



Universidade Federal de Uberlândia

Faculdade de Engenharia Química

Graduação em Engenharia Química

EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE GERGELIM

Murilo Rocha Lemes

Uberlândia – MG

2018

EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE GERGELIM

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia como parte
dos requisitos necessários para a aprovação na
mesma disciplina do curso de Engenharia Química.**

Uberlândia – MG

2018

*"Toda a nossa ciência,
comparada com a realidade,
é primitiva e infantil - e, no entanto,
é a coisa mais preciosa que temos."
(Albert Einstein)*

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISCIPLINA DE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE MURILO ROCHA LEMES
APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA,
JANEIRO DE 2018.

BANCA EXAMINADORA:

Profª. Dra. Marina Seixas Pereira
Orientadora – FEQUI/UFU

Prof. Dr. Carlos Henrique Ataíde
FEQUI/UFU

Dr. Arley Silva Rossi
PPGEQ/UFU

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que compartilharam de suas experiências e estiveram ao meu lado durante todos esses cinco anos de graduação na Engenharia Química.

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à minha família por ser a base responsável por me manter de pé mesmo em momentos difíceis. Também gostaria de dedicar a feitura deste trabalho aos meus amigos e futuros colegas de profissão Bruno Hideaki, Jéssica Silva, Kindlly Chang e Lucas Camargos, que foram fundamentais para que chegasse até o fim dessa jornada.

Por fim, a alguns professores – não apenas da Faculdade de Engenharia Química – que ficarão marcados na minha memória pelo exemplo e ensinamentos passados. São eles(as): Patrícia Angélica Vieira (primeira orientadora de Iniciação Científica), Edetilde Mendes de Paula (professora de alemão), Érika Óhta Watanabe (tutora do Programa de Educação Tutorial), Sérgio Neiro (orientador de estágio), Rubens Gedraite e Marina Seixas Pereira (orientadora de TCC).

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1.INTRODUÇÃO	12
2.	
GERGELIM.....	14
2.1. HISTÓRIA DA PESQUISA DE OLEOS VEGETAIS NO BRASIL.....	15
3. EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO.....	17
3.1. EXTRAÇÃO POR PRENSAGEM.....	20
3.2. EXTRAÇÃO POR ARRASTE DE VAPOR.....	22
3.3. EXTRAÇÃO PELO MÉTODO DE SOXHLET.....	23
3.4. EXTRAÇÃO EM CONDIÇÕES SUPERCRÍTICAS.....	25
3.5. EXTRAÇÃO POR MICRO-ONDAS.....	27
4. ESTUDOS SOBRE A EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE GERGELIM.....	29
5. ESTUDOS SOBRE A EXTRAÇÃO POR MICRO-ONDAS.....	30
6. CONCLUSÃO.....	32
7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sesamum indicum.....	11
Figura 2: Sementes de gergelim.....	12
Figura 3: Lixiviação contracorrente num sistema de dois estágios.....	15
Figura 4: Diagrama de McCabe-Thiele para lixiviação com fluxos constantes.....	16
Figura 5: Produção de azeite de oliva no Marrocos.....	17
Figura 6: Prensa contínua.....	18
Figura 7: Sistema de destilação por arraste de vapor.....	19
Figura 8: Soxhlet.....	20
Figura 9: Soxhlet ultrassônico.....	22
Figura 10: Esquema representativo de um processo de extração supercrítica.....	23
Figura 11: Diagrama representativo de fases Pressão e Temperatura.....	24
Figura 12: Aparato de um SFME.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação entre a extração com substâncias e a extração por micro-ondas.....23

Tabela 2: Os 18 principais óleos essenciais do mercado mundial.....24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RLO – Oxigênio de radical livre;

SFME – Extração por micro-ondas com solvente livre;

Lp – Lipoproteínas;

GRAS - Solvente considerado como seguro em condições ambientes;

OV – Óleos Vegetais;

IQA – Instituto de Química Agrícola;

IO – Instituto de Óleos;

IF – Instituto de Fermentação;

MW- Micro-ondas;

EUA – Ultrassom;

