim de se evitar esse estresse oxidativo das células, o que acarreta as patologias citadas anteriormente (David *et al.*, 2010).

Microscopicamente, as folhas do capim limão apresentam células epidérmicas com formato retangular e alongadas, com estômatos dispostos linearmente ao longo da folha, presentes em ambas as faces da folha. Há ocorrência de células epidérmicas lignificadas próxima às raízes e em faixas da epiderme, conferindo rigidez, resistência e impermeabilidade as folhas. Também, foi detectado a presença de tricomas tectores, responsáveis por promover resistência mecânica e evitar a transpiração em excesso (Duarte; Zaneti, 2004).

Seu óleo essencial apresenta odor característico, herbal, similar ao aroma de limão. Além de seus usos na medicina popular, é empregado na indústria como aromatizante de perfumes e cosméticos, além de material para síntese de iononas, metil-iononas e vitamina A. No entanto, na presença de oxigênio, luz, umidade, metais e calor pode ser instável, o que leva a sua degradação e formação de inúmeros contaminantes, além de, que, caso o processo de extração não seja muito bem controlado, essa formação pode ocorrer antes mesmo do armazenamento. Logo, as condições de extração e armazenamento do óleo essencial devem ser

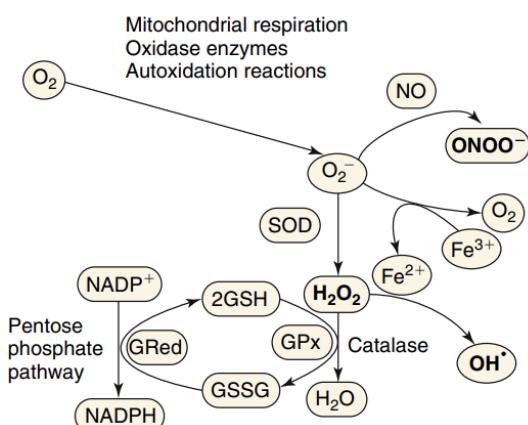
muito bem conhecidas e controladas para a garantia da qualidade do óleo e cumprimento de suas funções (Guimarães *et al.*, 2008).

4.2 Estresse oxidativo e compostos antioxidantes

As principais moléculas que causam o stress oxidativo são as espécies reativas de oxigênio (ROS, do inglês *reactive oxygen species*), formadas a partir do metabolismo aeróbico, que por um lado, são essenciais para a transdução de sinais, além da fisiologia cardiovascular, mas por outro, quando em excesso, causam malefícios à saúde. As principais reações ocorrem com a formação do íon O_2^{-1} (ânion superóxido) que contém um elétron desemparelhado configurando um radical livre extremamente instável e reativo, que pode reagir diretamente com outras moléculas oxigenadas ou indiretamente com outros compostos orgânicos, como os ácidos nucleicos, acarretando a desregulação ou parada do funcionamento celular. No entanto, essas propriedades também vêm sendo estudadas no combate de microrganismos infecciosos. Já os antioxidantes, ou se ligam a essas moléculas, ou reagem de modo a inativar tal radical livre, protegendo as outras moléculas (Sverdlov; Ngo; Colucci, 2020).

A formação do íon superóxido ocorre principalmente de três modos: respiração mitocondrial; a partir das enzimas oxidases; e a partir da autoxidação de espécies nas células (Figura 3). Sua formação sempre envolve a remoção de um elétron do oxigênio molecular (O_2), mas por meios diferentes. Em vegetais, o principal responsável pela formação do superóxido são os transportadores de elétrons presentes na cadeira transportadora de elétrons mitocondrial, principalmente o NADH desidrogenase do complexo 1, presente na fotossíntese. Nessas cadeia, sua formação ocorre pela reação de Mehler e fluxo de elétrons pseudocíclico (Karpinska; Foyer, 2024).

Figura 3 – Espécies Reativas de Oxigênio.



Fonte: Sverdlov; Ngo; Colucci, 2020.

Uma das classes de compostos antioxidantes, são os compostos fenólicos, ou seja, aqueles que apresentam, em sua composição, um anel aromático ligado ao grupo hidroxila. Nos vegetais, os compostos fenólicos são o tipo de antioxidantes mais abundantes presentes, mas quando em excesso, podem causar efeitos indesejados, como o escurecimento de frutos e interações indevidas com proteínas. No entanto, pode influenciar no valor nutricional de alimentos e em sua qualidade sensorial, conferindo propriedades de cor, textura, amargor e/ou adstringência. Outras propriedades são conferidas aos compostos fenólicos, como resistência a microrganismos e pragas que possam afetar os vegetais (Rocha *et al.* 2011).

Além de seus benefícios para saúde, os compostos antioxidantes apresentam outras aplicações. Na indústria de alimentos, os radicais livres presentes em carnes e vegetais podem acarretar sua degradação ao longo do tempo, como o que ocorre em carnes ricas em gorduras, que, podem passar pelo processo de oxidação lipídica, o que dá o sabor conhecido, comumente, como “rançoso”, característico de certos aldeídos, cetonas e ésteres. No entanto, com o uso de compostos antioxidantes, tal processo pode ser retardado, prolongando o período de consumo desse alimento, garantindo uma maior estabilidade em relação aos processos externos (Rosa; Pintro, 2022).

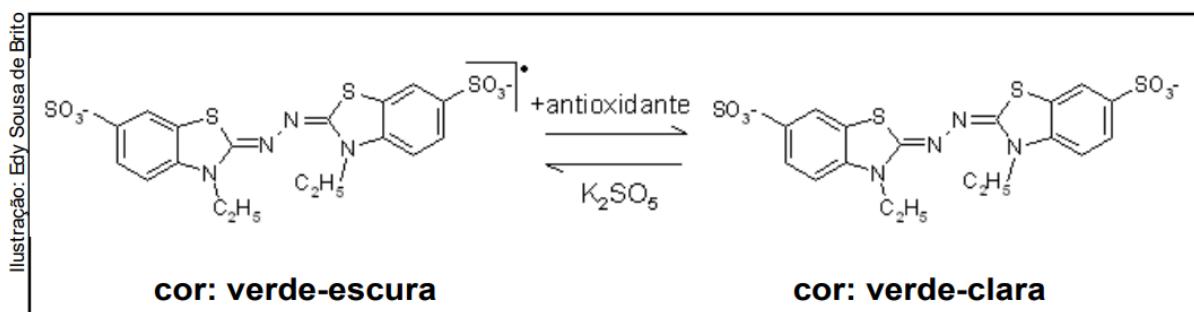
4.3 Métodos de determinação da atividade antioxidante e compostos fenólicos

No presente trabalho foram utilizados três métodos para a determinação da capacidade antioxidante: DPPH, FRAP e ABTS e um método para determinação o teor de compostos fenólicos: *Folin-Ciocalteu*.

O método FRAP (Poder Antioxidante de Redução do Ferro), é realizado em valores baixos de pH e se baseia na redução do Fe^{3+} para o Fe^{2+} , ao qual, quando em solução com o TPTZ (2, 4, 6-tripyridyl-S-triazine) forma um complexo com cor característica azul escura. Sua reação e fórmula estrutural pode ser observada na figura 6. No método ABTS o radical livre ABTS^{+} (2,2'-azinobis(3-etylbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)) é capturado pelos compostos antioxidantes e reformado, pela presença em solução aquosa de persulfato de potássio, entrando em equilíbrio, o que torna a cor característica verde clara, que pode ser lida em espectrofotômetro em 734nm. Sua reação e fórmula estrutural podem ser observados na figura 4 (Tomé; Silva, 2022) .

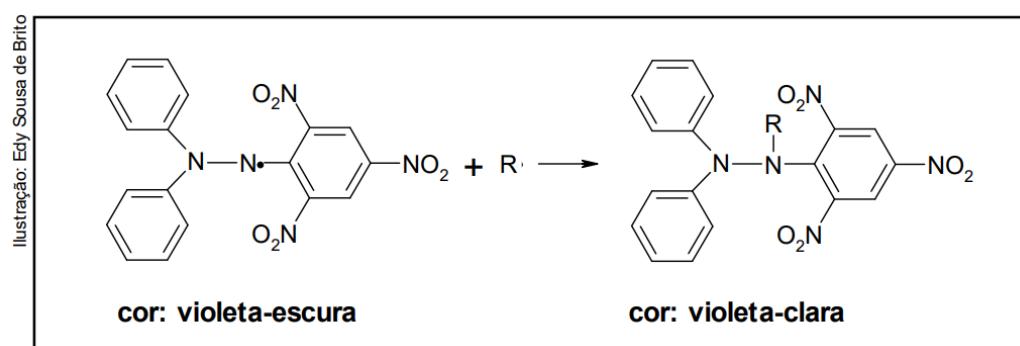
O método DPPH se baseia na descoloração do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) após 20 minutos de reação, como antioxidante da amostra e posterior leitura da absorbância em espectrofotômetro em 517nm. Seus resultados são descritos em porcentagem de descoloração de DPPH em relação à absorbância do branco e do controle. A reação de estabilização do radical pode ser observada na figura 5 (Tomé; Silva, 2022).

Figura 4 – Estabilização do radical ABTS^{•+}



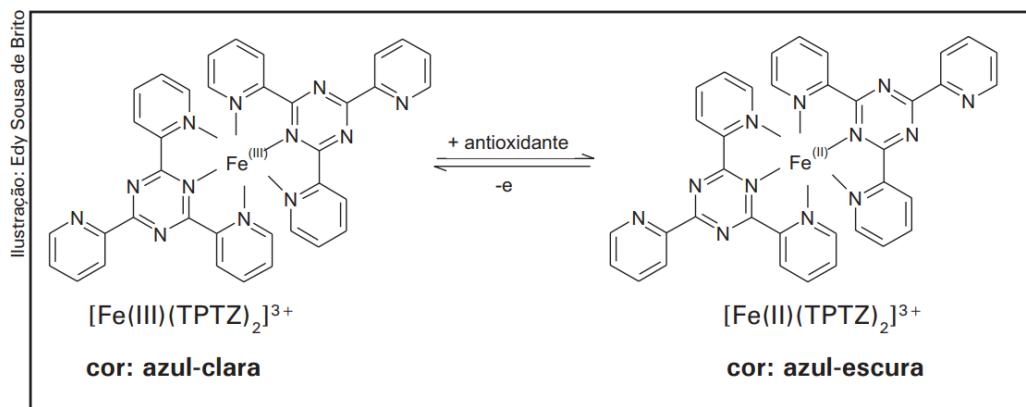
Fonte: Rufino *et al.*, 2007b.

Figura 5- Estabilização do radical DPPH



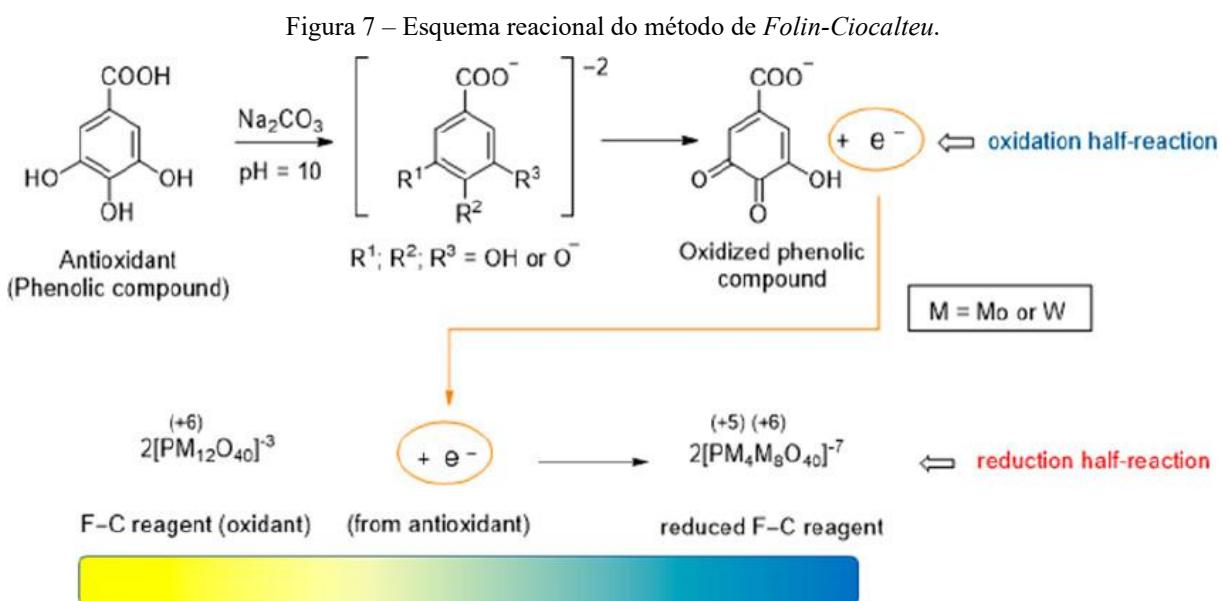
Fonte: Rufino *et al.*, 2007a

Figura 6 – Estabilização do radical FRAP



Fonte: Rufino *et al.*, 2006.

O mecanismo de funcionamento do método de *Folin-Ciocalteu* ocorre pela redução do reagente, composto pela mistura de óxidos de tungstênio e molibdênio, em compostos de cor azulada, com absorção máxima em 765nm, ao passo que, a intensidade da absorção é proporcional à concentração de fenóis presentes na mistura a ser analisada. Seu esquema reacional pode ser observado na figura 7 (Waterhouse, 2002).

