

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

BEATRIZ SIMÕES REIS
SARAH DA SILVA GONÇALVES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DOIS MÉTODOS DE
EXTRAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL
DA LARANJA DOCE (*CITRUS SINENSIS L. OSBECK*)**

CAMPINAS/SP

2024

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE CAMPINAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM PROCESSOS QUÍMICOS

BEATRIZ SIMÕES REIS
SARAH DA SILVA GONÇALVES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DOIS MÉTODOS DE
EXTRAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL
DA LARANJA DOCE (*CITRUS SINENSIS L. OSBECK*)**

Trabalho de Graduação apresentado por **Beatriz Simões Reis e Sarah da Silva Gonçalves**, como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos, da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação da Profa. Dra. Juliana Canto Duarte.

CAMPINAS/SP

2024

FICHA CATALOGRÁFICA
CEETEPS - FATEC Campinas - Biblioteca

G635e

GONÇALVES, Sarah da Silva

Estudo comparativo entre dois métodos de extração para a obtenção de óleo essencial da laranja-doce (*Citrus Sinensis* L. Osbeck). Beatriz Simões Reis e Sarah da Silva Gonçalves. Campinas, 2024. 38 p.; 30 cm.

Trabalho de Graduação do Curso de Processos Químicos
Faculdade de Tecnologia de Campinas.

Orientador: Profa. Dra. Juliana Canto Duarte.

1. *Citrus Sinensis* (L.) Osbeck. 2. Extração. 3. Óleos essenciais. I. Autor. II. Faculdade de Tecnologia de Campinas. III. Título.

CDD 664.3

Catálogo-na-fonte: Bibliotecária: Aparecida Stradiotto Mendes – CRB8/6553

TG PQ 24.2


Beatriz Simões Reis
Sarah da Silva Gonçalves

**Estudo comparativo entre dois métodos de extração para a
obtenção do óleo essencial laranja doce (Citrus sinensis L.
Osbeck)**

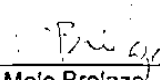
Trabalho de Graduação apresentado como
exigência parcial para obtenção do título de
Tecnólogo em Processos Químicos, pelo
CEETEPS / Faculdade de Tecnologia – Fatec
Campinas.

Campinas, 06 de dezembro de 2024.

BANCA EXAMINADORA



Juliana Canto Duarte
Fatec Campinas



Eliane Melo Brofazo
Fatec Campinas



Bráulio Almeida de Melo
Fatec Campinas

RESUMO

Segundo a *International Organization for Standardization* – ISO (2021), a definição de óleos essenciais descreve esses compostos como produtos obtidos de plantas aromáticas, extraídos por diferentes métodos de extração. No mercado mundial, os óleos essenciais mais populares incluem os extraídos de frutas cítricas como laranja e limão. Além disso, no Brasil, a produção de óleos essenciais cresceu significativamente, tornando o país um dos maiores exportadores de óleos voláteis extraídos de frutas cítricas, especialmente da laranja. A laranja, fruto da laranjeira *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, pertence à família *Rutaceae* e ao gênero *Citrus*, sendo popularmente chamada de laranja doce no Brasil. O óleo essencial extraído de *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, é fundamental para as indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia. Para a obtenção dos óleos essenciais, empregam-se diversas técnicas de extração, desde os métodos convencionais como a extração por solvente orgânico, destilação por arraste a vapor, hidrodestilação e entre outras. Ademais, com o avanço da sociedade e tecnologia, novos métodos de extração de óleos essenciais são estudados, com o objetivo principal de serem sustentáveis, como a extração por fluido supercrítico, extração assistida por micro-ondas e extração assistida por ultrassom. Portanto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma revisão bibliográfica acerca de dois métodos de extração para a obtenção do óleo essencial da laranja doce, sendo uma técnica convencional (hidrodestilação) e não convencional (extração assistida por micro-ondas). A comparação entre os métodos de extração do óleo essencial da laranja doce, hidrodestilação (HD) e extração assistida por micro-ondas (MAE), revelou semelhanças e diferenças importantes. Ambos os métodos utilizam calor para liberar os óleos essenciais, resultando em rendimentos semelhantes. No entanto, a HD requer mais tempo e consome mais energia. Em contrapartida, a MAE gera calor diretamente na matriz vegetal, proporcionada pela ação das micro-ondas, promovendo um aquecimento mais rápido e uniforme, o que torna esse método mais sustentável e eficiente.

Palavras-chave: *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, extração, óleos essenciais

ABSTRACT

According to the *International Organization for Standardization - ISO* (2021), the definition of essential oils describes these compounds as products obtained from aromatic plants, extracted by different extraction methods. On the world market, the most popular essential oils include those extracted from citrus fruits such as oranges and lemons. In addition, in Brazil, the production of essential oils has grown significantly, making the country one of the largest exporters of volatile oils extracted from citrus fruits, especially oranges. The orange, the fruit of the *Citrus sinensis (L.) Osbeck* orange tree, belongs to the Rutaceae family and the Citrus genus, and is popularly called sweet orange in Brazil. The essential oil extracted from *Citrus sinensis (L.) Osbeck* is essential for the pharmaceutical, cosmetic and food industries. Various extraction techniques are used to obtain essential oils, including conventional methods such as organic solvent extraction, steam distillation, hydrodistillation and others. Also, with the advancement of society and technology, new methods of extracting essential oils are being studied, with the main aim of being sustainable, such as supercritical fluid extraction, microwave-assisted extraction and ultrasound-assisted extraction. Therefore, the aim of this work was to develop a literature review on two extraction methods for obtaining sweet orange essential oil, a conventional technique (hydrodistillation) and an unconventional technique (microwave-assisted extraction). A comparison between the hydrodistillation (HD) and microwave-assisted extraction (MAE) methods for extracting sweet orange essential oil revealed important similarities and differences. Both methods use heat to release the essential oils, resulting in similar yields. However, HD requires more time and consumes more energy. In contrast, MAE generates heat directly in the plant matrix, provided by the action of microwaves, promoting faster and more uniform heating, which makes this method more sustainable and efficient.

Keywords: *Citrus sinensis (L.) Osbeck*, extraction, essential oils.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Corte transversal da laranja, mostrando os constituintes de cada parte.

Figura 2 – Estrutura química dos terpenos e suas diferentes funções químicas atribuídas a monoterpenos e monoterpênicos.

Figura 3 – Sistema de hidrodestilação.

Figura 4 – Sistema de destilação por arraste a vapor.

Figura 5 - Colapso da bolha de cavitação e liberação do material vegetal.

Figura 6 - Configurações de aparato experimental utilizados na hidrodestilação.

Figura 7 – O processo de extração do óleo essencial de laranja por MAHD (*microwave-assisted hydrodistillation*)

LISTA DE SIGLAS

ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
OE	Óleo Essencial
OEs	Óleos Essenciais
HD	Hidrodestilação
MAE	<i>Microwave-Assisted Extraction</i>
EAU	Extração Assistida por Ultrassom
MAHD	<i>Microwave-Assisted Hydrodistillation</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	9
1.2	JUSTIFICATIVA	9
1.3	OBJETIVO	10
1.3.1	Objetivo geral	10
1.3.2	Objetivos específicos	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	ÓLEOS ESSENCIAIS	11
2.2	IMPORTÂNCIA E UTILIZAÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS	11
2.3	PRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS NO BRASIL	12
2.4	LARANJA DOCE <i>CITRUS SINENSIS (L.) OSBECK</i>	13
2.5	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS	15
2.6	MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS	17
2.6.1	Enfloração	17
2.6.2	Prensagem a frio	18
2.6.3	Solvente orgânico	18
2.6.4	Hidrodestilação e arraste a vapor d'água	19
2.6.5	Extração por fluido supercrítico (CO ₂)	21
2.6.6	Extração assistida por micro-ondas	21
2.6.7	Extração assistida por ultrassom (EAU)	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS	25
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1	COMPARAÇÃO ENTRE A HIDRODESTILAÇÃO E A EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR MICRO-ONDAS	26
4.1.1	Rendimento	26
4.1.2	Tempo de extração	27
4.1.3	Processo extrativo e instrumentação	28
4.1.4	Viabilidade ambiental e Química Verde	30
5	CONCLUSÃO	32
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Segundo a *International Organization for Standardization – ISO* (2021), a definição de óleos essenciais descreve esses compostos como produtos obtidos de plantas aromáticas, extraído por meio do processo de destilação, como: destilação por arraste a vapor d'água, hidrodestilação e outros tipos de separação utilizando compostos orgânicos, solventes e métodos de prensagem.

Para Oliveira e José (2007), os óleos essenciais consistem em complexas combinações de substâncias voláteis, que possuem afinidade pela gordura, normalmente apresentando aroma, além de serem substâncias fluidas. Esses óleos são derivados de plantas que possuem compostos aromáticos que podem ser extraídos da própria matriz vegetal.