RESUMO

Este trabalho visou investigar a importância do óleo de gergelim na alimentação humana bem como as tendências de técnicas para sua extração. Inicialmente foram apresentadas as características botânicas da planta, sua história e suas origens, aspectos sobre o cultivo e a composição química dos bioativos presentes no óleo da *Sesamum indicum*. Dentre as técnicas de extração destacadas, encontram-se a prensagem, a extração por arraste de vapor, a extração pelo método de Soxhlet, a extração por fluidos supercríticos e a extração utilizando micro-ondas (SFME). Os resultados foram elencados e com isso foi possível realizar sugestões a respeito da melhor técnica de extração para obter o óleo de gergelim. Ademais, neste trabalho também se encontra uma pequena introdução sobre a história da pesquisa feita a respeito de óleos vegetais no Brasil, remontando os inúmeros artigos científicos publicados por Theodor Peckolt desde sua chegada ao país em 1847. Por fim, como perspectivas futuras sobre o comércio de oleaginosas no mundo, foram identificadas tendências relacionadas à pesquisa do tema, bem como soluções emergentes para as temáticas dos componentes bioativos e da remoção de solventes tóxicos que permanecem no soluto após a extração, o que consequentemente melhora a qualidade e o rendimento do produto final.

Palavras-chave: Óleo de gergelim, técnicas de extração, tendências.

ABSTRACT

This work aimed to investigate the importance of sesame oil in human food as well as the tendencies of techniques for its extraction. Initially, botanical characteristics of the plant, its history and its origins, on the cultivation and the chemical composition of the bioactives present in *Sesamum indicum* oil were presented. Among the outstanding extraction techniques, recovery, drag extraction, Soxhlet extraction, supercritical fluid extraction and extraction, use microwaves (SFME). The results were listed and with this it was possible to make suggestions regarding the best extraction technique to obtain the sesame oil. In addition, in this work a small introduction about a history of the research done on vegetable oils in Brazil, dating back to the numerous scientific articles published by Theodor Peckolt since his arrival in the country in 1847. Finally, as future perspectives on the oilseed trade in the world, tendencies have been identified related to the research of the subject, as well as emergent solutions to the themes of the bioactive components and the removal of toxic solvents that remain in the solute after extraction, which consequently improves the quality and yield of the final product.

Key-words: Sesame oil, extraction techniques, tendencies.

1 – INTRODUÇÃO

Óleos vegetais são misturas complexas de compostos voláteis e não-voláteis e monoterpenos (compostos de fórmula $C_{10}H_{16}$) que possuem altos teores de insaturação e são sensíveis a fatores como luz, calor, hidratação. São estruturas encontradas em flores, ervas, frutas e especiarias, com aplicações na culinária e uso pelas indústrias na produção de alimentos e bebidas, cosméticos e medicamentos fitoterápicos.

A aplicação medicinal desses óleos lhes é conferida graças a existência de nutrientes com propriedades antioxidantes: o estresse oxidativo e os radicais livres (RLO) são causas de injúria e destruição celular, o que pode ocasionar agravamento de algumas patologias. Dessa forma, nas últimas décadas cresceu, motivado pela expansão epidemiológica de enfermidades crônicas não transmissíveis, como *diabetes mellitus* e eventos cardiovasculares, o interesse por alternativas de tratamentos para estas problemáticas (KOURY & DONANGELO, 2003).

Na cultura asiática, a semente de gergelim (*Sesamum indicum* L.- Pedaliaceae) é considerada uma restauradora da vitalidade devido a quantidades significativas de vitaminas, principalmente do complexo B, constituintes minerais e oligoelementos diversos, como cálcio, ferro, fósforo, potássio, magnésio, sódio, zinco e selênio, proteínas de alto valor biológico e lipídios constituídos em sua maioria por ácidos graxos insaturados. O teor de óleo e de proteína pode variar amplamente, de 41% a 63% e de 17% a 32%, respectivamente dependendo da variedade e da origem da semente (ANTONIASSI & SOUZA, 2001). Entre os constituintes menores do óleo de gergelim, encontra-se a sesamina, sesamolina e o sesamol. O sesamol com suas propriedades antioxidantes dá ao óleo uma elevada estabilidade.

O gergelim apresenta ampla adaptabilidade às condições edafoclimáticas de clima tropical quente e tolerância a déficit hídrico (BELTRÃO, 2010; PERIN, 2010). O rendimento médio mundial de grãos de gergelim é de 480 kg ha⁻¹, enquanto nas condições brasileiras a produtividade é de 640 kg ha⁻¹ (QUEIROGA *et al.*, 2008).