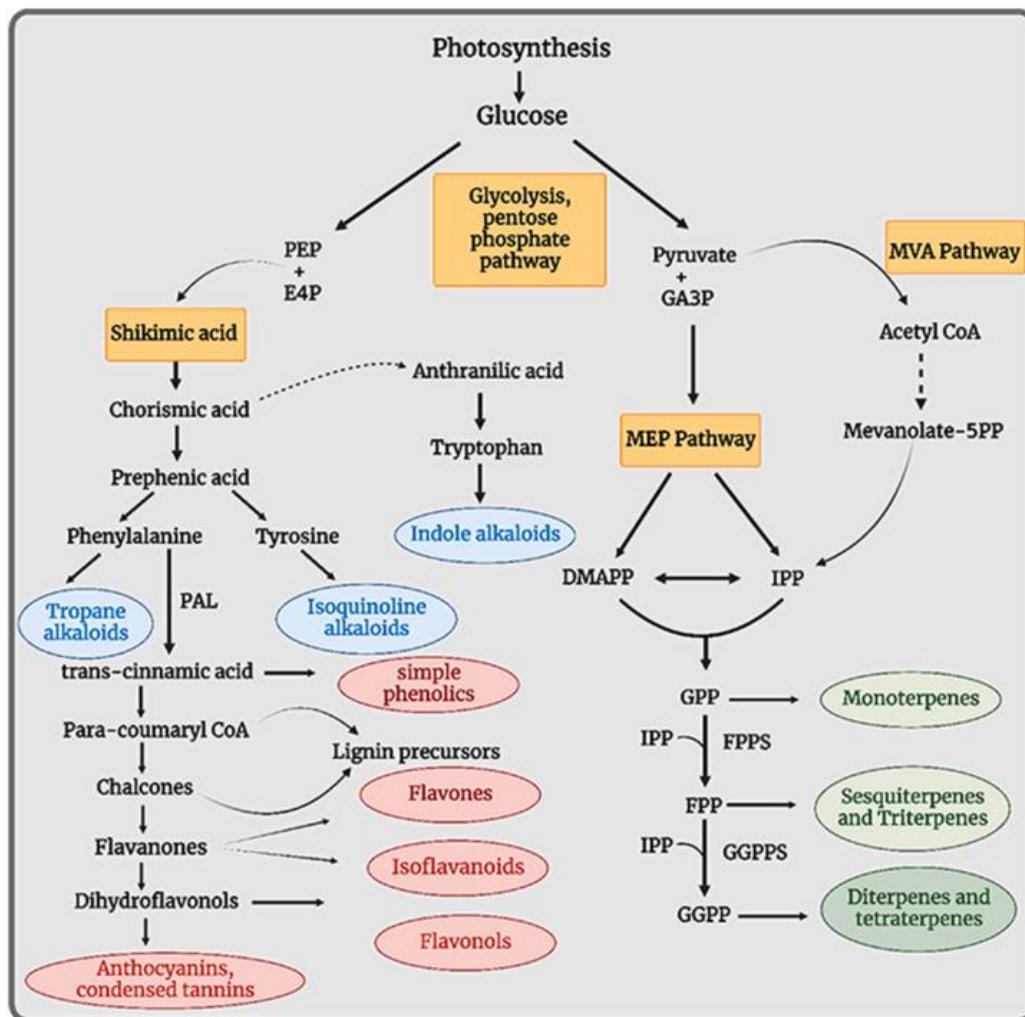


Fonte: Pérez; Dominguez-López; Lamuela-Raventós, 2023.

4.4 Metabólicos Secundários

Inúmeros compostos químicos são sintetizados ou absorvidos pelos vegetais, de modo que, são utilizados para seu crescimento e desenvolvimento, como proteínas, lipídeos e aminoácidos, denominados, metabólitos primários. No entanto, os subprodutos desses compostos são denominados metabólitos secundários (SMs), que não necessariamente estão ligados ao crescimento ou desenvolvimento do vegetal, mas sim, a outros mecanismos, como defesa ou emissão de odores, a fim de se garantir vantagens de sobrevivência e perpetuação da espécie. Devido sua grande complexidade, os SMs podem ser divididos em Compostos Fenólicos, Terpenos e Alcaloides (Paramanik *et al.*, 2024; Martins, 2012). Na Figura 8 é possível observar um esquema simplificado dos mecanismos de formação dos principais metabólitos secundários.

Figura 8 – Esquema das rotas de biossíntese dos Metabólitos Secundários.



Fonte: Hilal; Khan; Fariduddin, 2024.

A Figura 8 ilustra, de forma integrada, as principais rotas bios sintéticas do metabolismo secundário vegetal a partir de intermediários gerados na fotossíntese. A glicose formada é direcionada para vias centrais do metabolismo primário, como a glicólise e a via das pentoses fosfato, originando precursores essenciais (PEP, E4P, piruvato e GA3P). Esses intermediários alimentam a via do ácido chiquímico, responsável pela formação de aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina e triptofano), que atuam como precursores de diversas classes de metabólitos secundários, incluindo alcaloides (indólicos, isoquinolínicos e tropânicos) e compostos fenólicos, como fenóis simples, flavonoides, isoflavonoides, flavonóis, antocianinas e taninos condensados. Paralelamente, a figura destaca as vias do mevalonato (MVA) e do metileritritol fosfato (MEP), responsáveis pela biossíntese de isoprénoides, a partir da formação das unidades isoprénicas IPP e DMAPP, que dão origem a monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos e triterpenos. Dessa forma, o esquema evidencia a forte conexão entre metabolismo

primário e secundário nas plantas, ressaltando como compostos bioativos de interesse químico, biológico e farmacológico derivam de rotas metabólicas bem definidas (Hilal; Khan; Fariduddin, 2024).

4.4.1 Compostos Fenólicos

Um dos grupos mais abundantes na constituição dos vegetais são os compostos fenólicos, constituídos de um anel aromático ligado a uma hidroxila e outros substituintes. A natureza desses substituintes é utilizada para classificar esses compostos em subgrupos, como flavonoides, flavonas e taninos (Pramanik *et al.*, 2024). Nos seres humanos, apresenta capacidade de combater doenças associadas ao estresse oxidativo, devido à presença de elétrons pi, responsáveis pela estabilização do radical, advindo da oxidação do fenol (Martins, 2012).

Podem ser formados por várias rotas metabólicas, sendo a via do ácido chiquímico a mais importante (Figura 9). Ela começa com a união de eritrose-4-fosfato e fosfoenolpiruvato, produzindo um açúcar de sete carbonos que, após etapas de ciclização e redução, é transformado em corismato — molécula-chave na produção de fenólicos. A partir do corismato, surgem os aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, e a fenilalanina é o principal ponto de partida para os fenólicos mais simples. Em seguida, ocorre a via dos fenilpropanoides, onde a fenilalanina sofre desaminação para formar o ácido cinâmico, processo conduzido pela enzima PAL (fenilalanina amônia-liase), originando uma grande variedade de compostos fenólicos. Aproximadamente 20% do carbono fixado pelas plantas entra nessa rota, podendo aumentar em condições de estresse. Como essa via não existe em animais, suas enzimas se tornaram alvos importantes no desenvolvimento de medicamentos, incluindo aqueles voltados para inibir enzimas essenciais de *Mycobacterium tuberculosis*, contribuindo para novas estratégias contra a tuberculose (Hilal; Khan; Fariduddin, 2024).

Os flavonóides, uma das classes de compostos fenólicos mais comuns na natureza, apresentam em sua fórmula estrutural dois anéis aromáticos conectados por uma ponte de três carbonos (C₆-C₃-C₆). Sua presença se relaciona à funções de defesa, seja de raios ultravioleta ou microorganismos; e atração de polinizadores. A via do ácido chiquímico é responsável pela formação de uma das cadeias aromáticas e a ponte de três carbonos, enquanto a rota do acetato, via ácido malônico (Figura 10), gera, a partir do acetil-CoA e 4-cumanil-CoA o outro anel aromático dos flavonoides (Simões *et al.*, 2007).

Figura 9 – Via do ácido chiquímico.

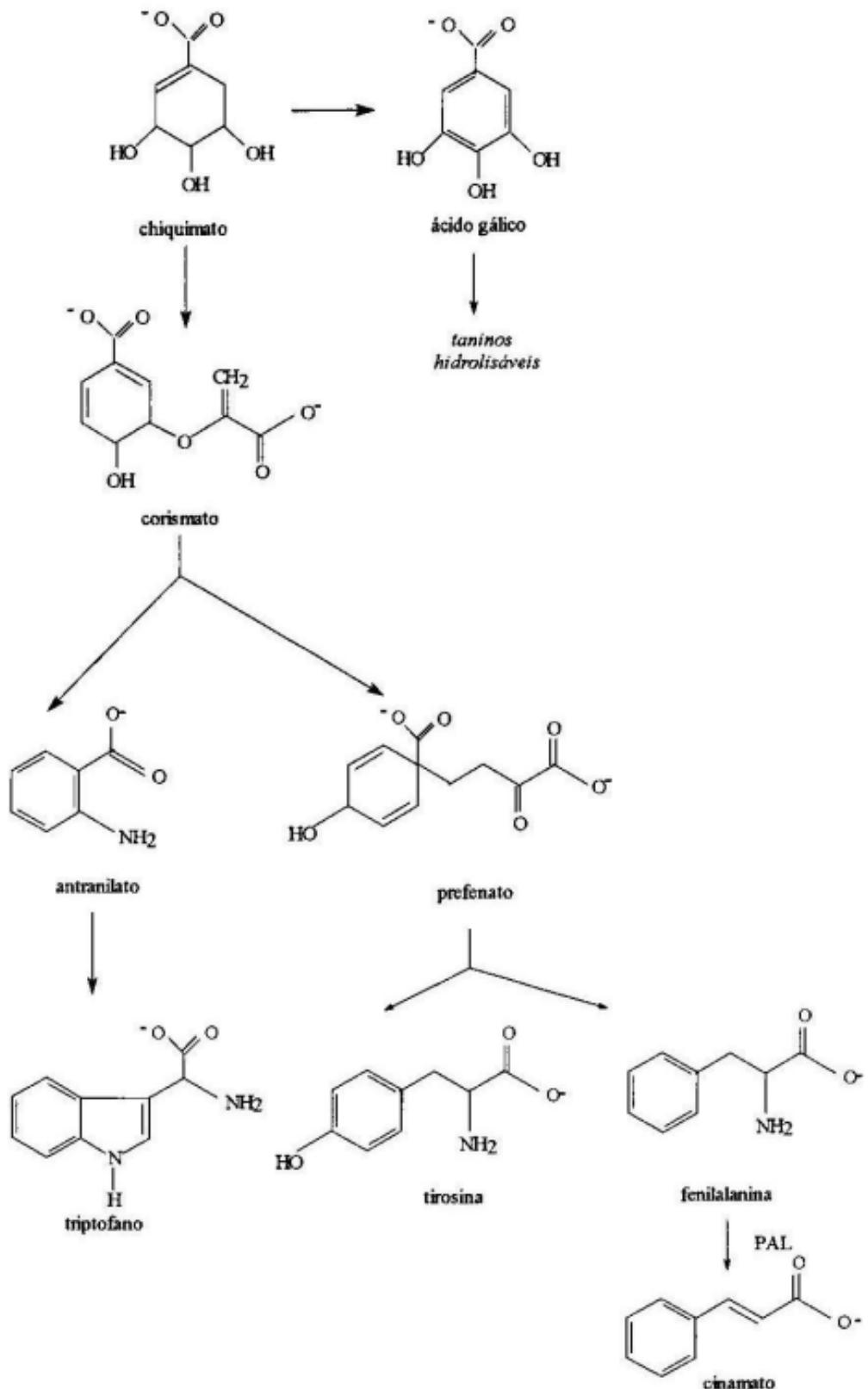
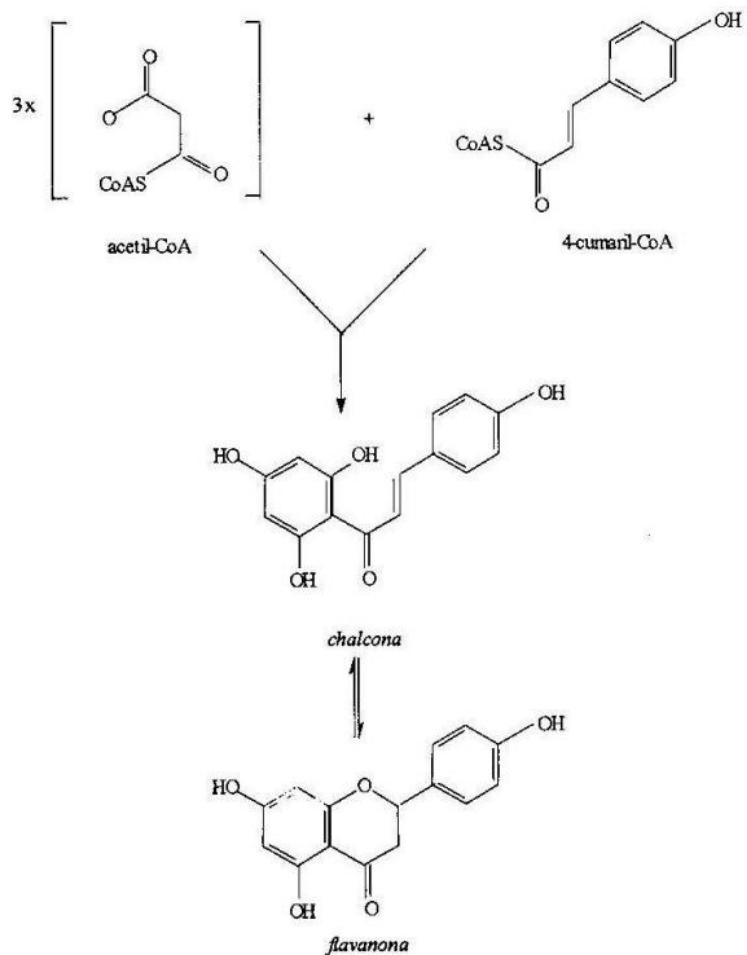
Fonte: Simões *et al.*, 2007.