No mercado mundial, os óleos essenciais mais populares incluem os extraídos de frutas cítricas como laranja e limão, de ervas como hortelã, e de flores aromáticas. No Brasil, a produção de óleos essenciais cresceu significativamente, tornando o país um dos maiores exportadores de óleos voláteis extraídos de frutas cítricas, especialmente da laranja. Fatores como clima ameno e solo fértil contribuem para o sucesso da produção desta fruta no país. A extração do óleo essencial da laranja é feita a partir do pericarpo, que é um subproduto da indústria de sucos (BIZZO; HOVELL; REZENDE, 2009).

1.2 JUSTIFICATIVA

Os óleos essenciais têm uma significativa relevância na indústria e são utilizados nos setores de perfumaria, cosméticos, alimentos e medicamentos, muitas vezes sendo os princípios ativos de plantas medicinais. Algumas das substâncias encontradas nesses óleos têm um alto valor no mercado. Nessas situações, é possível isolar essas substâncias dos óleos ou até mesmo sintetizá-las em laboratório. Um exemplo disso é o mentol encontrado em espécies de *mentha* (TRANCOSO, 2013).

De acordo com Cassel *et al.* (2009) existem diversas técnicas de extração empregadas para isolar esses óleos, sendo importante destacar que a composição do óleo pode sofrer

variações consideráveis dependendo do método utilizado (apud SILVEIRA *et al.*, 2012). Além disso, com o avanço da sociedade, novos métodos de extração de óleos essenciais são estudados, com o objetivo de serem financeiramente econômicos e principalmente sustentáveis (REYES-JURADO *et al.*, 2014). Dada a relevância dos óleos essenciais, é crucial destacar os métodos empregados na extração dessas essências, promovendo a exploração de tópicos interdisciplinares que permeiam a história desses óleos e promover a divulgação da pesquisa científica nesse campo (TRANCOSO, 2013).

A elevada produção de laranjas no Brasil e no mundo gera subprodutos valiosos durante o processamento para a obtenção de sucos, agregando um alto valor comercial. Entre esses subprodutos, destaca-se o óleo essencial de *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, um metabólito de grande relevância para as indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia. Além disso, outros compostos, como carotenoides, antocianinas, carboidratos, vitamina C e flavonoides, também apresentam benefícios à saúde humana. Pesquisas demonstram sua eficácia no combate a determinadas doenças, o que tem impulsionado o consumo e a produção dessa fruta. Consequentemente, as indústrias têm demonstrado crescente interesse em expandir as aplicações desses metabólitos (LEÃO, 2015).

1.3 OBJETIVO

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa é comparar os dois métodos de extração para a obtenção do óleo essencial da laranja doce (*Citrus sinensis* L. Osbeck.).

1.3.2 Objetivos específicos

- Comparar dois métodos de extração: convencional (hidrodestilação) e não convencional (extração assistida por micro-ondas) para a extração do óleo essencial da laranja doce.
- Explorar o método de melhor eficiência, melhor custo, instrumentação e viabilidade ambiental das técnicas de extração, para obter o óleo essencial da laranja doce.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ÓLEOS ESSENCIAIS

Segundo Ferreira (2014), “Os óleos essenciais são produtos obtidos das plantas aromáticas constituídos por compostos com características hidrofóbicas e elevada volatilidade.”. Os aromas têm exercido uma fascinação constante sobre a humanidade desde os albores da civilização. Diversas culturas, incluindo a indiana, árabe, chinesa e do Mediterrâneo, desempenharam papéis proeminentes no desenvolvimento da aromaterapia ao longo da história (SCHOPPAN, 2015).

A civilização árabe teve influência significativa na aromaterapia através da destilação dos óleos essenciais de plantas, contribuindo para o desenvolvimento e disseminação dos conhecimentos aromáticos. Suas contribuições não apenas enriqueceram a prática da aromaterapia, mas também influenciaram a perfumaria e a medicina em todo o mundo. Os gregos e os romanos também usavam fragrâncias para perfumar roupas, templos, vinho, lares e móveis, acreditando que esses aromas eram um presente dos deuses do Olimpo. Os árabes redescobriram a antiga técnica de destilação egípcia e aperfeiçoaram para um processo mais preciso, sendo pioneiros no uso dos óleos essenciais da maneira como os utilizasse hoje em dia (SCHOPPAN, 2015).

A partir dos séculos XVI e XVII, devido ao aumento do conhecimento, avanços tecnológicos e maior divulgação das informações sobre esses óleos, a comercialização desses produtos se popularizou em todo o mundo. É de importante destaque que as especiarias, incluindo muitas ervas aromáticas de alto valor econômico, eram bens de grande importância na Europa nessa época e eram consideradas extremamente valiosas (TRANCOSO, 2013).

2.2. IMPORTÂNCIA E UTILIZAÇÃO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Para Ferreira (2014), os óleos essenciais desempenham um papel fundamental na proteção das plantas, assegurando seu crescimento robusto e promovendo a disseminação da espécie. Algumas das funções que esses óleos executam nas plantas podem estar correlacionadas com suas atividades no corpo humano.

Os óleos essenciais desempenham diversas funções nas plantas aromáticas, como atrair ou repelir insetos, proteger contra variações de temperatura e agir como agentes antibacterianos. Das inúmeras espécies vegetais existentes, aproximadamente 700 são consideradas aromáticas e, portanto, de grande importância na produção de óleos essenciais. Devido à sua fonte limitada e à pequena quantidade presente em cada planta, os óleos essenciais são altamente valorizados. Atualmente, esses óleos são principalmente empregados na composição de fragrâncias, como perfumes. Apesar de compartilharem alguns componentes químicos com os óleos tradicionais, os óleos essenciais são leves e não gordurosos. No entanto, o alto teor de álcool em sua fabricação contribui para sua rápida volatilidade e evaporação (OLIVEIRA; JOSÉ, 2007).

2.3. PRODUÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS NO BRASIL

O Brasil destaca-se globalmente na produção de óleos essenciais (OE), mas enfrenta desafios persistentes, como a falta de manutenção do padrão de qualidade desses óleos, a representatividade nacional deficiente e os baixos investimentos governamentais no setor, resultando em uma situação estagnada. Foi estabelecida a ABRAPOE (Associação Brasileira de Produtores de Óleos Essenciais), que tem como objetivo principal promover a aproximação entre os produtores e os centros de pesquisa nacionais. A associação visa melhorar a qualidade dos óleos por meio de pesquisas e estudos de padronização, fornecer informações atualizadas de mercado e representar o setor diante de órgãos e programas governamentais (BIZZO; HOVELL; REZENDE, 2009).

Para Bizzo, Hovell e Rezende (2009), as frutas cítricas são amplamente cultivadas em todo o mundo, com destaque para a laranja como a variedade mais predominante. A produção global de laranjas e a fabricação de suco estão predominantemente concentradas em quatro países, sendo o Brasil o líder, contribuindo com um terço da produção mundial de laranjas e quase metade do suco produzido. Cerca de 70% desse suco é destinado ao processo de industrialização, enquanto os restantes 30% são consumidos internamente.

O Brasil é detentor da maior diversidade genética de plantas global, o que representa um potencial significativo para o desenvolvimento socioeconômico do país, sendo uma fonte valiosa de óleos essenciais para o setor produtivo. Na esfera industrial, esses óleos são

utilizados como matérias-primas essenciais na fabricação de produtos na indústria de perfumaria (MARQUES; TOLEDO, 2007).

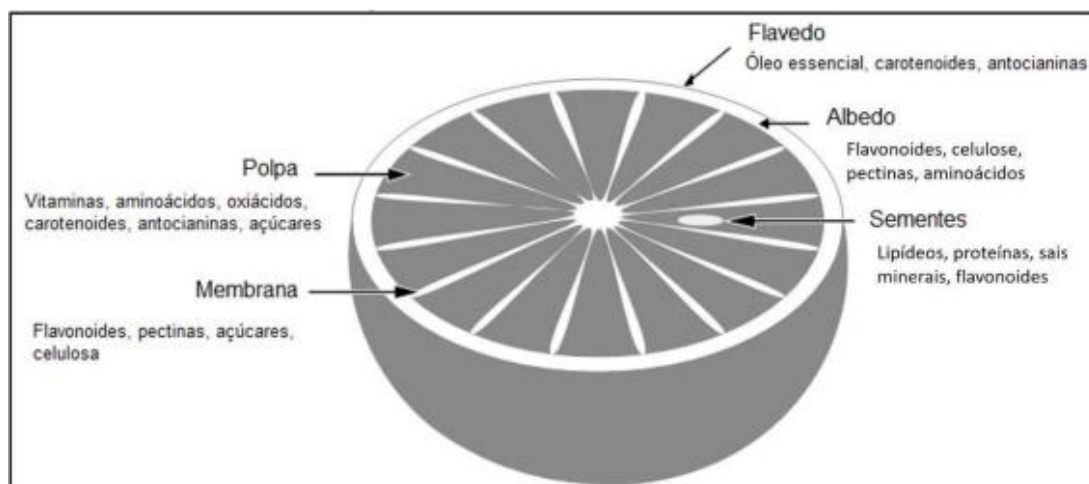
Para Marques e Toledo (2007), a indústria de perfume é altamente dinâmica e manifesta um interesse crescente por novos produtos provenientes da biodiversidade brasileira. Isso representa um nicho de mercado crucial para a exploração comercial da flora aromática nacional, como evidenciado pelos óleos essenciais de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*) e pelos óleos essenciais de pripioca (*Cyperus articulatus*) e louro-rosa (*Aniba ferrea*).