Aliadas à facilidade de cultivo, estas características transformam essa cultura em excelente opção para a diversificação agrícola, com grande importância econômica nos mercados nacional e internacional. No Brasil, os principais estados produtores de gergelim, em ordem decrescente, são: Goiás, Mato Grosso, Ceará, Rio Grande do Norte, Bahia, Piauí, e Minas Gerais.

Em se tratando de aspectos globais, o gergelim é uma oleaginosa em plena ascensão (nona oleaginosa mais cultivada no mundo), devido ao aumento significativo de produtos industrializados com gergelim, favorecendo o seu consumo para diversos fins na indústria alimentícia, principalmente no processamento de doces, balas e nos produtos de panificação, além de seu emprego na culinária caseira para produção de iguarias regionais (gersal, cocada, tijolinhos, fubá e pé-de-moleque).

A obtenção de óleos vegetais pode ser realizada por processos de destilação por arraste de vapor, compressão de frutos ou por técnicas de extração. A operação unitária de extração é uma ação integrada no conjunto das operações de transferência de massa, fundamentada no conteúdo subjacente de equilíbrio de fases. Não é, então, uma operação de primeira linha pois é empregada apenas quando a destilação não é uma opção viável (caso de misturas com compostos com volatilidade relativas próximas da unidade, com azeótropos ou com compostos sensíveis à temperatura) (BETTINELLI, BEONE, SPEZIA & BAFFI, 2000).

Hoje existem inúmeras técnicas de extração empregadas na indústria e na ciência, mas as mais comumente utilizadas para derivados vegetais são: extração líquido-líquido, extração em fase sólida, extração com fluido supercrítico, separação com membranas sólidas (diálise e ultrafiltração) ou líquidas e extração por micro-ondas. Dentre os métodos citados, a extração por micro-ondas vem se destacando por ser menos poluidora, bem como, também resultar em menor perda de elementos por volatilização e secagem da solução extratora. Além disso, proporciona menor tempo de digestão, boa recuperação de muitos dos elementos voláteis, reduz o risco de contaminação externa (BETTINELLI, BEONE, SPEZIA & BAFFI, 2000).

Sendo assim, é possível considerar o gergelim como uma tendência ímpar de pesquisa. Por existirem vários caminhos para a obtenção de seu óleo vegetal, – e por estes terem particularidades que podem, como descrito anteriormente, auxiliar diretamente na manutenção e na qualidade de vida das pessoas – o objetivo deste trabalho foi elencar as melhores técnicas para realizar essa extração dentre os modelos mais conhecidos pela ciência e pela indústria e trazer à tona tendências de mercado, cultivo e perspectivas futuras.

2 – GERGELIM

O nome gergelim provém do árabe e significa grão de coentro; a planta pertence ao gênero *Sesamum*, família *Pedaliaceae*; possui 36 espécies, a maioria silvestre, sendo a *Sesamum indicum* a principal fonte do gergelim comercial (NAMIKI, 2007). Acredita-se que o gergelim seja uma das culturas mais antigas do mundo, cultivada na Babilônia e Assíria há 4.000 anos (HWANG, 2005).

O gergelim é cultivado em muitos países, sendo Burma (Myanmar), Índia, Sudão e China, responsáveis por 60% da produção mundial. É cultivado na Ásia tropical por causa de suas sementes, que fornecem até 50% de óleo (ou azeite) confeccionado de sementes cruas e aquele de sementes previamente torradas resultam em dois produtos distintos, sendo o último mais utilizado como condimento em pratos orientais.



Figura 1: *Sesamum indicum*
Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Sesamum_indicum

A *Sesamum indicum* é uma planta anual que cresce de 50 a 100cm de altura, possui folhas que medem de 4 a 14cm ao longo de uma margem inteira, sendo largamente lanceoladas. As flores da *indicum* tem coloração que variam entre azul, roxo, branco e tons de amarelo, com formato tubular e medida de 3 a 5cm de comprimento e acabamento de pétalas quadrangulares em sua boca.