Figura 10 – Rota do acetato pela via ácido malónico.



Fonte: Simões *et al.*, 2007.

Além de atividade antioxidante, os compostos fenólicos apresentam propriedades anticancer, antiinflamatórias, bactericidas e antisépticas. Nos vegetais, estão presentes em quase toda sua constituição, sendo responsáveis por facilitar a resistência à radiação ultravioleta, agentes patógenos, parasitas e predadores. Na dieta humana, esses compostos estão presentes em grande variedade de alimentos, como cereais, vegetais, legumes, chocolates e bebidas, como café e vinhos (Ozyigit *et al.*, 2023).

4.4.2 Terpenos

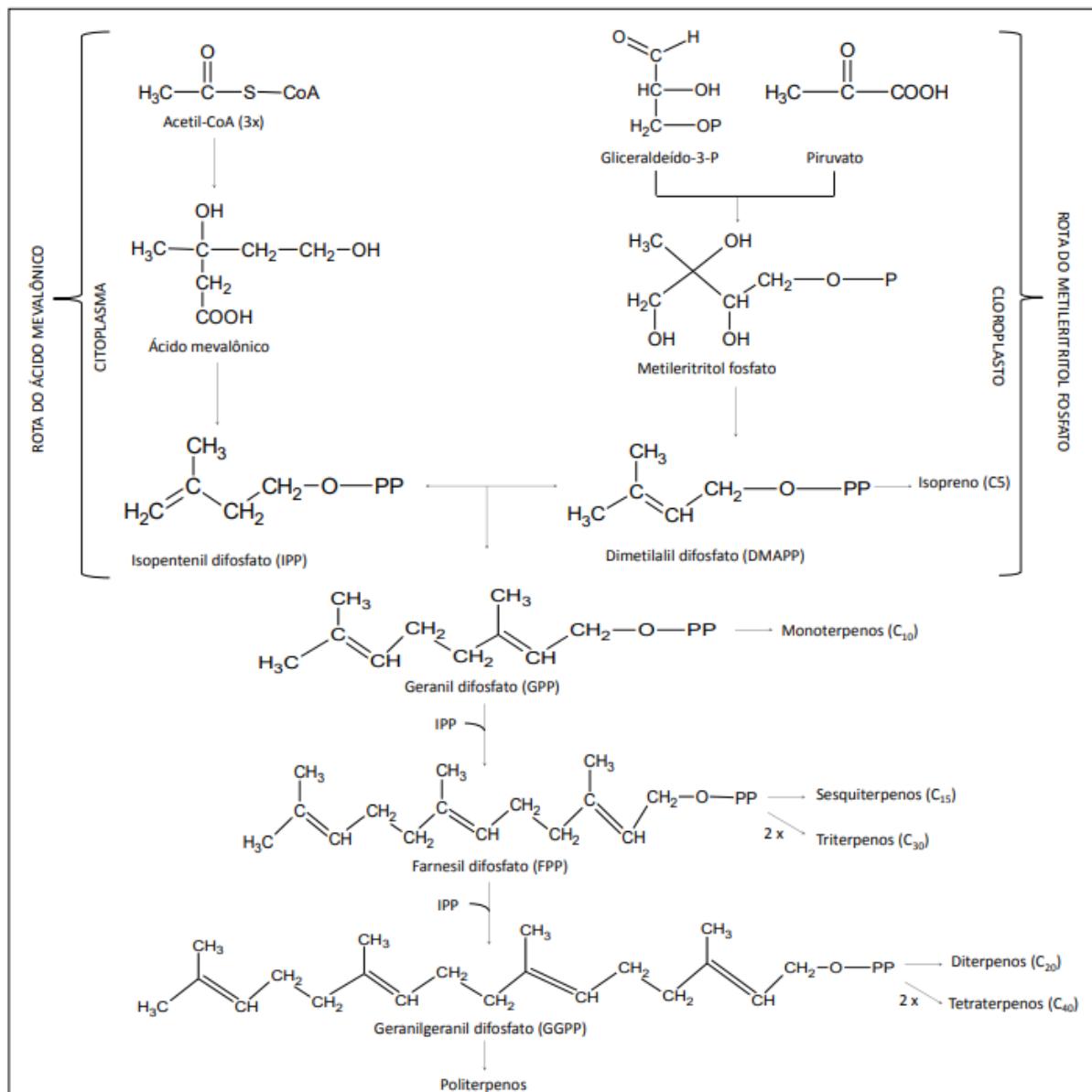
Advindos do isopreno, os terpenos são classificados de acordo com a quantidade de unidades de isoprenos em sua constituição (C_5H_8), sendo, os monoterpenos ($C_{10}H_{16}$ – dois

isoprenos), sesquiterpenos ($C_{15}H_{24}$ – três unidades de isoprenos), diterpenos ($C_{20}H_{32}$ – quatro unidades de isoprenos), triterpenos ($C_{30}H_{48}$ – seis unidades de isoprenos) e tetraterpenos ($C_{40}H_{64}$ – oito unidades de isopreno). Podem ser encontrados em frutas cítricas, pimenta do reino, chás, lavanda e dentre outros. Nesses vegetais, apresentam diversas funções, como proteção à luz, estabilidade de membranas, transferência de elétron e fito hormônios. Já na indústria farmacêutica apresenta aplicações relacionadas à suas propriedades analgésicas e neuro protetoras (Hilal; Khan; Fariduddin, 2024; Martins, 2012).

A produção e o acúmulo de terpenos acontecem em órgãos especializados, como tricomas e ductos de resina, que não realizam fotossíntese e por isso dependem de outros tecidos para obter energia e carbono. Esses compostos surgem a partir de dois precursores de cinco carbonos, isopentenil-difosfato (IPP) e pirofosfato de dimetilalila (DMAPP) gerados por duas rotas metabólicas: a via do ácido mevalônico (MVA), típica de eucariotos e ativa no citoplasma, no retículo endoplasmático e em peroxissomos, e a via do metileritritol fosfato (MEP), de origem procariótica e localizada nos plastídios. Na via MVA, o acetil-CoA passa por diversas reações até formar difosfato de mevalonato (MVA-PP), que após descarboxilação produz o IPP; já a via MEP inicia com (Gliceraldeído-3-P) GAP e piruvato, que após várias etapas produzem IPP e DMAPP. A partir desses precursores, enzimas preniltransferases originam geranil difosfato (GPP), Farnesil difosfato (FPP), Geranilgeranil difosfato (GGPP), esqualeno, fitoeno e unidades maiores que formam os diferentes tipos de terpenos (Hilal; Khan; Fariduddin, 2024). Essas rotas podem ser observadas esquematicamente na Figura 11.

Dentre os terpenos, vale destacar os monoterpenos e sesquiterpenos, principal constituinte de óleos essenciais dos vegetais e utilizados em alimentos como aromatizantes e aditivos em fragrâncias. Na agropecuária e agricultura são utilizados como inseticidas e pesticidas. Por outro lado, nas plantas podem, também, auxiliar na regulação de seu crescimento e tolerância térmica (Ozyigit *et al.*, 2023; Paramanik *et al.*, 2024).

Figura 11 – Esquema das rotas de síntese de terpenos.



Fonte: Garcia; Carril, 2009 *apud* Martins, 2012.

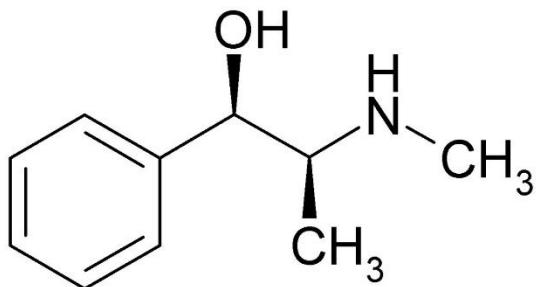
4.4.3 Alcaloides

Os alcaloides são aqueles metabólitos secundários que apresentam nitrogênio em sua constituição. Estão presentes principalmente em angiospermas e utilizados para o tratamento de doenças como epilepsia, problemas cardíacos, picadas de cobra e pressão arterial alta. No entanto, quando utilizados por um longo período podem causar dependência, além de que, quando ministrado em altas doses, apresenta efeitos tóxicos e até mesmo letais, sendo pequenas doses o recomendado. Alguns alcaloides utilizados na medicina são a cafeína, cocaína, morfina, quinina e nicotina (Hilal; Khan; Fariduddin, 2024).

A formação de alcaloides ocorre principalmente em partes específicas das plantas, sendo particularmente concentrada em regiões jovens, vasos de látex, células epidérmicas e hipodérmicas. A maior parte desses compostos tem origem em aminoácidos como triptofano, tirosina e fenilalanina, embora alguns utilizem intermediários da via do ácido mevalônico para formar seu esqueleto carbônico. Os chamados alcaloides verdadeiros e protoalcaloides são produzidos diretamente a partir de aminoácidos como fenilalanina, histidina e triptofano, dando origem a moléculas conhecidas, como morfina, cocaína, quinina e mescalina, usadas em tratamentos neurológicos e psiquiátricos. Já os pseudoalcaloides não vêm de aminoácidos, sendo formados a partir de precursores como derivados de acetato ou estruturas terpenoides, como a cafeína, efedrina e aconitina (Hilal; Khan; Fariduddin, 2024).

Como é possível observar na Figura 13, os alcaloides verdadeiros, como o indol e quinolina derivados do triptofano, apresentam o átomo de nitrogênio (grupamento amino) em um anel heterocíclico, enquanto os protoalcaloides, como os derivados da fenilalanina/tirosina apresenta esse mesmo grupamento amino, mas ligado à cadeia, sem necessariamente estar no anel heterocíclico. Outro exemplo clássico de protoalcalóide é a efedrina, que pode ser observada na Figura 12, de modo que, apresenta o grupamento amino fora do anel heterocíclico e é utilizado como estimulante do sistema nervoso central, de modo que, seu uso em excesso pode causar dependência e riscos à saúde.

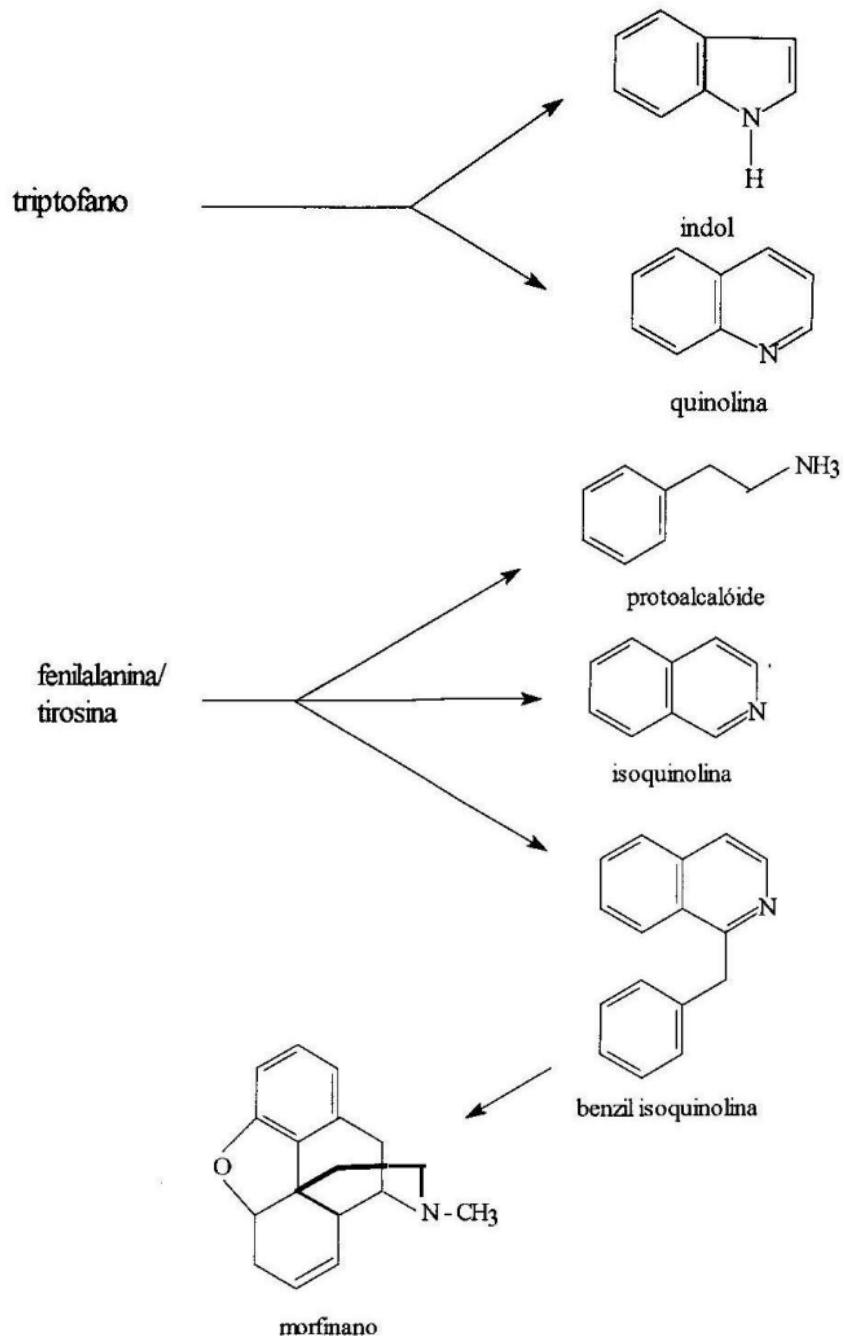
Figura 12 – Fórmula estrutural do efedrina.