De acordo com relatos de Oliveira e José (2007), o aumento da demanda por óleos essenciais é impulsionado por quatro principais fatores: em primeiro lugar, o crescimento do consumo global de produtos cosméticos naturais; em segundo lugar, a integração dos princípios da aromaterapia na indústria de cuidados pessoais e limpeza; em terceiro lugar, a necessidade de substituir matérias-primas atualmente importadas pela indústria de higiene pessoal no Brasil; e por último, a recente tendência internacional de expansão dos investimentos do setor em direção à Ásia e à América Latina.

2.4. LARANJA DOCE *CITRUS SINENSIS (L.) OSBECK*

Os frutos cítricos são amplamente apreciados, tanto no consumo *in natura* quanto na forma de sucos processados. A laranja (*Citrus sinensis L. Osbeck*) se destaca como o cítrico mais cultivado e consumido em ambas as modalidades (FORSYTH; DAMIANI, 2003). A Figura 1 apresenta uma visão em corte transversal da laranja, identificando suas partes essenciais, como polpa, flavedo albedo, sementes e estruturas membranosas.

Figura 1 – Corte transversal da laranja, mostrando os constituintes de cada parte.



FONTE: LANZA, 2003.

A ampla produção de laranjas no Brasil e em diversas partes do mundo leva à transformação desses frutos em sucos, resultando na criação de subprodutos que possuem alto valor comercial. Um exemplo é o óleo essencial extraído de *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, que é crucial para as indústrias farmacêutica, cosmética e alimentícia. Além dele, existem outros compostos importantes, como carotenoides, antocianinas, carboidratos, vitamina C e flavonoides, que contribuem para a saúde humana (LEÃO, 2015).

A laranja, fruto da laranjeira *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, pertence à família Rutaceae e ao gênero Citrus, sendo popularmente chamada de laranja doce no Brasil. Embora sua origem seja apontada como o Sudeste da Ásia, ainda há debates sobre a região exata de surgimento. Esse fruto é um híbrido, originado na antiguidade pela combinação do pomelo (*Citrus maxima*) e da tangerina (*Citrus reticulata*) (NICOLSI *et al.*, 2000; GUO; DENG, 2001; HYNIEWTA; MALIK; RAO, 2011). Os integrantes dessa família se destacam pelo intenso aroma, resultado da presença de óleos essenciais. Além disso, os gêneros *Citrus*, *Ruta*, *Zanthoxylum*, *Ptelea*, *Murraya* e *Fortunella* também fazem parte dessa classificação (PERVEEN; QAISER, 2005).

Para Azar, Nekoei e Bahraminasab (2011), os óleos essenciais encontrados nos cítricos estão concentrados nas glândulas da superfície externa da casca do fruto. Esses óleos são formados por diversos componentes, como monoterpenos, sesquiterpenos, álcoois, ésteres e aldeídos. Entre eles, os óleos de laranja e limão são os mais apreciados. Os óleos

obtidos por meio da prensagem a frio são comumente utilizados em uma variedade de produtos alimentícios, doces, farmacêuticos, cosméticos e aromatizantes.

2.5. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Os óleos essenciais apresentam diversas composições químicas, características físico-químicas e aromas que variam de acordo com a espécie vegetal e a parte da planta empregada na extração. Além disso, essas características podem ser influenciadas pela região de cultivo, condições climáticas, método de extração, fertilização, período de colheita, irrigação, entre outros fatores (SILVESTRE; PAULETTI, 2018).

Ademais, segundo os estudos de Andrei e Dell (2005), os óleos essenciais são compostos lipídicos que possuem alta volatilidade e outras características físico-químicas bem específicas que os diferenciam de óleos do tipo fixo ou vegetais. Tais características como: volatilidade (evaporam facilmente em temperatura ambiente); solubilidade (solúveis em diferentes solventes, mas apresentam características apolares); densidade; ponto de ebulição, estabilidade; viscosidade e entre outras.

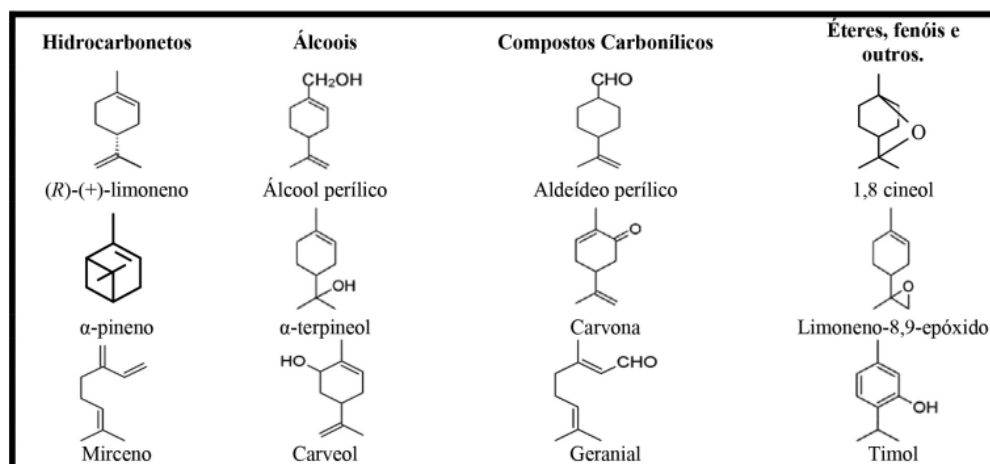
Para Silvestre e Pauletti (2018), a composição do óleo essencial de uma planta é determinada por sua genética, sendo referida como 'quimiotipo'. Contudo, as condições ambientais, como clima, tipo de solo e nutrientes, têm o poder de causar variações significativas no óleo e no próprio quimiotipo. Nesse contexto, o óleo essencial produzido por uma espécie específica em um ambiente determinado é conhecido como 'ecotipo'. É crucial observar também que a composição do óleo pode variar consideravelmente entre as diferentes partes da planta, dependendo dos fatores metabólicos inerentes a cada uma dessas partes.

A composição química dos óleos essenciais, variam conforme a matéria-prima a ser utilizada, o método de extração e o local a ser extraído na planta. Esses compostos podem ser extraídos de diversas partes das plantas como, caules, flores, folhas, frutos, cascas, entre outras. Porém de modo geral, eles apresentam componentes e funções químicas como: hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, fenóis, acetonas e diversos terpenos (Figura 2), como: monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos (ANDREI; DELL, 2005).

Os componentes encontrados nos óleos voláteis, em linhas gerais, podem ser categorizados como monoterpenos e sesquiterpenos, podendo também apresentar oxigenação. Essas moléculas são construídas por meio da concatenação de unidades de uma molécula menor denominada isopreno. Os terpenos, por sua vez, são constituídos por múltiplas moléculas de isopreno, também conhecidas como unidades isoprênicas. Além dos terpenos, há outros compostos resultantes do metabolismo celular, como flavonoides e cumarinas, que também possuem propriedades antioxidantes e biocidas. No entanto, em comparação com os terpenos, suas concentrações são muito baixas, geralmente encontradas em quantidades traço. Conseqüentemente, os terpenoides representam a classe química predominante nos óleos essenciais (SILVESTRE, PAULETTI, 2018).

De acordo com os estudos de Leal (2022), os terpenos constituem um conjunto de compostos orgânicos presentes no metabolismo secundário das plantas. Eles desempenham um papel protetor nas plantas, oferecendo resistência contra fatores externos, predadores e danos mecânicos. Embora também possam ser produzidos por outros organismos, os terpenos de origem vegetal são preferencialmente escolhidos para aplicações terapêuticas.

Figura 2 - Estrutura química dos terpenos e suas diferentes funções químicas atribuídas a monoterpenos e monoterpenoides.



FONTE: QUÍMICA E SOCIEDADE, 2017.

Os terpenos têm uma estrutura química formada por unidades de cinco carbonos conectadas por uma ligação dupla de carbono-carbono. Quando há uma ligação com oxigênio, esses compostos são chamados de terpenoides. Essas substâncias podem desempenhar várias funções químicas, como ácidos, álcoois, aldeídos, cetonas, éteres e

fenóis, dependendo de sua estrutura química. A qualidade do óleo essencial produzido está intimamente ligada a essa estrutura. Óleos essenciais de frutas cítricas, que são compostos principalmente por monoterpenos e sesquiterpenos de menor massa molecular, exibem uma maior volatilidade (LEAL, 2022).