As sementes de gergelim são pequenas. Seu tamanho, cor, forma variam com milhares de variedades que hoje são conhecidas. Tipicamente, as sementes têm de 3 a 4mm de

comprimento, 2mm de largura e 1mm de espessura. As sementes são ovais, ligeiramente achatadas. O peso das sementes varia entre 20 e 40 mg. O casaco de semente pode ser liso ou com nervuras (BELTRÃO & VIEIRA, 2001).



Figura 2: Sementes de gergelim
Fonte: Ministério da Agricultura, EMBRAPA, 2005.

2.1 – HISTÓRIA DA PESQUISA DE ÓLEOS VEGETAIS NO BRASIL

A história da pesquisa de óleos vegetais (OV) no Brasil remonta aos trabalhos de Theodor Peckolt, farmacêutico originário da Silésia alemã (atual Polônia), que chegou ao Brasil em 1847. Estudou e publicou vasta literatura sobre a flora brasileira (cerca de 170 trabalhos), a maioria em periódicos alemães, incluindo dados sobre rendimento e composição de óleos essenciais (QUEIROGA & BELTRÃO, 2001).

Em 1918, o médico baiano Mario Saraiva transformou o Laboratório de Fiscalização de Defesa da Manteiga, que controlava as importações deste produto, no Instituto de Química, vinculado ao Ministério da Agricultura, Indústria e Comércio, expandindo suas atribuições. Diversificando suas áreas de atuação, a instituição passou à designação de Instituto de Química Agrícola (IQA) em 1934, sendo incorporado quatro anos depois ao Centro Nacional de Ensino e Pesquisas Agronômicas (CNPEA). Posteriormente, já em 1943, o IQA foi anexado ao Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas (SNPA), do qual faziam parte também o Instituto de Óleos

(IO), o Instituto de Fermentação (IF) e os Institutos Agronômicos do Norte, Nordeste, Sul e Oeste.

Embora trabalhos isolados sobre o óleo de pau-rosa e sobre “Essencias vegetaes, naturaes e artificiaes do Brasil” tenham sido publicados por profissionais ligados a empresas produtoras na Revista de Química Industrial, o estudo sistemático das fontes de OV no país foi iniciado no IO, particularmente para o óleo de sassafrás, e no IQA, para o óleo de pau-rosa (QUEIROGA & BELTRÃO, 2001).

Os estudos de fitoquímica foram expandidos e diversificados no IQA na década de 50 pelo grupo de pesquisa que reunia os professores Walter Baptist Mors, Otto Richard Gottlieb, Benjamin Gilbert e Mauro Taveira Magalhães, sendo o último responsável pela implementação da área de OV no IQA. Além da equipe de pesquisadores, o IQA possuía um moderníssimo espectrofotômetro de infravermelho de feixe duplo e uma excepcional biblioteca, que além de livros mantinha assinaturas dos principais periódicos da área (SILVA-SANTOS, ANTUNES & BIZZO, 2002).

Na mesma época, no Instituto Agronômico de Campinas (IAC), foram conduzidos trabalhos de pesquisa com plantas aromáticas, culminando com o lançamento do cultivar de menta IAC-701, tendo levado o Brasil à liderança no fornecimento mundial de mentol no final da década seguinte.

O IQA foi extinto em 1962, numa re-estruturação do Ministério da Agricultura. Os professores W. Mors e B. Gilbert se transferiram para a Universidade Federal do Rio de Janeiro, fundando o Centro de Pesquisas de Produtos Naturais (hoje Núcleo de Pesquisas de Produtos Naturais) em 1963. O professor O. Gottlieb esteve na Universidade de Brasília, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Universidade de São Paulo e Fundação Oswaldo Cruz, entre outras instituições. Nessa caminhada propagou o estudo da fitoquímica, através de suas pesquisas e da formação de recursos humanos, tendo sido o orientador de diversos líderes de grupos em produtos naturais espalhados pelo país. (SILVA-SANTOS, ANTUNES & BIZZO, 2002).

Do que restou do IQA após sua extinção criou-se a Divisão de Tecnologia Agrícola e Alimentar, subordinada ao Departamento Nacional de Pesquisas e Experimentação Agropecuárias (DNPEA), ao qual também foram subordinados o Instituto de Óleos e o Instituto

de Fermentação, embora estes tenham tido sua estrutura administrativa preservada. Depois de diversas mudanças de nomes (Divisão de Tecnologia Alimentar, Centro de Tecnologia Alimentar), em 1971, com a extinção do IO e do IF, a instituição recebeu a designação de Centro de Tecnologia Agrícola e Alimentar (CTAA), e seria incorporada, dois anos depois, à recém-fundada Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), mudando de nome mais uma vez para Centro Nacional de Tecnologia Agroindustrial e de Alimentos, ou Embrapa Agroindústria de Alimentos (HOVELL & REZENDE, 2009).