Fonte: Morais *et al.*, 2020.

Um dos detalhes que possibilitou maior conhecimento das propriedades biológicas e físico químicas dos alcaloides foi a otimização de processos de sínteses desses compostos em condições laboratoriais. No entanto, essas sínteses não são simples, devida a basicidade de nucleofilidade do nitrogênio, sendo extremamente suscetível a participar de outras reações, como a de oxidação. Sua classificação ocorre de acordo com o posicionamento da molécula de nitrogênio na molécula, além da organização da cadeia carbônica e via de síntese (Ozyigit *et al.*, 2023).

Figura 13 – Alcaloides derivados de aminoácidos.

Fonte: Simões *et al.*, 2007.

5 METODOLOGIA

5.1 Coleta e separação do Material Vegetal

As folhas de capim limão foram coletadas pela manhã, no mês de junho no inverno do ano de 2023, no município de Goiatuba, Goiás, Brasil, que apresenta coordenadas geográficas -18.028031259085754 e -49.37951410206113. Foram transportadas ao laboratório de Química Orgânica do Instituto Federal Goiano campus Morrinhos, onde foram separadas as folhas secas e murchas (descartadas) das saudáveis. Em seguida foi realizada sua lavagem e higienização. Para extração do óleo, uma parcela de folhas foi picada, utilizando tesoura em estruturas retangulares com cerca de 10 centímetros de comprimento e largura própria da folha.

5.2 Extração do óleo essencial

A extração do óleo essencial foi realizada utilizando aparelho *Clevenger*; utilizando 166g de folhas frescas, 1,5L de água destilada e um balão de fundo redondo de 2L. O tempo de extração foi de 4 horas, sob aquecimento controlado, com temperaturas próximas a de 100°C, utilizando manta de aquecimento. O óleo extraído foi coletado em frasco âmbar e colocado em freezer para permitir a total separação entre a parte oleosa e fração aquosa.

5.3 Caracterização do óleo essencial

Para caracterização, o óleo foi diluído em hexano, utilizando 1,5mL de hexano a cada 10 μ L de óleo utilizado e injetado no Cromatógrafo a Gás *Clarus680* da *Perkin Elmer*, acoplado com Espectrômetro de Massas *SQ8S* de mesma marca (GC-MS) e coluna capilar *Elite 5MS* (30m x 25mm x 0,5mm).

O gás de arraste utilizado foi o hélio, com fluxo de 1,0 mL·min⁻¹. A temperatura do injetor foi de 220 °C e após a injeção de 2 μ L do óleo diluído, a temperatura do forno foi mantida a 60°C, seguida de um aumento de 3°C por minuto, até atingir a temperatura de 246°C, mantida durante 20 minutos, seguida por um aumento até 270°C na mesma proporção, permanecendo assim por 2 minutos. A temperatura da fonte de íons (EI⁺) e da linha de transferência do MS foram de 220°C. A faixa de varredura foi de 50 m/z a 450 m/z, no modo MS Scan (Adams, 2017).

A identificação dos componentes foi realizada a partir da fragmentação de suas massas, por comparação dos espectros de massa dos compostos aos espectros das bibliotecas de

referência Adams e NIST (Adams, 2017; NIST/EPA/NIH Mass Spectral Database, Standart Reference, 2014).

5.4 Preparo do extrato

Outra fração das folhas higienizadas foi seca em estufa, durante 29 horas à temperatura de 35°C, até que apresentasse aspecto de folha seca e quebradiça. Posteriormente, foram trituradas em moinho de facas. Em seguida, foi adicionado ao solvente em proporção de 2g de material triturado para 40mL de solvente, ou seja, 1:20, protegidos da luz com papel alumínio e agitado em mesa agitadora a 50rpm, durante 1 hora, para em seguida ser filtrado e armazenado sob proteção da luz e sob resfriamento. Os solventes utilizados foram hexano, metanol, éter de petróleo e acetona.

5.5 Atividade Antioxidante

A atividade antioxidante foi testada nos extratos preparados anteriormente, utilizando três métodos de determinação: °DPPH, FRAP, e ABTS, utilizando em todos eles o espectrofotômetro UV-Vis Kazuaki modelo IL-593-S-BI, com cubetas de vidro e realizados em triplicata para cada solvente.

5.5.1 Análise pelo método DPPH

O método DPPH foi realizada utilizando a metodologia de Rufino (*et al.*, 2007a), com as adaptações realizadas por Tomé & Silva (2022). Incialmente, foi preparada uma solução do radical DPPH, à 0,06mM, em balão volumétrico de 100mL. Para esse preparado, primeiro foi dissolvido 2,4mg de DPPH em metanol e posteriormente seu volume foi completado até os 100mL, homogeneizado e protegido da luz.

Para análise das amostras, foram misturados 0,1mL do extrato (diluído à 0,2mg/mL), com 3,9mL da solução de DPPH em tubo *Falcon* e homogeneizados utilizando *vortex*. Essa solução foi protegida da luz e reagiu durante 20 minutos. Em seguida, a absorbância foi lida à 517nm. Como branco, foi utilizada 750 µL de extrato misturado a 1,5mL de metanol; e como controle, foi utilizado a mistura de 750 µL de metanol e 1,5mL do radical DPPH. Seus resultados foram expressos em porcentagem de descoloração, calculados a partir da equação 1.

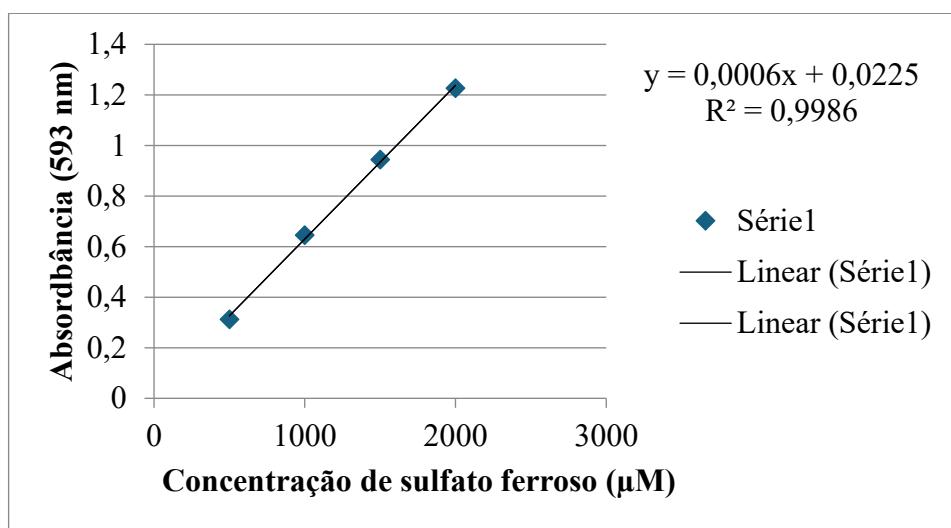
$$\%D = \left(1 - \left(\frac{Abs \text{ amostra} - Abs \text{ branco}}{Abs \text{ controle}} \right) \right) * 100\% \quad (1)$$

Sendo, %D: porcentagem de descoloração; Abs amostra: absorbância da amostra; Abs branco: absorbância do branco; Abs controle: absorbância do controle.

5.3.2 Análise pelo método FRAP

As análises realizadas pelo método FRAP foram conduzidas de acordo com o descrito por Rufino (*et al.*, 2006) e modificada por Tomé e Silva (2022). O reagente FRAP foi preparado a partir de 25mL de tampão de acetato 0,3M; 2,5mL de uma solução de TPTZ 10 mM e 2,5 mL de uma solução aquosa de cloreto férrico 20mM. Para a construção da curva analítica (Gráfico 1) foram preparadas 4 soluções de sulfato ferroso de 500 a 2000 μ M. Em tubos *Falcon*, foram misturados 90 μ L de cada solução à 270 μ L de água destilada e 2,7mL do reagente FRAP preparado anteriormente. Foram homogeneizados, protegidos da luz e mantidos em banho maria à 37 °C durante 30 minutos, para a leitura de sua absorbância à 593nm, utilizando o reagente FRAP como branco. A partir dos dados, foi plotada a curva analítica, com a absorbância em função da concentração de sulfato ferroso e realizada a regressão linear, utilizada para quantificação dos resultados, aos quais, foram expressos em μ mol de FeSO₄/g de extrato. Para análise das amostras, foi repetido os mesmo procedimentos utilizados para a construção da curva analítica, mas com os extratos de capim limão ao invés de sulfato ferroso.

Gráfico 1- Curva Analítica utilizada na quantificação da atividade antioxidante medida pelo método FRAP.



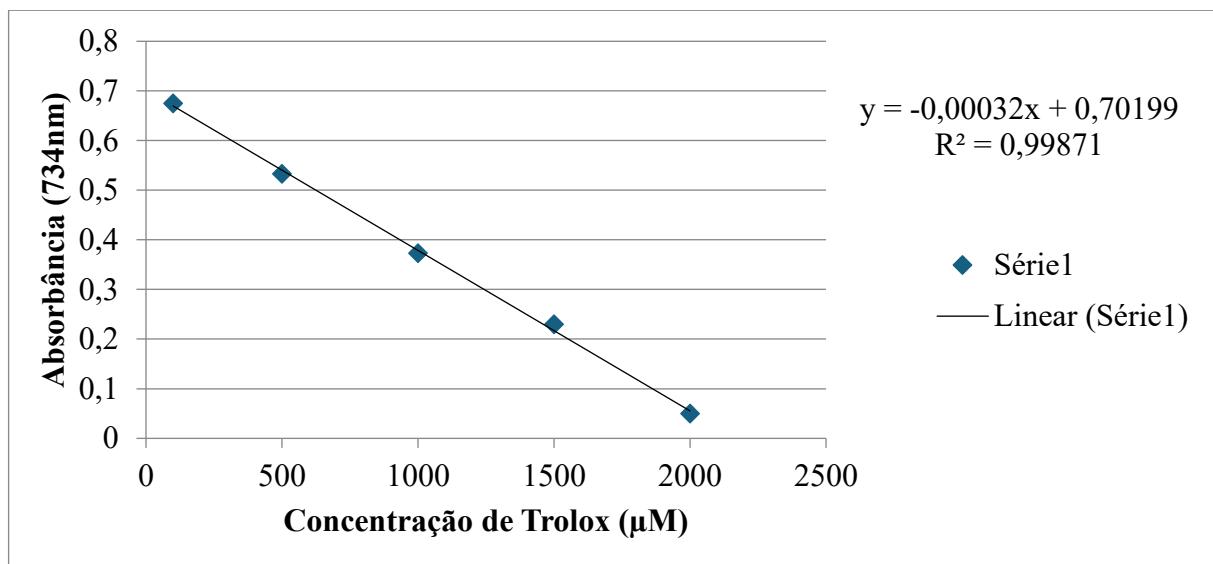
Fonte: o autor.

5.3.3 Análise pelo método ABTS

A quantificação da atividade antioxidante realizada pelo método ABTS foi realizada utilizando como referência Rufino (*et al.*, 2007b) e modificações realizadas por Tomé e Silva (2022). Inicialmente foi preparada uma solução padrão de trolox 2mM. Em um balão volumétrico de 50mL foi adicionado 25mL de trolox em metanol, com seu volume posteriormente completo para 50mL, homogeneizado e protegido da luz. A solução do radical ABTS foi preparada a partir da reação de 5mL da solução estoque de ABTS (7mM em água destilada) com 88 μ L da solução de persulfato de potássio (140mM em água destilada), durante 16 horas, protegido da luz e em temperatura ambiente. 1mL dessa solução foi diluída em álcool etílico até obter uma absorbância de 0,70 a 734nm.

Para a curva analítica, inicialmente, foi diluindo a solução padrão de trolox nas concentrações de 100 a 1500 μ M, em seguida, 30 μ L de cada uma dessas soluções foram transferidas para um tubo *Falcon* protegido da luz e misturadas com 3,0mL da solução de ABTS com o auxílio de um *vortex* e deixado reagir por 6 minutos, para posterior leitura de sua absorbância à 734nm. A curva (Gráfico 2) foi obtida pela regressão linear da absorbância em função da concentração de trolox (μ M). Para determinação da atividade antioxidante das amostras, o procedimento foi o mesmo, mas, utilizando, ao invés de trolox, os extratos de capim limão. Os resultados foram expressos em μ mol de Trolox/g de extrato.