Outros componentes desempenham um papel significativo na formação dos óleos derivados de frutas cítricas, incluindo o γ -terpineno, o β -pineno, o mirceno e o α -pineno. O linalol, por sua vez, é reconhecido por proporcionar uma característica organoléptica relevante, conferindo um aroma floral intenso aos óleos cítricos (SIMAS *et al.*, 2015).

2.6. MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS

Os processos e métodos de extração dos óleos essenciais, variam conforme a sua aplicação e utilização final, matéria-prima e entre outros requisitos. As técnicas mais utilizadas para a de extração dos óleos essenciais são: enfloração (*enfleurage*), destilação por arraste de vapor d'água; prensagem a frio; extração com solventes orgânicos (OLIVEIRA; JOSÉ, 2007). Além desses, outros métodos alternativos de extração são estudados, como: extração por dióxido de carbono supercrítico, extração assistida por micro-ondas e extração assistida por ultrassom (REYES-JURADO *et al.*, 2014).

2.6.1 Enfloração

A enfloração é uma técnica artesanal que já foi muito utilizada por algumas indústrias de perfumes, mas atualmente não é mais popular, por se tratar de método lento e caro para extração dos óleos essenciais (OLIVEIRA; JOSÉ, 2007). É um método utilizado para extrair OEs de flores delicadas, sensíveis ao calor e que possuem um baixo teor desses óleos, como jasmim, laranjeira e rosas (SILVEIRA *et al.*, 2012). Estudos como o de Prado *et al.* (2021) apresentam que além das flores ou pétalas, a enfloração pode ser eficaz para extrair OE de folhas como as de hortelã (*Mentha x piperita L.*) e manjeriço (*Ocimum basilicum L.*).

O processo de extração é feito da seguinte maneira: as pétalas ou flores inteiras são cuidadosamente colocadas sobre um tipo de gordura inodora, vegetal ou animal, e assim deixadas em uma placa de vidro, chamada chassi. As flores ficam em contato com a gordura por um longo período, até seu OE ser totalmente absorvido. Além disso, o material tem que ser frequentemente repostado. Posteriormente, a gordura é tratada com solvente alcoólico e

sendo destilado até a evaporação total do solvente e obtenção dos óleos essenciais (OLIVEIRA; JOSÉ, 2007).

2.6.2 Prensagem a frio

A técnica de prensagem a frio é um método de extração mecânica, utilizado principalmente para extrair os óleos essenciais de frutos cítricos e óleos vegetais de sementes ou grãos (SAVOIRE *et al.*, 2013). É uma técnica popular e altamente utilizada no mercado brasileiro para extração de óleos provenientes de frutas cítricas, como a laranja, limão, tangerina e outros.

Os óleos obtidos da prensagem são tratados como subprodutos das indústrias alimentícias (BIZZO; HOVELL; REZENDE, 2009). Além disso, as desvantagens que englobam este método são que os OEs provenientes na extração por prensagem a frio são óleos de baixa qualidade e pureza, por conter cumarinas, pigmentos vegetais e outras impurezas resultante do processo (REYES-JURADO *et al.*, 2014).

O processo de extração deste método consiste em: por meio de uma prensa hidráulica os frutos são prensados, assim rompendo as glândulas de óleos presentes na casca do fruto e, produzindo o suco juntamente com os OEs e outros resíduos. Após a prensagem é feita a centrifugação da mistura, assim separando através da densidade os óleos essenciais do suco da fruta. Os óleos essenciais de frutos cítricos também podem ser extraídos utilizando o método de hidrodestilação ou destilação por arraste a vapor (OLIVEIRA; JOSÉ, 2007).

2.6.3 Solvente orgânico

Segundo Biasi e Deschamps (2009), os solventes a serem utilizados para esse tipo de extração devem ter as seguintes características: seletividade, baixa temperatura de ebulição, ser quimicamente inerte e ser econômico financeiramente. Os tipos mais usados de solventes são os de propriedade apolar, como: hexano, pentano, metanol e outros (OLIVEIRA; JOSÉ, 2007).

A extração por solventes orgânicos ocorre a partir da imersão das plantas no solvente. Após um tempo, ocorre a transferência da composição solúvel da planta, efetuando-se a separação da fase líquida e sólida. O óleo é obtido a partir da evaporação do solvente presente na parte líquida (SILVEIRA, *et al.*, 2012).

É um método que se obtém maior rendimento na extração dos óleos essenciais, porém no processo de obtenção, além do óleo essencial, há permanência de resíduos do

solvente no produto (OLIVEIRA; JOSÉ, 2007). Outra desvantagem em relação a extração por solvente é o tratamento de efluentes proveniente do processo, portanto a escolha do solvente é extremamente importante para não impactar de maneira significativa o meio ambiente (REYES-JURADO *et al.*, 2014).

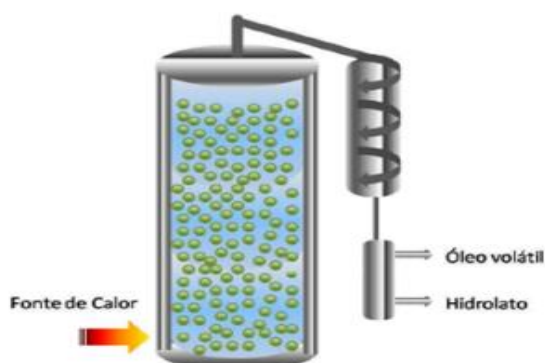
2.6.4 Hidrodestilação e arraste a vapor d'água

A hidrodestilação (HD) e o arraste a vapor d'água, são métodos que envolvem o uso da destilação utilizando a água em diferentes estados físicos (SARTOR, 2009). Segundo Koketsu e Gonçalves (1991), o processo de obtenção dos óleos essenciais, em sua maioria, ocorrem por meio da destilação a vapor, que podem ser separados em dois processos importantes:

- a) destilação com água e vapor d'água (hidrodestilação);
- b) destilação direta com vapor d'água (arraste a vapor).

A HD é um método laboratorial para a extração de óleos essenciais, principalmente de folhas. Com base nos estudos de Biasi e Dechamps (2009), a destilação é um processo de separação de substâncias através das suas propriedades de volatilidade. Portanto, no processo de extração pela HD, as folhas são imersas em água fervente, dentro de um equipamento de destilação (Figura 3). Após o aquecimento, água é evaporada e este vapor formado arrasta o óleo essencial que posteriormente é condensado, havendo assim a separação do óleo essencial e a água (BIASI, DESCHAMPS, 2009).

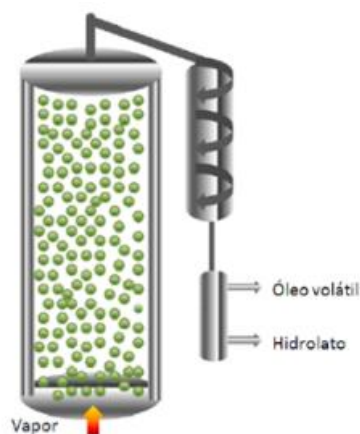
Figura 3 - Sistema de hidrodestilação.



FONTE: SARTOR, 2009.

O método de HD emprega um tipo de aparelho chamado Clevenger (Figura 4), onde coletam-se os óleos voláteis após o processo de destilação (BIASI; DESCHAMPS, 2009). Embora seja um método empregado para análises, pesquisas laboratoriais ou produção em pequena escala, há pequenas desvantagens de seu uso, como a degradação de alguns compostos presentes no óleo essencial, que ocorre a partir do longo período em que matéria-prima fica em contato com a água fervente (OLIVEIRA; JOSÉ, 2007).

Figura 4 - Sistema de destilação por arraste a vapor.



FONTE: SARTOR, 2009.

Já a extração utilizando o método de arraste a vapor d'água, é semelhante a HD, porém a matéria-prima não entra em contato direto com a água líquida, mas sim com o vapor d'água (KOKETSU, GONÇALVES, 1991). É um método mais comum industrialmente, pois utiliza-se equipamentos mais simples e econômicos (OLIVEIRA; JOSÉ, 2007). Neste processo utiliza-se uma caldeira para geração de vapor, um extrator (destilador), onde é colocada a matéria-prima a ser extraída, um condensador e um frasco de coleta ou vaso separador (MAIA, 2023).

No processo de destilação por arraste a vapor as plantas são inseridas em um recipiente e o vapor d'água é injetado na parte inferior do recipiente. O vapor d'água passa através das plantas, arrastando consigo os óleos essenciais. O vapor é então resfriado e liquefeito. Em um decantador, ocorre a separação do óleo e da água já em forma líquida (BIASI; DESCHAMPS, 2009).

2.6.5 Extração por fluido supercrítico (CO₂)

A utilização do fluido supercrítico vem se difundindo cada vez mais pelo mundo, por ser uma técnica sustentável e prover óleos essenciais de alta pureza (SILVEIRA, *et al.*, 2012). É uma técnica que utiliza substâncias com propriedades supercríticas. Maul, Wasicky, Bacchi (1996) definem um fluido supercrítico sendo um composto, no qual sua está acima de sua temperatura e pressão críticas, apresentando propriedades intermediárias entre as de um líquido e um gás, permitindo a utilização deles em processos de extração de solutos a partir de matrizes sólidas.

Para a extração de óleos essenciais com fluido supercrítico o dióxido de carbono é o composto mais popular, pois além do seu baixo custo, não é tóxico, não é inflamável, não é reativo e há possibilidade de obtenção com alto grau de pureza, por ser seletivo. (PINTO; PINTO; JARDIM, 2006).

Além disso, o CO₂ atinge seu estado supercrítico a uma temperatura de cerca de 31 °C e pressão de aproximadamente 73,8 bar. Nessa condição, ele tem baixa viscosidade e alta difusividade, o que facilita a penetração na matriz vegetal para extrair os óleos essenciais. Outra vantagem da utilização do gás carbônico é que sua polaridade está próxima a de solventes apolares como pentano e hexano que são altamente utilizados para a extração dos OEs no caso da extração por solventes orgânicos (MAUL, WASICKY, BACCHI, 1996) (PINTO; PINTO; JARDIM, 2006). O processo de extração de óleos essenciais utilizando o CO₂ como fluido supercrítico, pode ser transcrito em:

“Para tal extração, o CO₂ é primeiramente liquefeito por compressão e, em seguida, aquecido a uma temperatura superior a 31 °C. Nessa temperatura, CO₂ atinge um quarto estado, na qual sua viscosidade é análoga a de um gás, mas sua capacidade de dissolução é elevada como a de um líquido. Uma vez efetuada a extração, faz-se o CO₂, retornar ao seu estado gasoso, resultando na sua total eliminação” (SILVA, 2006).

2.6.6 Extração assistida por micro-ondas

A extração assistida por micro-ondas (*Microwave-Assisted Extraction* – MAE) é uma das tecnologias emergentes empregadas para extração de óleos essenciais. Esse método resulta em óleos de elevada concentração de componentes químicos em comparação com as extrações convencionais, além do tempo de extração ser inferior em relação aos métodos convencionais (TAVEIRA, 2023). De modo geral, o processo de extração utiliza as micro-

ondas para extrair os compostos desejados de determinado material. A aplicação deste método é diversa e pode ser utilizado, além da extração óleos essenciais de plantas aromáticas, para a extração de lipídios ou outros compostos orgânicos de sementes ou grãos (REYES-JURADO *et al.*, 2014), (TSUKUI; REZENDE, 2014).

As micro-ondas são radiações eletromagnéticas, não ionizantes que possuem frequência de 300 a 300.000 MHz. Diferente do aquecimento convencional (convecção, condução ou radiação), o aquecimento por micro-ondas, também chamado de aquecimento dielétrico, possui dois tipos de mecanismos que atuam sobre o material para a transformação de energia eletromagnética em calor, sendo esses a rotação de dipolos e a condução iônica (SANSEVERINO, 2002).

A rotação por dipolo é um mecanismo de aquecimento das micro-ondas que consiste no alinhamento das moléculas (com dipolos permanentes e induzidos) em relação ao campo elétrico. Quando o campo elétrico das micro-ondas é retirado, as moléculas retornam ao seu estado de origem desorganizado. A energia que foi absorvida para alinhar essas moléculas com o campo elétrico é liberada na forma de calor. Já a condução iônica envolve a geração de calor através das perdas por fricção, que ocorre através da migração dos íons dissolvidos sob a ação de um campo eletromagnético. A quantidade de energia perdida varia de acordo com o tamanho, carga, condutividade dos íons dissolvidos e como eles interagem com o solvente (TSUKUI, REZENDE, 2014), (SANSEVERINO, 2002). Além disso, para garantir que o aquecimento por micro-ondas seja eficaz, é importante utilizar recipientes transparentes que permitam a passagens das micro-ondas, como quartzo ou teflon (TSUKUI; REZENDE, 2014).

No processo extrativo da MAE, a energia eletromagnética provinda pelas micro-ondas é transformada em calor, assim elevando a temperatura interna da célula vegetal. Esse aquecimento causa a evaporação da umidade presente na matéria prima, o que aumenta a pressão interna das células, levando o rompimento das membranas e conseqüentemente a liberação dos óleos voláteis. Diversos fatores influenciam na MAE, sendo eles a potência do equipamento, natureza, qualidade e quantidade do solvente utilizado, tempo de extração, órgão da planta a ser extraído e condição da matriz vegetal (REYES-JURADO *et al.*, 2014), (TAVEIRA, 2023).

2.6.7 Extração assistida por ultrassom (EAU)

O ultrassom tem sido reconhecido como uma técnica inovadora e promissora no século XXI, com amplas aplicações nos setores farmacêutico, cosmético, químico e alimentício desde meados do século XX. Trata-se de uma forma de energia mecânica que se propaga através de um meio elástico e se diferencia dos sons audíveis pela sua frequência. Enquanto os humanos podem ouvir frequências entre 16 Hz e 20 kHz, as frequências do ultrassom variam de 20 kHz a 10 MHz (ROSTAGNO & PRADO, 2013).

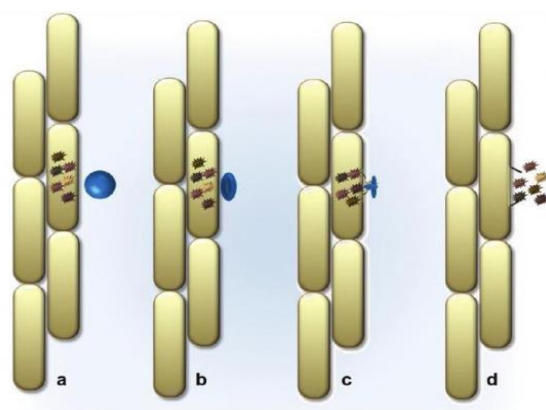
O aumento na eficácia da extração de compostos orgânicos pelo ultrassom se deve ao fenômeno da cavitação, que ocorre quando uma onda ultrassônica passa pelo solvente. Durante a aplicação do ultrassom, bolhas de cavitação são formadas e comprimidas, o que eleva a pressão e a temperatura. Quando essas bolhas colapsam, uma onda de choque é gerada e percorre o solvente, promovendo uma melhor mistura. Além disso, ao tratar tecidos vegetais crus, descobriu-se que as células que contêm óleos essenciais têm membranas muito finas que podem ser facilmente danificadas pela sonicação, o que facilita a liberação de compostos extraíveis e aumenta o transporte de solvente da fase contínua para dentro das células vegetais. Assim, a quebra eficiente das células e a transferência eficaz de massa são os principais fatores que contribuem para o aumento da extração com o uso do ultrassom (REYES-JURADO *et al.*, 2014).

O fenômeno da cavitação induzido pelo ultrassom ocorre quando microbolhas de gases dissolvidos no líquido são criadas, ampliadas e subsequentemente colapsadas devido às variações de pressão e temperatura geradas pela passagem das ondas ultrassônicas. Essas bolhas de cavitação atuam como agentes de agitação, promovendo a mistura eficiente do meio líquido e facilitando a extração de compostos. Quando as bolhas colapsam, ocorre uma rápida liberação de energia, criando pontos quentes que podem acelerar significativamente as reações químicas no meio. Além disso, quando as bolhas colapsam na superfície de um material sólido, elas geram microjatos e ondas de choque que podem desagregar partículas e melhorar a eficiência da extração. Esse processo de cavitação ultrassônica tem sido amplamente explorado em diversas aplicações, desde a síntese de materiais até a extração de compostos em diversas indústrias (ROSTAGNO & PRADO, 2013).

Na indústria alimentícia, esses microjatos podem ser benéficos na extração de compostos de plantas. A Figura 5 ilustra quando uma bolha de cavitação próxima à superfície do material vegetal (a) colapsa durante uma fase de compressão, cria-se um microjato que é

direcionado para a superfície (b e c). Esse processo de alta pressão e temperatura danifica as paredes celulares da planta, liberando seu conteúdo no meio (d). Um exemplo importante a ser citado seria no processo de extração do óleo essencial de manjerição, pode-se observar as células e glândulas de óleo essencial intactas, ao contrário da glândula vazia após o método de extração comum. Contudo, devido à cavitação, as células de manjerição são completamente destruídas durante a extração assistida por ultrassom, permitindo a recuperação total do óleo essencial (ROSTAGNO e PRADO, 2013).

Figura 5 – Colapso da bolha de cavitação e liberação do material vegetal



FONTE: ROSTAGNO e PRADO, 2013.

Na extração de óleos essenciais em laboratórios, é comum utilizar equipamentos como banhos de limpeza ou sistemas de sonda. Nos banhos de limpeza, a extração pode ser feita de forma direta ou indireta; em ambos os casos, é recomendável utilizar um agitador mecânico e resfriar a mistura de extração, pois o uso de ultrassom pode aumentar a temperatura. Para volumes menores de extração, o sistema de sonda pode ser adequado. Diversos fatores influenciam a eficiência e eficácia da extração assistida por ultrassom, incluindo as características da planta (como teor de umidade e tamanho das partículas), o solvente utilizado e as variáveis do processo (frequência, pressão, temperatura e tempo de sonicação) (REYES-JURADO et al., 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foram analisadas e estudadas dissertações e teses acadêmicas, pesquisadas em repositórios de universidades e em sites de busca de artigos científicos, como SciELO, Google Acadêmico, Scopus, PubMed e outras plataformas acadêmicas. Foram utilizadas revistas científicas, livros na área da botânica e química analítica.