Gráfico 2 – Curva Analítica utilizada na quantificação da atividade antioxidante medida pelo método ABTS.



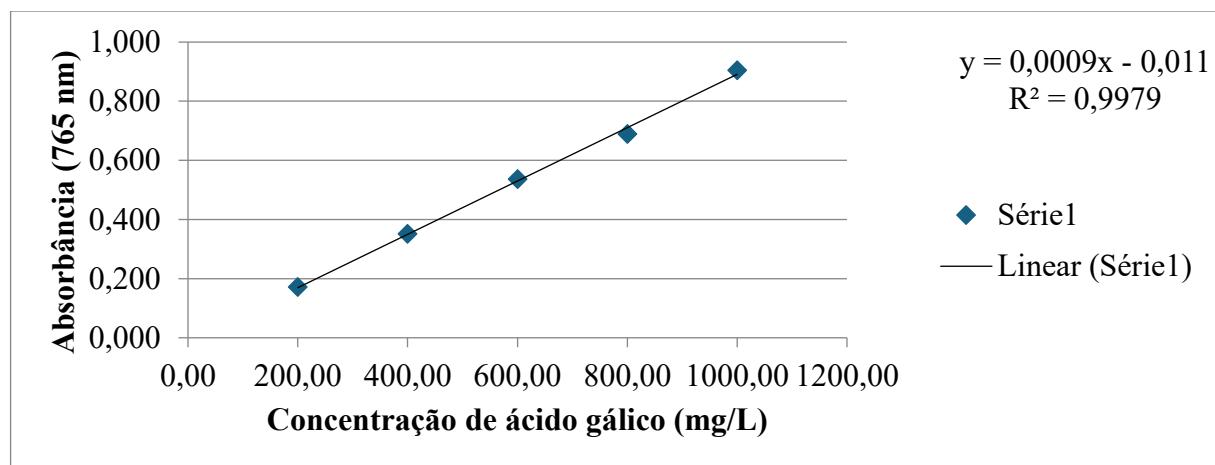
Fonte: o autor.

5.4 Compostos Fenólicos Totais

Os compostos fenólicos totais foram determinados utilizando o método colorimétrico de *Folin-Ciocalteu*, conforme o descrito por Waterhouse (2002) e modificado por Tomé e Silva (2022). A curva padrão utilizada para quantificação das amostras foi obtida com a medição da absorbância de soluções de ácido gálico, nas concentrações de 200,00 a 1000,00 mg/L.

Para a construção da curva analítica, em balão volumétrico de 10mL, 2 mL da solução padrão de ácido gálico foi misturado à 3mL do reagente de *Folin-Ciocalteu*, e em seguida, diluídos cinco vezes. Depois de 3 minutos de repouso, cada uma das soluções teve seu volume ajustado para 10mL com carbonato de sódio a 7,5% (m/v). Após 30 minutos de reação, á temperatura ambiente e protegido da luz, a absorbância das soluções foi medida à 750nm. A curva (Gráfico 3) foi obtida a partir da regressão linear de um gráfico da absorbância em função da concentração das soluções de ácido gálico expressos em mg/L. Para análise dos extratos, os mesmo procedimentos foram realizados, no entanto, os volumes de extrato utilizados foram diferentes, sendo 400 μ L dos extratos de hexano, acetona e éter, e 100 μ L do extrato de metanol, para que todos os valores de absorbância estivessem dentro da curva analítica. Seus resultados foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico por grama de extrato (mg EAG/g extrato).

Gráfico 3 - Curva Analítica utilizada na quantificação dos compostos fenólicos totais.



Fonte: o autor.

5.5 Análise Estatística

Os dados coletados a partir da análise de atividade antioxidante e fenólicos totais foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey com 5% de probabilidade

(p<0,05), utilizando as planilhas eletrônicas do Excel. Vale ressaltar que esses experimentos foram realizados em triplicata, para a minimização do erro.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Caracterização

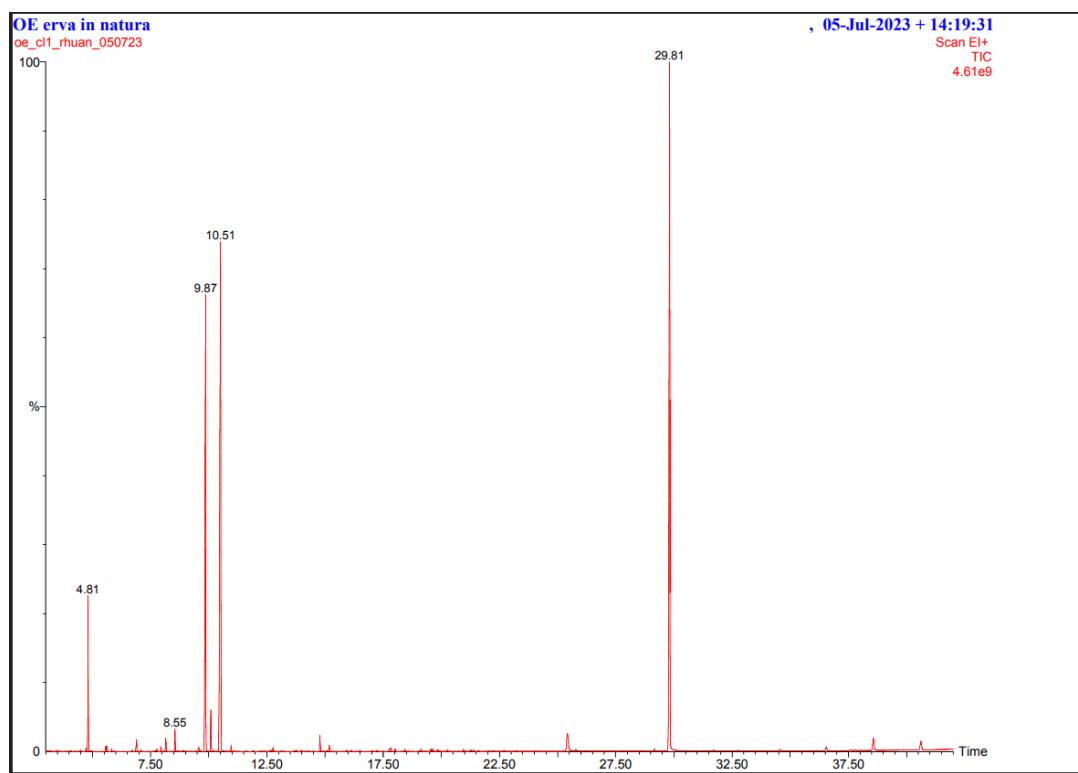
A partir da caracterização realizada por CG-EM, foi possível se obter os resultados da composição química do óleo essencial do capim-limão, dispostos na Tabela 1 e o cromatograma do óleo essencial, na Figura 14. Na Tabela 1 foi possível identificar os principais compostos obtidos, bem como seus tempos de retenção e área relativa.

Tabela 1 – Compostos identificados no óleo essencial de capim limão por cromatografia gasosa.

Pico	Tr	Composto	Fórmula Molecular	%A
1	4,81	β -pineno/ β -mirceno	C ₁₀ H ₁₆	4,78
2	6,89	β -linalol	C ₁₀ H ₁₈ O	0,47
3	8,16	cis-verbenol	C ₁₀ H ₁₆ O	0,47
4	8,55	4,5-epóxi-carano trans	C ₁₀ H ₁₆ O	0,79
5	9,87	β-citral	C₁₀H₁₆O	22,74
6	10,09	geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	1,63
7	10,51	a-citral	C₁₀H₁₆O	29,62
8	14,78	ciclododecano	C ₁₂ H ₂₄	0,63
9	25,42	Ácido Hexanodioico, Éster Bis(2-Etilhexil)	C ₂₂ H ₄₂ O ₄	35,48
10	38,57	Heptacosano	C ₂₇ H ₅₆	0,99
-	-	Outros Compostos	-	2,4

Fonte: o autor. Legenda: Tr – tempo de retenção; %A – Porcentagem relativa da área dos picos.

Figura 14 – Cromatograma do OE.



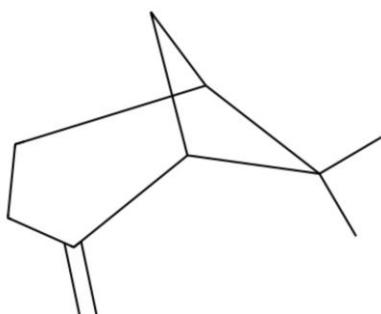
Fonte: o autor.

O cromatograma da Figura 14 apresentou picos resolvidos, com tempos de retenção conhecidos e identificados utilizando a biblioteca Adams e NIST. Os espectros de massas dos compostos majoritários podem ser observados no Anexo A. Como o esperado, o composto majoritário encontrado no óleo essencial foi o citral (52,36% da área), com maior área relativa do isômero trans. Isso pode ser um indício de que esse isômero é mais estável pelos grupos de maior volume estarem em lados opostos da molécula. Além disso, outros compostos também apresentaram concentrações consideráveis, como o Ácido Hexanodioico, Éster Bis(2-Etilhexil) (35,48%), β -pineno/ β -mirceno (4,78%) e geraniol (1,63%).

Em seu artigo, Saboia (*et al.* 2022) encontraram um percentual de 37,89% de citral no óleo essencial do capim limão, enquanto no presente trabalho foi encontrado um percentual de 52,36%, demonstrando que as extrações foram satisfatórias, com valores próximos aos conhecidos. Silva (*et al.* 2014) verificaram em seu trabalho a composição química do óleo essencial do capim limão extraído por hidrodestilação e arraste a vapor. Os resultados obtidos a partir da hidrodestilação (35,13%) indicaram um percentual menor dos isômeros do citral do que o obtido pela presente pesquisa e obtidos por arraste a vapor (77,11%), indicando que, essa concentração pode depender de diversos fatores, desde condições de cultivo à sensibilidade dos aparelhos utilizados ao longo da análise.

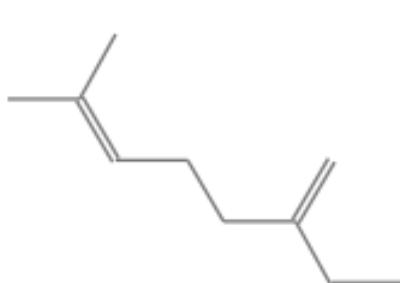
Enquanto o citral apresenta isomeria cis/trans, outro composto encontrado, o β -pineno/ β -mirceno, apresenta isomeria de cadeia, sendo o β -pineno de cadeia cíclica enquanto o β -mirceno de cadeia alifática. Além de ambos serem monoterpenos, apresentam propriedades físico-químicas similares, mas com odores característicos bem distintos, enquanto o β -pineno apresenta odor similar ao de pinhos ou amadeirado, o β -mirceno apresenta odor balsâmico, herbáceo e terroso. Tais os odores compõem a identidade olfativa do capim limão (Hartsel *et al.*, 2016; Rajan *et al.*, 2017). Suas fórmulas estruturais podem ser observadas nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 – Fórmula estrutural do β -pineno



Fonte: Biblioteca NIST.

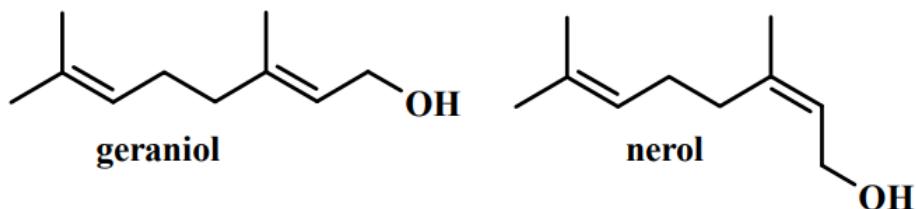
Figura 16 – Fórmula estrutural do β -mirceno.



Fonte: Biblioteca NIST.

A presença desses dois isômeros já era esperada, sendo registrada por autores como Abdulazeez (*et al.*, 2016), ao qual, identificou também a presença de geraniol (Figura 17), um monoterpeno, com aroma de rosas, encontrado em óleos essenciais de diversos outros vegetais do gênero *Cymbopogon*, como a citronela, palmarosa e citronela de java. Dentre suas propriedades, vale ressaltar seu odor floral com traços de frutas cítricas, fórmula estrutural alifática e apresenta propriedades antioxidantes e repelente de insetos, como moscas e pernilongos. Pode se isomerizar e ser encontrado como nerol, seu isômero cis (Maczka *et al.*, 2020).

Figura 17 – Fórmula estrutural do geraniol e nerol.



Fonte: Maczka *et al.*, 2020.

O Ácido Hexanodoico, Éster Bis(2-Etilhexil), foi um constituinte não esperado do óleo essencial, no entanto, já identificado anteriormente em outros estudos, como o realizado por Paramanantham e Murugesan (2014), em que identificaram esse constituinte no óleo essencial das flores de Kurchi (*Holarrhena antidysentrica Wall*); Kumar (*et al.* 2022) identificaram esse componente dentre os compostos bioativos presentes no tronco, folhas e frutos de Goji Berry Preto (*Lycium ruthenicum Murr*); e Akwu (*et al.* 2019), encontraram esse mesmo composto em extratos preparados a partir de *Grewia lasiocarpa E. Mey. ex Hary*. Dentre esses estudos, foi ressaltado que, essa molécula apresenta propriedades antioxidantes, antimicrobianas e antiproliferativas. No entanto, esse resultado abre espaço para outras investigações a fim de se identificar em quais condições de solo, tempo e extração que permitem a síntese desse composto pelo vegetal.