Ademais, as pesquisas encontradas e selecionadas foram publicadas no período de 1991 até o ano de 2024 e as palavras-chave utilizadas nas pesquisas foram: óleos essenciais; métodos de extração; composição química, prensagem a frio, enfloração, extração por solvente orgânico, extração assistida por micro-ondas, extração assistida por ultrassom, HD, destilação, arraste a vapor d'água, aplicações dos óleos essenciais, importância econômica dos óleos essenciais, propriedades da laranja doce, mercado da laranja doce, óleo essencial da laranja doce e compostos químicos do óleo essencial da laranja doce.

A metodologia científica utilizada para a realização do trabalho foi a pesquisa qualitativa e exploratória, buscando compreender a complexidade e os detalhes das informações obtidas a partir de análises de documentos e materiais bibliográficos já publicados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COMPARAÇÃO ENTRE A HIDRODESTILAÇÃO E A EXTRAÇÃO ASSISTIDA POR MICRO-ONDAS.

4.1.1 Rendimento

O óleo essencial da laranja doce é extraído majoritariamente de glândulas presentes no seu edicarmo ou flavedo (casca), nesta parte do fruto há uma grande concentração de substâncias orgânicas aromáticas, como mirceno, feladreno, pineno e outras. Portanto, indica-se que para extrair os óleos essenciais da laranja sejam utilizadas as cascas da laranja (SILVESTRE; PAULETTI, 2018). Além disso, para que haja uma boa extração e de alto rendimento de OE, as condições externas de armazenamento da fruta são importantes, pois isso afeta diretamente a preservação dos compostos presentes na casca que são os principais responsáveis pela produção do OE (LEÃO, 2015).

De modo geral, o rendimento do óleo essencial pode ser avaliado pela razão entre o volume final de óleo obtido após o processo de extração e a massa de matéria-prima utilizada para a extração do OE (equação 1). Esse cálculo é essencial para avaliar a eficiência da extração e pode variar dependendo do tipo do método de extração e condições de processamento. O rendimento geralmente é expresso em porcentagem.

$$\text{Rendimento (\%)} = \left(\frac{\text{Massa do óleo essencial extraído}}{\text{Massa da matéria prima}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Souza (2023), realizou um estudo da avaliação do rendimento do óleo essencial da laranja doce pelo método de HD. No trabalho citado, o processo de obtenção foi feito em batelada, totalizando cerca de 1868 g de casca de laranja doce moída. Com isso, foi possível obter um total de 1,81% ou 33,9 mL de óleo essencial. Assim como o estudo de Souza (2023), Leão (2015) obteve um rendimento máximo de 2,0% das cascas da laranja. Em ambos os estudos (SOUZA, 2023), (LEÃO, 2015) o processo de extração durou cerca de 3h.

No entanto, em estudos voltados para a extração por hidrodestilação assistida por micro-ondas, como o de Toan *et al.* (2020), foi possível obter um rendimento de cerca de

2,0% de OE, mas em um tempo bem inferior (45 min) comparada com a HD convencional utilizada nos estudos citados anteriormente.

Além disso, Ngan, (2023), também comparou o potencial de extração da hidrodestilação assistida por micro-ondas com a técnica de HD convencional. O equipamento utilizado e a metodologia abordada no trabalho são semelhantes ao processo de HD e não foi utilizado solvente orgânico. A diferença de rendimento não foi tão significativa entre as técnicas, pela MAE foi possível obter um rendimento de 0,31% e pela HD foi de 0,39% para as mesmas quantidades matéria-prima e água. Porém, o que difere principalmente é o tempo de extração, pela HD o tempo foi de 3 h e pela MAE foi de 40 minutos (NGAN *et al.*, 2023).

O rendimento de óleos essenciais obtidos por HD e extração assistida por micro-ondas pode apresentar semelhanças principalmente devido ao seu mecanismo de extração. Ambos os métodos utilizam calor para promover a liberação dos óleos essenciais das células vegetais. Na HD, o vapor d'água provoca os rompimentos das glândulas e a liberação dos compostos voláteis, que são arrastados pela corrente de vapor. Já na extração assistida por micro-ondas, as ondas eletromagnéticas geram calor rapidamente dentro da matriz vegetal, promovendo a extração dos compostos. Essa semelhança no princípio de operação é uma das razões para rendimentos semelhantes (CHEMAT; ABERT-VIAN; FERNANDEZ, 2012). (MOVALIYA, 2017), (NGAN *et al.*, 2023).

4.1.2 Tempo de extração

De acordo com os estudos de Bustamante *et al.* (2016), uma alternativa à HD convencional é a destilação a vapor assistida por micro-ondas. Essa técnica se diferencia pelo método de aquecimento utilizado, que ocorre de maneira mais rápida do que na destilação tradicional. Ademais, a aplicação de micro-ondas causa a ruptura das células do tecido vegetal por meio do fenômeno de cavitação, facilitando uma transferência de massa mais eficiente do óleo essencial para a fase gasosa (GAVAHIAN *et al.*; 2018).

O rápido aquecimento proporcionado pela micro-ondas geralmente resulta em processos mais eficazes em comparação com os métodos tradicionais, devido à maior eficiência na transferência de calor e massa. Nos métodos convencionais, o calor é conduzido e transferido da superfície externa para o interior do material. Por outro lado, na MAE, o calor é gerado diretamente dentro do material. Isso permite que o aquecimento ocorra de forma mais uniforme e eficiente em toda a amostra (NAVARRETE *et al.*, 2012), (LI *et al.*, 2013), (CHEMAT *et al.*, 2015).

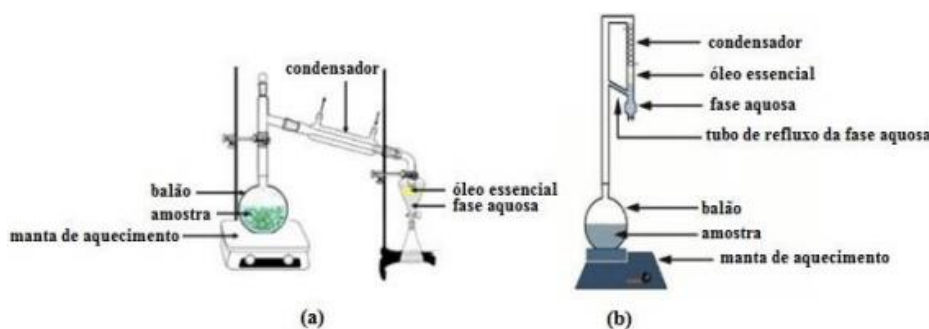
De acordo com estudos de Kusuma (2016) o método HD levou cerca de 7 horas para extrair o óleo essencial de laranja. Durante esse processo, a quantidade de óleo essencial extraído continuou a aumentar até aproximadamente a quinta hora, momento em que o rendimento se estabilizou, indicando que a maior parte do óleo já havia sido extraída. Esse longo tempo de extração pode ser explicado pela forma como o calor é transferido ao material vegetal – de maneira mais lenta e desigual – utilizando vapor de água.

Em contraste, o método MAE foi significativamente mais rápido, completando o processo de extração em apenas 140 minutos (ou pouco mais de 2 horas). A eficiência desse método está diretamente ligada ao aquecimento por micro-ondas, que distribui o calor de maneira uniforme e imediata dentro do material vegetal, acelerando a quebra das glândulas de óleo essencial. Essa rápida liberação do óleo essencial reduz o tempo necessário para a extração (KUSUMA, 2016).

4.1.3 Processo extrativo e instrumentação

A HD é uma prática convencional para a extração do OE num geral, por possuir aparelhagem simples, ser financeiramente econômica e utilizar a água como solvente em todos os processos de extração. (OLIVEIRA; JOSÉ, 2007). O processo extrativo, consiste em primeiramente triturar a matéria-prima, que no caso é casca da laranja. Posteriormente, a água é adicionada ao recipiente onde as laranjas estão. O sistema é então aquecido, fazendo com que a água comece a ferver e produza vapor. Esse vapor sobe e passa pelo material vegetal, arrastando consigo os óleos essenciais presentes nas cascas das laranjas. Após essa fase, o vapor é condensado e passa a ser um líquido. Neste líquido estão presentes os OE juntamente com a água, que em seguida, são separados pela diferença de densidade em um decantador (GIWA, MUHAMMAD, GIWA; 2018), (LEÃO, 2023). A figura 6, apresenta dois tipos de aparelho utilizados na HD. O primeiro arranjo (a), consiste no emprego de um condensador tipo Liebig e um funil de separação. Já o segundo (b), consiste na utilização do aparelho Clevenger que não possui funil de separação e a mistura líquida é separado pelo frasco coletor.

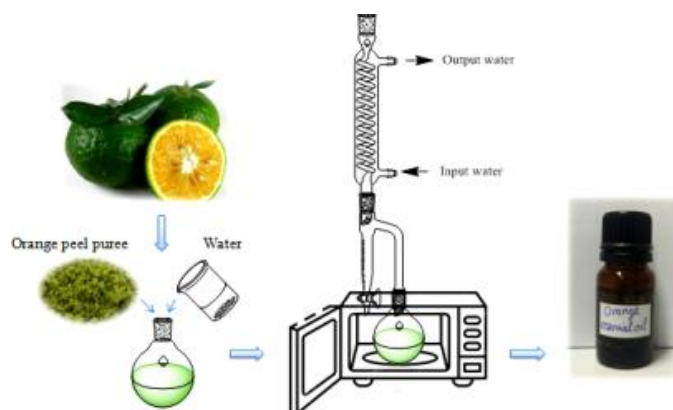
Figura 6 - Configurações de aparato experimental utilizados na HD.



FONTE: RIBEIRO, 2018.

A extração assistida por micro-ondas opera de forma relativa a HD. Existem muitas formas de aplicar a extração assistida por micro-ondas para a obtenção do óleo essencial da laranja. Neste método, as micro-ondas são utilizadas para aquecer rapidamente a amostra. A instrumentação inclui um equipamento que gera micro-ondas acoplado a um sistema de separação. A figura 7, apresenta o processo extrativo utilizando a hidrodestilação assistida por micro-ondas para a obtenção do OE da laranja. Esse processo se difere da HD principalmente pelo uso do equipamento de geração das micro-ondas (TOAN *et al.*, 2020).

Figura 7 - O processo de extração do óleo essencial de laranja por MAHD (*microwave-assisted hydrodistillation*).



FONTE: TOAN *et al.*, 2020.

A diferença principal de operação entre as técnicas está relacionada ao método de dissipação do calor. Na HD, o aquecimento fornecido acontece por meio da condução e convecção, resultando no aquecimento da superfície para o interior da matriz vegetal. Já na

MAE, as micro-ondas penetram diretamente na matriz vegetal e os materiais irradiados são rapidamente aquecidos de dentro para fora (TSUKUI; REZENDE, 2014), (MOVALIYA, 2017).

4.1.4 Viabilidade ambiental e Química Verde

Embora o método de HD seja relativamente simples, ele demanda um longo período para realizar a extração, o que resulta em um maior gasto de energia e conseqüentemente, maior custo (BUSTAMANTE *et al.*, 2016), (GOLMOHAMMADI; *et al.*, 2018).

Em relação a outras técnicas, a MAE é uma abordagem econômica e sustentável para a extração de óleos essenciais, exigindo um tempo de extração reduzido (KHALILI *et al.*, 2018), (SODEIFIAN *et al.*, 2018), (YINGNGAM E BRANTNER, 2018), (SANTOS *et al.*, 2019). Ademais, esta técnica não exige água ou utiliza apenas um volume mínimo dela no sistema de extração. (LIU *et al.*, 2018).

De acordo com os estudos de Tsukui e Rezende (2014), Química Verde ou *Green Chemistry*, é um ramo da química que se concentra no desenvolvimento de processos e produtos químicos que minimizam ou eliminam a geração de substâncias nocivas ao meio ambiente e à saúde humana. Seus princípios incluem prevenção de resíduos, uso de materiais não tóxicos, eficiência energética e sustentabilidade.

Tsukui e Rezende (2014) também enfatizam que conceito de Química Verde está intimamente relacionado às técnicas de extração por micro-ondas, enfatizando a sustentabilidade e a redução de resíduos. A extração assistida por micro-ondas oferece benefícios que se alinham com os princípios da Química Verde, como a eficiência na extração, pois proporciona altos rendimentos de produtos em tempos significativamente menores em comparação com métodos convencionais, como a extração por *Soxhlet* ou aquecimento em refluxo, melhorando a eficiência do processo e reduzindo o consumo de energia e recursos.

Além disso, a utilização de micro-ondas minimiza a geração de resíduos, promovendo uma abordagem mais sustentável na extração de compostos, o que é fundamental na Química Verde, que busca desenvolver processos que diminuam ou eliminem a produção de resíduos nocivos ao meio ambiente. Por fim, a extração por micro-ondas representa uma nova perspectiva sobre as metodologias de extração existentes, alinhando-se com a crescente preocupação em desenvolver estratégias ambientalmente

sustentáveis, como refletido no aumento do número de publicações científicas na área de Química Verde que abordam essas técnicas inovadoras (TSUKUI; REZENDE, 2014).

5 CONCLUSÃO

Os óleos essenciais extraídos de plantas aromáticas são valiosos em indústrias como perfumaria, cosméticos, alimentos e medicamentos, destacando-se o óleo essencial de *Citrus sinensis* (L.) Osbeck. A extração desses óleos é fundamental e pode ser realizada por métodos convencionais, como HD, ou por técnicas não convencionais, como a MAE, cada uma com suas próprias características.

Além de suas aplicações comerciais, os óleos essenciais desempenham funções importantes nas plantas e podem ter benefícios para a saúde humana. Sendo assim, estudar os métodos de extração e as propriedades dos óleos de laranja é essencial para otimizar seu uso e promover a pesquisa científica.

A comparação entre os métodos de extração do óleo essencial da laranja doce: HD e MAE, revelou semelhanças e diferenças importantes. Ambos os métodos utilizam calor para liberar os óleos essenciais, resultando em rendimentos semelhantes. No entanto, a HD requer mais tempo e consome mais energia. Em contrapartida, a MAE gera calor diretamente na matriz vegetal, promovendo um aquecimento mais rápido e integral, o que torna esse método mais econômico, sustentável e eficiente.

Ambas as técnicas são afetadas por variáveis como tempo, temperatura e tamanho da matéria-prima, mas a MAE se destaca pela maior eficiência e menor gasto energético, tornando-a uma alternativa atraente para a extração de óleos essenciais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, André Luís Rosário. **Extração de limoneno empregando técnicas sustentáveis**. 2022. 50 f. TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) - Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2022.

AMARAL, Fernando. **Técnicas de aplicações de óleos essenciais: terapias de saúde e beleza**. Brasil: Cengage Learning, 2015.

ANDREI, P. & DELL COMUNE, A. **Aromaterapia e suas aplicações**. Cadernos. Centro Universitário S. Camilo. São Paulo. v.11, n.4, p. 57-68, out/dez 2005. Disponível em: https://www.saocamilo-sp.br/pdf/cadernos/36/07_aromaterapia.pdf Acesso 04/04/2024

AZAR, Parviz Aberoomand; NEKOEI, Mehdi; LARIJANI, Kambiz; BAHRAMINASAB, Sakineh. Chemical composition of the essential oils of Citrus sinensis cv. **Valencia and a quantitative structure–retention relationship study for the prediction of retention indices by multiple linear regression**. Journal of the Serbian Chemical Society, v. 76, n. 12, p. 1627–1637, 2011

BIASI. L. A.; DESCHAMPS, C. **Plantas aromáticas: do cultivo a produção de óleo essencial**. Curitiba: Layer Studio Gráfico e Editora Ltda, 2009.

BIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. **Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas**. Química Nova, v. 32, n. 3, p. 588–594, 2009.

BUSATO, N. V. et al.. Estratégias de modelagem da extração de óleos essenciais por hidrodestilação e destilação a vapor. **Ciência Rural**, v. 44, n. 9, p. 1574–1582, set. 2014.

CHEMAT, F.; FABIANO-TIXIER, A. F.; VIAN. M .A.; ALLAF, T.; VOROVIEV, E. **Solventfree extraction of food and natural products**. TrAC - Trends in Analytical Chemistry, v. 71, p. 157–168, 2015

CHEMAT, Farid; ABERT-VIAN, Maryline; FERNANDEZ, Xavier. Microwave-assisted extraction of essential oils and aromas. In: **Microwave-assisted extraction for bioactive compounds: theory and practice**. Boston, MA: Springer US, 2012. p. 53-68.

FERREIRA, Ana Rita Alves. **Uso de óleos essenciais como agentes terapêuticos**. 2014. 87p. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade Fernando Pessoa, Porto, 2014. Disponível em: <https://bdigital.ufp.pt/handle/10284/4513>. Acesso em: 27/04/2024

FORSYTH, J.; DAMIANI, J. **Citrus fruits / Types on the Market**. In: CABALLERO, B.; TURGO, L.; FINGLAS, P. (org.). *Enciclopedia of food science and nutrition*. Oxford, UK: Academic Press, 2003. p. 1329–1335.

GIWA, Saidat Olanipekun; MUHAMMAD, Mahmood; GIWA, Abdulwahab. Utilizing orange peels for essential oil production. **Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 13, n. 1, p. 17-27, 2018.