6.2 Atividade Antioxidante e Compostos Fenólicos

Os resultados obtidos a partir da atividade antioxidante e compostos fenólicos podem ser observados na Tabela 2. O primeiro método de verificação da atividade antioxidante foi o DPPH, que mediou o sequestro do radical livre 2,2-difenil-1-picrilidrazila (DPPH), de coloração inicial violeta e depois da reação, se torna 2,2-difenilpicrilidrazina (DPPH-H) de coloração

amarelada (Rufino *et al.*, 2007a; Martins, 2012). Seus resultados foram expressos em porcentagem de descoloração (no Apêndice A, há seus resultados expressos em IC₅₀), sendo que, quanto maior o grau de descoloração, maior a quantidade de radicais sequestrado, logo, maior atividade antioxidante avaliada. Dentre os resultados, o solvente com maiores valores de descoloração, portanto, mais eficiente dentre os testados foi o metanol ($10,92 \pm 1,83\%$) e menor para éter de petróleo ($6,69 \pm 1,61\%$), no entanto, pelo teste de Tukey, não houve diferença estatística significativa entre os solventes estudados, para este método.

Tabela 2 – Resultado da Atividade Antioxidante e Compostos Fenólicos Totais.

Método	Solvente			
	Metanol	Acetona	Hexano	Éter de Petróleo
DPPH (% descoloração)	$10,92 \pm 1,83^a$	$8,10 \pm 0,93^a$	$7,98 \pm 3,27^a$	$6,69 \pm 1,61^a$
ABTS (μmol de Trolox/g de extrato)	$28,64 \pm 0,88^a$	$9,58 \pm 0,46^b$	$9,43 \pm 0,34^b$	$3,21 \pm 2,65^c$
FRAP (μmol de FeSO ₄ /g de extrato)	$40,23 \pm 0,69^a$	$34,74 \pm 2,97^a$	$8,08 \pm 2,86^b$	$3,23 \pm 1,05^b$
CFT (mg EAG/g extrato)	$307,56 \pm 18,15^a$	$137,56 \pm 1,46^c$	$79,11 \pm 1,6^b$	$94,07 \pm 5,23^d$

Fonte: o autor. Legenda: CFT – compostos fenólicos totais. EAG – Equivalente de ácido gálico. Nota: Letras iguais sobreescritas em cada linha não apresentam diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

O segundo método testado para análise da atividade antioxidante foi o ABTS, que consiste na medição do sequestro do radical 2,2'-azinobis (3-etylbenzotiazolina-6-ácido sulfônico) (ABTS), com resultados expressos em μmol de Trolox/g de extrato, sendo que, quanto maior a concentração de μmol de Trolox/g de extrato, maior a atividade antioxidante testada. No caso dos solventes testados, o que apresentou maior capacidade de extração de compostos que possuem atividade antioxidante foi o metanol ($28,64 \pm 0,88$ μmol de Trolox/g de extrato, com diferenças significativas entre ele e os outros solventes, atestado pelo teste de Tukey, de modo que, não houve diferença significativa entre o hexano e acetona, mas houve entre estes dois e o éter.

Seguindo na medição da atividade antioxidante foi utilizado o método FRAP, que consiste na quantificação da capacidade de redução do Fe³⁺ ao Fe²⁺, por meio de compostos antioxidantes presentes na amostra, logo, quanto maior a concentração de μmol de FeSO₄/g de extrato, fonte de Fe²⁺, maior a atividade antioxidante da amostra. Os solventes mais adequados para essa análise foram o metanol ($40,23 \pm 0,69$ μmol de FeSO₄/g de extrato e a acetona ($34,74 \pm 2,97$) μmol de FeSO₄/g de extrato, sem diferenças estatísticas significativas pelo teste de

Tukey, enquanto, apresentaram diferenças em relação ao hexano e éter, aos quais, foram obtidos resultados inferiores de atividade antioxidante.

Já os compostos fenólicos totais foram quantificados utilizando o método de *Folin-Ciocalteu*, em que consiste na oxidação do composto fenólico ocasionado pelo reagente de *folin* (mistura dos ácidos fosfomolibídico e fosfotungstico), enquanto o molibdênio sofre redução, modificando a coloração da solução de amarelo para azul (Martins, 2012). O resultado foi expresso em miligramas de ácido gálico por grama de extrato (mg EAG/g extrato), com melhor resultados para o metanol ($307 \pm 18,15$) mg EAG/g de extrato, seguido da acetona ($137,56 \pm 1,46$) mg EAG/g de extrato, com diferença significativa entre todos os solventes pelo teste de Tukey.

Pelas análises anteriores, o metanol apresentou melhor capacidade de extração de compostos antioxidantes e fenólicos, junto com a Acetona, em contrapartida o éter de petróleo e hexano apresentaram resultados inferiores ao esperado, indicando que os compostos que apresentam atividade antioxidante têm caráter polar. De forma similar, os compostos fenólicos, possuem os grupamentos carbonila e hidroxila, sendo extraídos mais facilmente por solventes polares como o metanol e a acetona do que por solventes apolares, como o hexano e o éter de petróleo, explicando assim os melhores resultados para o metanol.

Esse efeito de polaridade pode ser observado em outros estudos, como o de Irfan e colaboradores (2022), em que buscaram compreender como o método de extração e o solvente poderiam afetar na atividade antioxidante e composição de fenólicos totais do capim limão, de modo que, foi utilizado a maceração e ultrassom como métodos de extração, acetona e etanol como solventes. Em seus resultados, as extrações realizadas por ultrassom com etanol, foram as que apresentaram maior teor de fenólicos totais, obtendo 61,2 mg EAG/g de extrato dentre seus de resultados, enquanto para as extrações realizadas com a acetona apresentaram valores menores, sendo de 55,2 e 50,9 mg EAG/g de extrato. De forma similar, o metanol apresenta maior polaridade que o etanol, devido sua menor cadeia carbônica e maior localização das cargas, o que pode explicar os melhores resultados encontrados pelo presente trabalho ($307 \pm 18,15$) mg EAG/g, em relação aos encontrados por Irfan e colaboradores (2022), no entanto, os trabalhos se tornam similares ao demonstrar a ação da polaridade na extração. Vale ressaltar que a razão amostra-solvente utilizada nos dois trabalhos (mas se diferenciando pela técnica de extração, maceração realizada pelo presente trabalho e ultrassom realizada pelos autores em questão), foi a mesma, ou seja, de 1:20, permitindo a comparação direta de tais resultados.

Para o DPPH, Irfan e colaboradores (2022) alcançaram melhores resultados com 75% de inibição do radical, com o uso da técnica de ultrassom, etanol à 70% e concentração de 400

$\mu\text{g/mL}$ de amostra. Esses resultados foram superiores ao do presente trabalho, mas por diversos fatores, dentre eles a quantidade de amostra utilizada e a técnica de extração. Os resultados do presente trabalho se aproximam dos obtidos a partir da técnica de maceração, realizada com etanol 50% e uma concentração de 200 $\mu\text{g/mL}$, de modo que, o artigo encontra o valor de cerca de 27,5%, enquanto o do presente trabalho é de 26%¹ para as amostras realizadas com metanol.

Em seu estudo, Nacer (*et al.* 2024), obteve resultados similares para o percentual de inibição do DPPH, para concentrações de 3,125 $\mu\text{g/mL}$ de extrato ($11,17 \pm 0,34$) %, em relação aos obtidos no presente trabalho com extrato metanólico, mas, conforme aumentou a concentração de extrato, os valores de inibição superaram o do presente trabalho, ainda assim, com atividade antioxidante inferior ao dos conservantes BHT (Butil Hidroxitolueno) e BHA (Butil Hidroxianisol), com valores de ($11,69 \pm 1,88$)% e ($28,95 \pm 1,16$), respectivamente.

Tazi e colaboradores (2024), em seu trabalho, exploraram o potencial biológico do capim limão a partir do mapeamento de sua composição química, compostos fenólicos e atividade antioxidantes, a partir de três extratos, aquoso, etanólico e metanólico. Dentro de seus métodos, utilizou o FRAP para a quantificação da atividade antioxidante, obtendo melhores resultados a partir do extrato metanólico, de modo que, obteve 97,89% de inibição do radical livre no extrato metanólico, enquanto obteve 48,53% de inibição no extrato etanólico. Esses resultados corroboram com o do presente trabalho, ao qual, foi obtido um resultado melhor com o metanol em relação aos outros solventes. No entanto, esse estudo obteve resultados mais significativos para a atividade antioxidante realizada pelo DPPH, de modo que, obteve inibição de cerca de 70% do radical, com condições similares ao realizada pelo presente trabalho.

Portanto, corroborando com os resultados de Irfan e colaboradores (2022), Nacer (*et al.* 2024) e Tazi e colaboradores (2024), o capim limão apresenta atividade antioxidante e compostos fenólicos totais acentuada, mas que depende dentre outros fatores como o método de extração e, principalmente, o solvente utilizado, sendo os mais adequados aqueles de polaridade elevada, como o metanol, que apresentou resultados consideráveis.

¹ Valor calculado a partir da equação dada pelo artigo: $DPPH\ radical\% Inhibition = Control\ absorbance\ (A_0) - Lemongrass\ leaves\ extract\ absorbance\ (A_1) \times 100$.

7 CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, conclui-se que o capim-limão apresenta composição química rica em compostos com reconhecida atividade biológica, sendo o citral o constituinte majoritário do óleo essencial analisado. Os testes de atividade antioxidante e de quantificação de compostos fenólicos mostraram que o solvente exerce papel determinante na eficiência da extração. Entre os solventes avaliados, o metanol foi o mais eficiente em extraír compostos fenólicos e substâncias com capacidade antioxidant, seguido da acetona, enquanto hexano e éter de petróleo apresentaram desempenho inferior, devido à sua baixa polaridade. Esses resultados reforçam que compostos fenólicos e antioxidantes presentes no capim-limão são majoritariamente polares, sendo mais bem extraídos por solventes igualmente polares. Além disso, os valores obtidos para a atividade antioxidante se alinham à literatura, demonstrando que o capim-limão possui significativo potencial bioativo. Portanto, este estudo contribui para a compreensão dos fatores que influenciam a extração de compostos antioxidantes da planta e destaca a relevância de sua aplicação em áreas como alimentos, farmacologia e conservação de produtos, além de fornecer base científica para os usos populares associados à espécie.

REFERÊNCIAS

- ABDULAZEEZ, M. A. *et al.* Lemongrass (*Cymbopogon spp.*) Oils. In: PREEDY, V. R. **Essential Oils In Food Preservation, Flavor and Safety**. Londres: Elsevier, 2016. p. 509 – 516. Disponível em https://www.researchgate.net/profile/Rosa-Mourao/publication/288807775_Amazon_Rosewood_Aniba_rosaeodora_Ducke_Oils/links/5b192a92aca272021ceedc49/Amazon-Rosewood-Aniba-rosaeodora-Ducke-Oils.pdf. Acesso em 10 out. 2025.
- ADAMS, R. P. **Identification of Essential Oils Components by Gas Chromatography/ Mass Spectroscopy**. 4.1 ed. Carol Stream: Allured, 2017. 809 p.
- AKWU, N. A. *et al.* Phytochemical screening, in vitro evaluation of the antimicrobial, antioxidant and cytotoxicity potentials of *Grewia lasiocarpa* E. Mey. ex Harv. **South African Journal of Botany**, v. 123, p. 180-192, 2019. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.03.004>. Acesso em 10 nov. 2025.
- BAUERMEISTER, A. *et al.* Análise de Dados de Metabolômica em Produtos Naturais: uma Revisão-Tutorial. **Revista Virtual de Química**, v. 16, n. 2, p. 248-270, 29 abr. 2024. DOI: 10.21577/1984-6835.20230066. Disponível em: <https://rvq-sub.sbjq.org.br/index.php/rvq/article/view/4672>. Acesso em: 21 dez. 2025
- CHUYEN, H. V. *et al.* Yield of carotenoids, phenolic compounds and antioxidant capacity of extracts from Gac peel as affected by different solvents and extraction conditions. **Journal of Advanced Agricultural Technologies**, v. 4, n. 1, mar. p. 87-91, 2017. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/315381964_Yield_of_Carotenoids_Phenolic_Compounds_and_Antioxidant_Capacity_of_Extracts_from_Gac_Peel_as_Affected_by_Different_Solvents_and_Extraction_Conditions. Acesso em 10 nov. 2025.
- DAVID, C. Q. A. E J. *et al.* Métodos para determinação de atividade antioxidante in vitro em substratos orgânicos. **Química Nova**. v. 33, n. 10, p. 2202-22010, out. 2010. Disponível em <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010001000033>. Acesso em 1 dez. 2025.
- DUARTE, M. DO R.; ZANETI, C. C. Estudo farmacobotânico de folhas de capim-limão: *Cymbopogon citratus* (DC.) STAPF, POACEAE. **Visão Acadêmica**. v. 5, n. 2, p. 117-124, jul. – dez. 2004. Disponível em <https://doi.org/10.5380/acd.v5i2.556>. Acesso em 3 dez. 2025.
- EVARISTO, R. B.; GHESTI, G. F.; AREDA, C. A. Plantas Medicinais do Cerrado: uma breve revisão de patentes e literatura científica para espécies comumente citadas. **Cadernos de Prospecção**, [S. l.], v. 17, n. 4, p. 1214–1233, 2024. DOI: 10.9771/cp.v17i4.59881. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/nit/article/view/59881>. Acesso em: 21 dez. 2025.
- FILHO, A. C. P. DE M.; CASTRO, C. F. DE S. Avaliação de diferentes solventes na extração de compostos fenólicos totais em extratos farináceos do fruto de *Hymenaea stigonocarpa* L. **Brazilian Journal of Food Research**, v. 10, n. 2, p. 158-169, abr./jun. 2019. Disponível em <https://revistas.utfpr.edu.br/rebrapa/article/view/9238>. Acesso em 4 nov. 2025.
- GUIMARÃES, L. G. DE L. *et al.* Influência da luz e da temperatura sobre a oxidação do óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf). **Química Nova**, v. 31, n. 6, p.

1476–1480, 2008. Disponível em <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000600037>. Acesso em 5 nov. 2025.

HARTSEL, J. A. *et al.* **Cannabis sativa and Hemp.** In: KAPOOR, V. P. (Ed.). *Nutraceuticals: Efficacy, Safety and Toxicity*. London: Academic Press, p. 735-754. 2016. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-802147-7.00053-X>. Acesso em 3 dez. 2025.

HILAL, B.; KHAN, M. M.; FARIDUDDIN, Q. Recent advancements in deciphering the therapeutic properties of plant secondary metabolites: phenolics, terpenes, and alkaloids. **Plant Physiology and Biochemistry**, p. 108674–108674, 1 abr. 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108674>. Acesso em 3 dez. 2025.

IRFAN, S. *et al.* Antioxidant Activity and Phenolic Content of Sonication- and Maceration-Assisted Ethanol and Acetone Extracts of *Cymbopogon citratus* Leaves. **Separations**, v. 9, n. 9, p. 244, 2022. Disponível em <https://doi.org/10.3390/separations9090244>. Acesso em 4 nov. 2025.

KARPINSKA, Barbara; FOYER, Christine H. Superoxide signalling and antioxidant processing in the plant nucleus. **Journal of Experimental Botany**, v. 75, n. 15, art. erae090, 09 mar. 2024. DOI: 10.1093/jxb/erae090.

KUMAR, R. *et al.* Comparative study of phytochemicals, antioxidant activities and chromatographic profiling of different parts of *Lycium ruthenicum* Murr of Trans-Himalayan region. **Phytomedicine Plus** 2, v. 2, n. 4, p. 100339. nov. 2022. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667031322001208>. Acesso em 3 dez. 2025.

MACZKA, W. *et al.* One Hundred Faces of Geraniol. **Molecules**, v. 25, n. 14, p. 3303, 2020. Disponível em <https://doi.org/10.3390/molecules25143303>. Acesso em 30 nov. 2025.

MATINS, C. DE M. **Estudo químico, atividade antioxidante, atividade antimicrobiana e análise do óleo essencial da espécie *Kielmeyera coriacea mart. & zucc* (pau-santo) do Cerrado.** 2012. Dissertação Mestrado em Química – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. Disponível em <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/17354/1/d.pdf>. Acesso em 10 nov. 2025.

MEHMOOD, A. *et al.* In vitro total phenolics, total flavonoids, antioxidant and antibacterial activities of selected medicinal plants using different solvent systems. **BMC Chemistry**, v. 16, n. 1, art. 64, 2022. Disponível em <https://doi.org/10.1186/s13065-022-00858-2>. Acesso em 4 nov. 2025.

MORAIS, W. R. DE S. *et al.* Investigação prospectiva do novo coronavírus e de fármacos antivirais com potencial atividade terapêutica para o tratamento de pacientes infectados pela COVID-19. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 13, n. 3, p. 619–631, 2020. DOI: 10.9771/cp.v13i3.36384. Disponível em: <https://doi.org/10.9771/cp.v13i3.36384>. Acesso em 22 dez. 2025.

MUSCOLO, A.; MARIATERESA, O.; GIULIO, T.; MARIATERESA, R. Oxidative stress: the role of antioxidant phytochemicals in the prevention and treatment of diseases.

International Journal of Molecular Sciences, v. 25, p. 3264, 2024. Disponível em <https://doi.org/10.3390/ijms25063264>. Acesso em 4 nov. 2025.

NACER, S. N. *et al.* Phytochemical screening, antioxidant, antibacterial, and antifungal properties of the *Cymbopogon citratus* methanolic extract. **Pharmacological Research – Natural Products**. v. 5, p. 100094, dez. 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.prenap.2024.100094>. Acesso em 2 dez. 2025.

NIST, **Standard Reference Database 1**, Standard Reference Data Program, National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD, 2014.

OZYIGIT, I. I. *et al.* Production of secondary metabolites using tissue culture-based biotechnological applications. **Frontiers in Plant Science**, v. 14, 29 jun. 2023. Disponível em <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1132555>. Acesso em 3 dez. 2025.

PARAMANTHAM, M.; MURUGESAN, A. GC-MS analysis of *Holarrhena antidysentrica* Wall Flower. **International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)**, v. 3, n. 3, p. 631-639, mar. 2014. Disponível em <http://dx.doi.org/10.32604/biocell.2023.029031>. Acesso em 3 dez. 2025.

PÉREZ, M.; DOMINGUEZ-LÓPEZ, I.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. The chemistry behind the Folin–Ciocalteu method for the estimation of (poly)phenol content in food: total phenolic intake in a Mediterranean dietary pattern. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 71, n. 46, p. 17543–17553, 2023. DOI: 10.1021/acs.jafc.3c04022. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022>. Acesso em 22 dez. 2025.

PRAMANIK, J. *et al.* A perspective review on the biosynthesis of plant-based secondary metabolites and their application as potent drugs. **BIOCELL**, v. 48, n. 4, p. 541–557, 2024. Disponível em <https://www.techscience.com/biocell/v48n4/56123>. Acesso em 3 dez. 2025.

RAJAN, M. *et al.* **Development of Microwave Absorbers From Biopolymer Composites**. In: THOMAS, S.; SAJITH, M.; RAMESH, P. (Ed.). *Biopolymer Composites in Electronics*. London: Academic Press, 2017. p. 231–253. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809261-3.00008-5>. Acesso em 12 nov. 2025.

ROCHA, W. S. *et al.* Compostos fenólicos totais e taninos condensados em frutas nativas do cerrado. **Rev. Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal – SP, v. 33, n. 4, p. 1215-1221, dez. 2011. Disponível em <https://www.scielo.br/j/rbf/a/RTcwy89hndbJmPySv3NV5jp/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 1 dez. 2025.

ROSA, L. C. M.; PINTRO, P. T. M. Antioxidantes naturais aplicados em produtos à base de carne bovina: uma alternativa promissora. **Principia**, v. 59, n. 4, 2022. p. 1376-1390. Disponível em <https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/5752>. Acesso em 10 jul. 2025.

RUFINO, M. DO S. M. *et al.* Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pelo método de redução do ferro (FRAP). Comunicado Técnico 125. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**, dez. 2006. Disponível em

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/664098/1/cot125.pdf>. Acesso em 10 jul. 2023.

RUFINO, M. DO S. M. *et al.* Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. Comunicado Técnico 127. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**, jul. 2007a. Disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/426953/1/Cot127.pdf>. Acesso em 10 jul. 2023.

RUFINO, M. DO S. M. *et al.* Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS⁺. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**, Comunicado Técnico 128, jul. 2007b. Disponível em <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/426954/1/Cot128.pdf>. Acesso em 10 jul. 2023.

SABOIA, C. DA S. *et al.* Caracterização química e atividade antimicrobiana do óleo essencial e do extrato bruto do capim limão (*Cymbopogon citratus*). **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 7, p. e37611730064, 2022. Disponível em <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i7.30064>. Acesso em 1 dez. 2025.

SHI, L. *et al.* Extraction and characterization of phenolic compounds and their potential antioxidant activities. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, p. 81112-81129, 2022. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23337-6>. Acesso em 4 nov. 2025.

SILVA, F. F. M. *et al.* Análise da composição química do óleo essencial de capim santo (*Cymbopogon citratus*) obtido através de extrator por arraste com vapor d'água construído com matérias de fácil aquisição e baixo custo. **Holos**, v. 30, n. 4, p. 144–152, 2014. DOI: 10.15628/holos.2014.1762. Disponível em <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481547173016.pdf>. Acesso em 1 dez. 2025.

SIMÕES, Cláudia Maria Oliveira *et al.* (org.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 6. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; Florianópolis: Editora da UFSC, 2007.

SVERDLOV, A. L.; NGO, D. T. M.; COLUCCI, W. S. Oxidative stress in heart failure. In: FELKER, G. M.; MANN, D. L. (ed.). **Companion to Braunwald's Heart Disease: Heart Failure**. 4. ed. Amsterdam: Elsevier, 2020. p. 115-126.e6. ISBN 978-0-323-60987-6. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/273761676_Oxidative_Stress_in_Heart_Failure. Acesso em 1 dez. 2025.

TAZI, A. *et al.* Exploring the Bioactive Potential of Moroccan Lemon Grass (*Cymbopogon citratus* L.): Investigations on Molecular Weight Distribution and Antioxidant and Antimicrobial Potentials. **Molecules (Basel, Switzerland)**, v. 29, n. 17, p. 3982, 2024. Disponível em <https://doi.org/10.3390/molecules29173982>. Acesso em 3 nov. 2025.

TOMÉ, A. C. *et al.* Effects of the addition of microencapsulated aromatic herb extracts on fatty acid profile of different meat products. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 42, p. e62622, jul. 2022. Disponível em <https://doi.org/10.1590/fst.62622>. Acesso em 10 jul. 2025.

TOMÉ, A. C.; DA SILVA, F. A. Alginate based encapsulation as a tool for the protection of bioactive compounds from aromatic herbs. **Food Hydrocolloids for Health**, v. 2, p. 100051, 2022. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2021.100051>. Acesso em 10 jul. 2025.

WATERHOUSE, A. L. Determination of total phenolics. **Current Protocols in Food Analytical Chemistry**. [s.l.]: Wiley, 2002. UNIT I1.1.1-I1.1.8. Disponível em https://www.researchgate.net/publication/313117472_Determination_of_Total_Phenolics. Acesso em 10 jul. 2023.

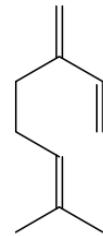
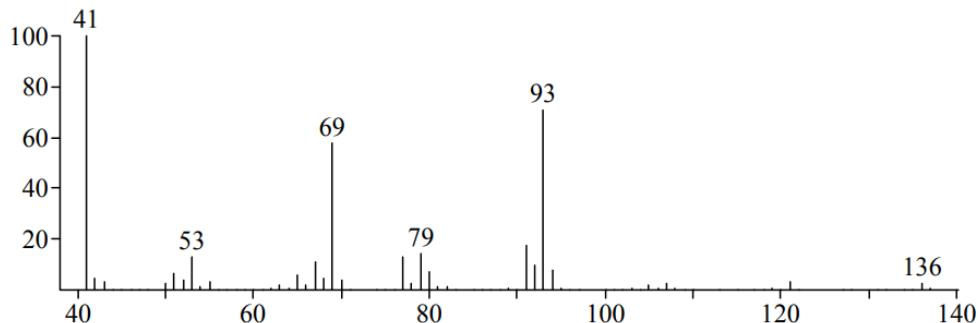
ZHAO, J.; *et al.* Ethnobotanical uses, phytochemistry and bioactivities of *Cymbopogon* (Poaceae). **Journal of Ethnopharmacology**, v. 330, p. 118181, set 2024. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.jep.2024.118181>. Acesso em 4 nov. 2025.

APÊNDICE A – RESULTADOS DPPH EXPRESSOS EM IC₅₀

Resultados IC₅₀		
Amostras	IC₅₀ µg/mL	IC₅₀ mg/mL
Metanol	932,05 ± 142,44	0,93 ± 0,14
Acetona	1245,20 ± 135,93	1,25 ± 0,14
Hexano	1391,31 ± 516,96	1,39 ± 0,52
Éter de Petróleo	1551,48 ± 355,73	1,55 ± 0,36

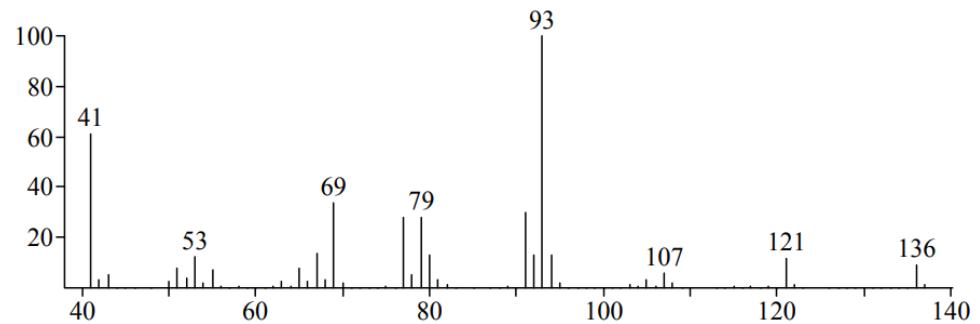
ANEXO A - ESPECTROS DE MASSA

Mirceno



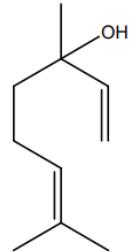
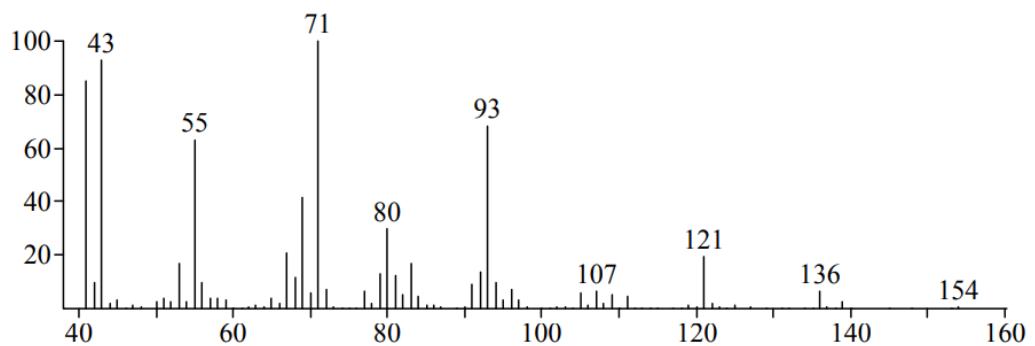
Fonte: Adams, 2017.