GONÇALVES G.G., MATTOS L.P.V., MORAIS L.A.S. 2009. **Óleos essenciais e extratos vegetais no controle de fitopatógenos de grãos de Óleos essenciais e extratos vegetais no controle de fitopatógenos de grãos de soja**. Horticultura Brasileira

GUO, W. W.; DENG, X. X. **Wide somatic hybrids of Citrus with its related genera and their potential in genetic improvement**. *Euphytica*, v. 118, n. 2, p. 175-183, 2001.

HYNNIEWTA M, MALIK SK, RAO SR. **Karyological studies in ten species of Citrus (Linnaeus, 1753) (Rutaceae) of North-East India**. *Comp Cytogenet*. 2011;5(4):277-287. Published 2011 Nov 9. doi:10.3897/CompCytogen.v5i4.1796

HYNNIEWTA, M.; MALIK, S. K.; RAO, S. R. **Karyological studies in ten species of investigated by molecular markers**. *Theoretical and Applied Genetics*, v. 100, n. 8, p.1155-1166, 2000. *journal of botany*, v. 37, n. 3, p. 495-501, 2005.

KHALILI, G., MAZLOOMIFAR, A., LARIJANI, K., TEHRANI, M.S., AZAR, P.A., 2018. **Solvent-free microwave extraction of essential oils from Thymus vulgaris L. and Melissa officinalis L.** *Ind. Crops Prod*. 119, 214–217

KOKETSU, M.; GONÇALVES, S. L., 1991, **Óleos essenciais e sua extração por arraste a vapor**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CTAA

LANZA, C. M. **Citric fruits / Processed and Derived Products of Oranges**. In: CABALLERO, B.; TURGO, L.; FINGLAS, P. (org.). *Enciclopedia of food science and nutrition*. Oxford, UK: Academic Press, 2003. p. 1346–1354

LEAL, G. C. **A Química dos óleos essenciais e seus poderes terapêuticos**. *Revista Blog do Profissão Biotec*, v.9, 2022. Disponível em: <<https://profissaobiotec.com.br/quimica-dos-oleos-essenciais-seus-poderes-terapeuticos/>>. Acesso em: 20/04/2024

LEÃO, Marina. **Análise do óleo essencial da laranja doce Citrus sinensis (L.) Osbeck obtido das cascas secas e frescas através do método de extração por hidrodestilação**.

Santa Cruz do Sul, 2015. 49p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Santa Cruz do Sul.

LI, Y.; FAVIANO-TIXIER, A. S.; VIAN, M. A.; CHEMAT, F. **Solvent-free microwave extraction of bioactive compounds provides a tool for green analytical chemistry.** TrAC - Trends in Analytical Chemistry, v. 47, p. 1–11, 2013.

LIU, Z., DENG, B., LI, S., ZOU, Z., 2018. **Optimization of solvent-free microwave assisted extraction of essential oil from Cinnamomum camphora leaves.** Ind. Crops Prod. 124, 353–362

LUPE, Fernanda Avila. **Estudo da composição química de óleos essenciais de plantas aromáticas da Amazonia.** 2007. 126p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química, Campinas, SP.

MAIA, B.N. Informações Práticas sobre a técnica de extração de óleos essenciais por arraste a vapor. *In:* FABRI, G. E. *et.al.* **Óleos Essenciais: 10º Curso Prático de extração de Óleos Essenciais.** Campinas. IAC, 2023.p. 30-37

MARQUES, M.O.M.; TOLEDO, R. **Óleos essenciais... história e sua importância para a indústria de perfumaria.** Com Ciência, 10 de setembro de 2007. Disponível em: <https://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=28&id=327>.

MAUL, A. A.; WASICKY, R.; BACCHI, E. M. **Extração por fluido supercrítico.** Revista Brasileira de Farmacognosia, v. 5, n. 2, p. 185–200, 1996.

NAVARRETE, A.; MATO, R. B.; COCERO, M. J. **A predictive approach in modeling and simulation of heat and mass transfer during microwave heating. Application to SFME of essential oil of Lavandin Super.** Chemical Engineering Science, v. 68, p. 192–201, 2012.

NGAN, T. T. K. et al. **Chemical composition and antibacterial activity of orange (Citrus sinensis) essential oils obtained by hydrodistillation and solvent free microwave extraction.** In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. p. 012023.

NICOLOSI, E., Deng, Z., Gentile, A. et al. **Citrus phylogeny and genetic origin of important species as investigated by molecular markers.** Theor Appl Genet 100, 1155–1166 (2000).

OLIVEIRA, S. M. M.; JOSÉ, V. L. A., **Dossiê Técnico: Processo de Extração de Óleos Essenciais.** 2007. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas.

PINTO, G. M. F.; PINTO, J. F.; JARDIM, I.C.S.F. **Extração com Fluido Supercrítico**. 2006. Chemkeys – Liberdade para aprender. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/inpec/index.php/chemkeys/article/view/9603>.

PRADO, Hellen Ramos et al. **Aplicabilidade do Método de enfleurage para Extração de Óleos Essenciais de Espécies Vegetais**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 12, p. 117457-117479, 2021.

REYES-JURADO, F. *et al.* Essential Oils: antimicrobial activities, extraction methods, and their modeling. **Food Engineering Reviews**, v. 7, n. 3, p. 275-297. 2014.

RIBEIRO, Leticia Gouveia. **Extração assistida por micro-ondas de óleo essencial de folhas de eucalipto (Eucalyptus urophylla x globulus)**. 2018.

ROSTAGNO, M.A., PRADO, J.M. **Natural product extraction: principles and applications**. Londres: Royal Society of Chemistry, 2013. 500p

SANTOS, J.D.C., COELHO, E., SILVA, R., PASSOS, C.P., TEIXEIRA, P., HENRIQUES, I., COIMBRA, M. A., 2019. **Chemical composition and antimicrobial activity of Satureja montana by products essential oils**. Ind. Crops Prod. 137, 541–548

SARTOR, R. B.; 2009. **Modelagem, Simulação e Otimização de uma Unidade Industrial de Extração de Óleos Essenciais por Arraste a Vapor**. Dissertação (Mestrado em Pesquisa e Desenvolvimento de Processos). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009.

SCHOPPAN, V. **A História da Aromaterapia - Parte I**. Terraflor Aromaterapia, 2015. Disponível em: <https://terra-flor.com/blog/historia-da-aromaterapia-parte-1/>. Acesso em: 27 de setembro de 2023.

SILVA, E. A. S. **Estudo analítico dos óleos essenciais extraídos de resinas das espécies Protium spp**. 2006. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SILVA, Larissa Dionísio. **Extração assistida por microondas de compostos bioativos do café verde (coffea arabica) utilizando solventes eutéticos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2023

SILVEIRA, J. C.; BUSATO, N.; COSTA, A.; COSTA JUNIOR, E. **Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais**. ENCICLOPEDIA BIOSFERA, v. 8, n. 15, 2012.

SILVESTRES, W. P.; PAULETTI, G. **Óleo essencial cítrico: produção, composição e fracionamento**. Citricultura do Rio Grande do Sul: indicações técnicas. Secretaria da Agricultura, Pecuária e Irrigação-SEAPI, 2018.

SIMAS, Daniel L. R. et al. **Caracterização dos óleos essenciais de frutas cítricas**. Citrus Research & Technology, Cordeirópolis, v.36, n.1, p.15-26, 2015

SODEIFIAN, G., SAJADIAN, S.A., HONARVAR, B., 2018. **Mathematical modelling for extraction of oil from *Dracocephalum kotschy* seeds in supercritical carbon dioxide**. Nat. Prod. Res. 32 (7), 795–803

STEFFANI, E. **Modelagem matemática do processo de extração supercrítica de óleo essencial de Ho-Sho (*Cinnamomum camphora* Nees & Eberm var. *linaloolífera* Fujita) utilizando CO₂**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

TAVEIRA, Luana da Silva. **Extração assistida por micro-ondas e análises físicas do óleo essencial das folhas de *Spondias tuberosa* Arruda**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

TOAN, T Q *et al.* Study on extraction process and analysis of components in essential oils of Vietnamese orange peel (*Citrus sinensis*) by microwave assisted hydrodistillation extraction. **Iop Conference Series: Materials Science and Engineering**, [S.L.], v. 991, n. 1, p. 012125, 2020. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/991/1/012125>.

TRANCOSO, Marcelo Delena. **Projeto Óleos Essenciais: extração, importância e aplicações no cotidiano**. Revista PRÁXIS, Rio de Janeiro, v.5 n.9, p.1-8, 16 de julho de 2013. Disponível em: <https://revistas.unifoa.edu.br/praxis/article/view/609>. Acesso em: 27 de setembro de 2023.

TSUKUI, A., REZENDE, C M. **Extração assistida por micro-ondas e química verde**. Revista virtual de química, v. 6, n. 6, p. 1713-1725, 2014.

YINGNGAM, B., BRANTNER, A., 2018. **Boosting the essential oil yield from the rhizomes of cassumunar ginger by an eco-friendly solvent-free microwave extraction combined with central composite design**. J. Essent. Oil Res. 30 (6), 409–420