β -pineno

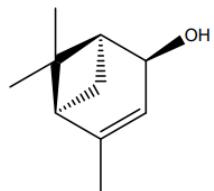
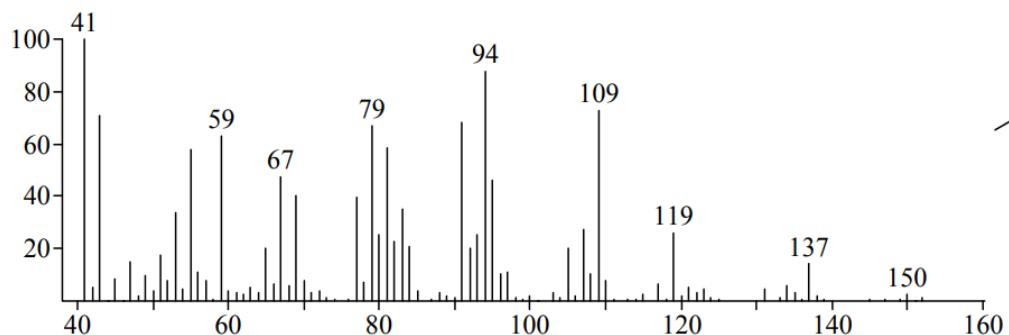


Fonte: Adams, 2017.

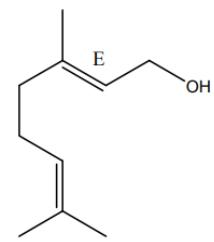
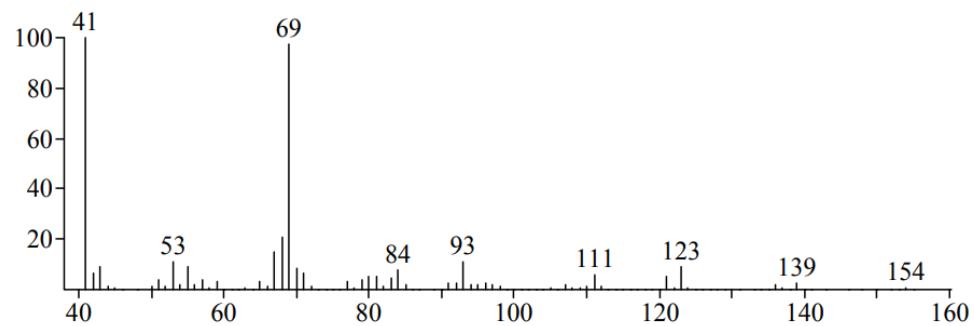
Linalol



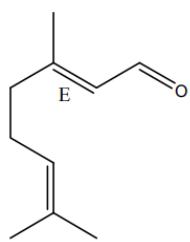
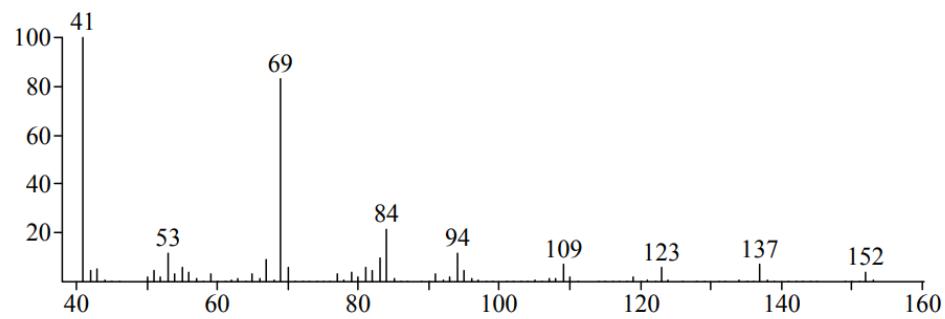
Fonte: Adams, 2017.

Cis verbenol

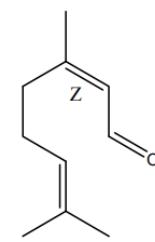
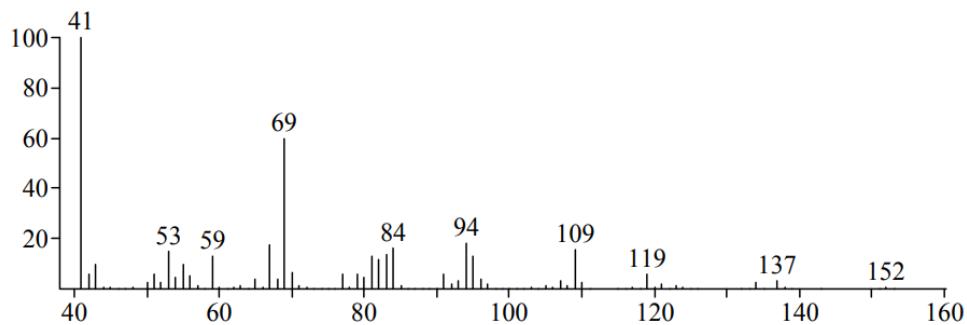
Fonte: Adams, 2017.

Geraniol

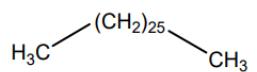
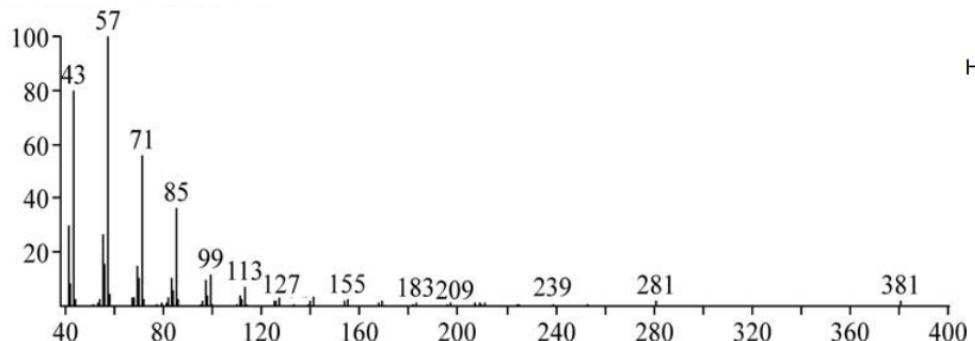
Fonte: Adams, 2017.

Geranial

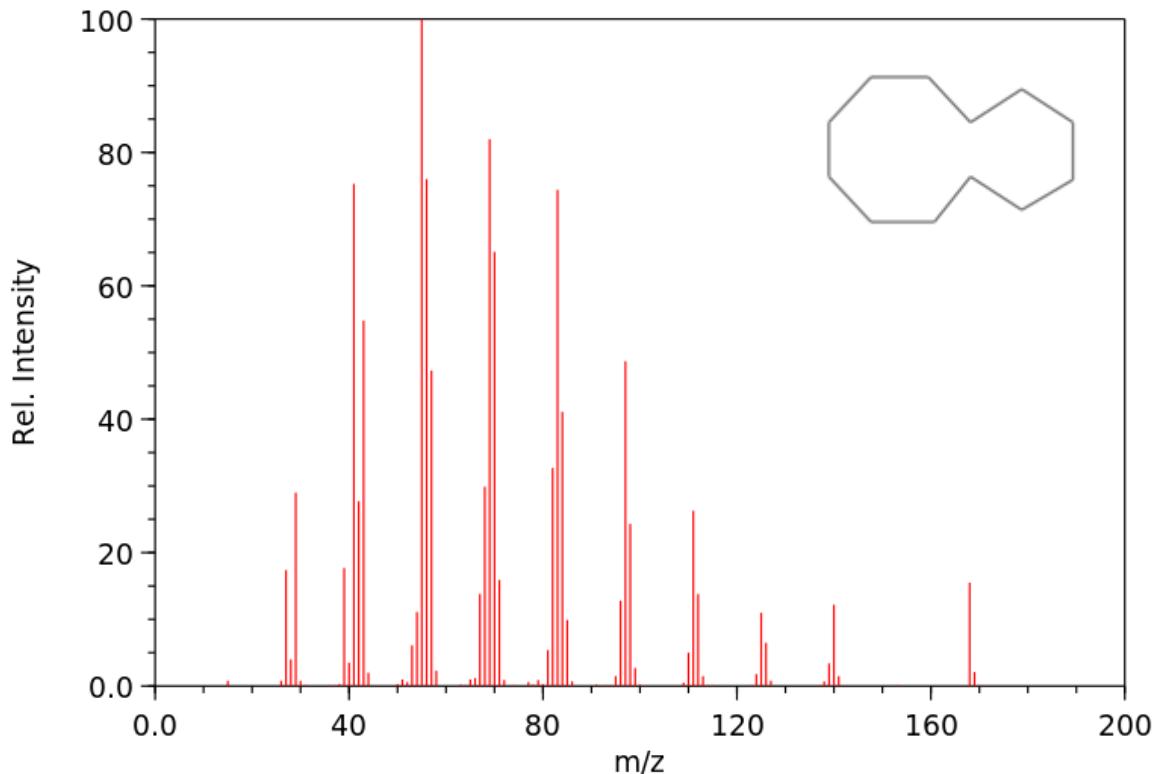
Fonte: Adams, 2017.

Neral

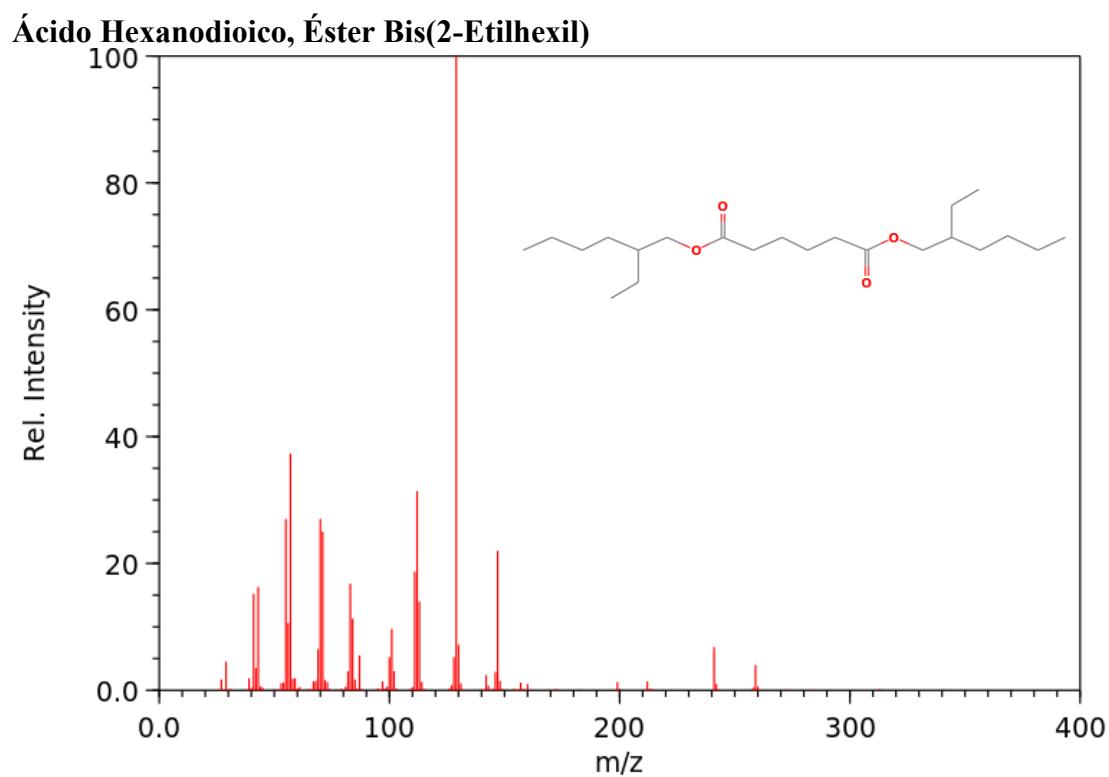
Fonte: Adams, 2017.

Heptacosano

Fonte: Adams, 2017.

Ciclododecano

Fonte: NIST/EPA/NIH Mass Spectral Database, Standard Reference, 2014.



Fonte: NIST/EPA/NIH Mass Spectral Database, Standart Reference, 2014.