De 1918 a 1984, o IQA e parte de sua herança permaneceram nas instalações originais ao lado do Jardim Botânico do Rio de Janeiro tendo sido transferidos, já com o nome de Embrapa Agroindústria de Alimentos, para o remoto bairro de Guaratiba, também no Rio de Janeiro, onde ainda podem ser encontrados alguns equipamentos, peças de porcelana e, a relíquia mais importante, a biblioteca do IQA. Também resta o livro de visitas, no qual uma rápida folheada permite vislumbrar as assinaturas de Carl Djerassi, Ernest Wenkert, César Lattes e Marie Curie. Embora extinto em 1962, as sementes geradas no IQA foram lançadas em terra fértil, germinaram, cresceram, multiplicaram-se e hoje estão nas principais Universidades e Centros de Pesquisa do país.

Dos muitos pesquisadores ativos hoje na área de óleos essenciais, é imperioso mencionar dois, por suas destacadas contribuições: os professores José Guilherme Soares Maia e Afrânio Aragão Craveiro. Além de suas atuações na formação de recursos humanos – o professor Maia no INPA, Museu Paraense Emilio Goeldi e na Universidade Federal do Pará; o professor Craveiro na Universidade Federal do Ceará – sua obra científica representa valiosa contribuição ao conhecimento e aproveitamento da flora nativa da Amazônia e do Nordeste, respectivamente. Em tempo, os dois foram alunos de O. Gottlieb. (HOVELL & REZENDE, 2009).

3 – EXTRAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO

Lixiviação, ou extração sólido-líquido, é um processo em que um soluto solúvel é removido de uma matriz sólida previamente tratada usando um solvente para dissolver o soluto. Os exemplos mais familiares são tais como: fazer café a partir de café moído e chá de folhas. A mistura complexa de produtos químicos que dão ao café e ao chá seu odor, sabor, e os efeitos fisiológicos são lixiviados dos sólidos pela água quente. Uma máquina de café expresso apenas faz lixiviação mais rápida em um menor volume de água.

Há muitas outras aplicações comerciais da lixiviação, como lixiviação de soja para recuperar o óleo de soja (fonte de biodiesel), lixiviando minerais para recuperar uma variedade de minerais e lixiviando folhas de plantas para extrair uma variedade de farmacos (WANKAT, 2006).

O equipamento e o funcionamento dos sistemas da operação de lavagem e lixiviação são muitas vezes muito semelhantes. Em ambos os casos, um sólido e um líquido devem ser contatados, permitido o alcance do equilíbrio, e depois separados um do outro. Assim, o tipo de equipamento do misturador-settler mostrado na Figura 3 é comumente empregado por oferecer fácil manuseio.

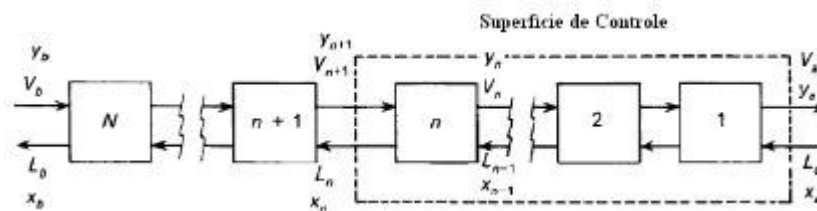


Figura 3: Lixiviação contracorrente num sistema de dois estágios
Fonte: WANKAT, P. C, 2006.

A condição de equilíbrio para este sistema é que a concentração de soluto é a mesma tanto no fluxo sobrenadante(extrato) quanto no produto de fundo(refinado). Esta afirmação, não diz nada sobre o sólido, que muda relativamente em ambos os fluxos, mas não afeta a concentração(hipótese de solubilidade infinita). Portanto, a equação de equilíbrio se dá na forma:

$$y^* = m.x \quad \text{Eq. (1)}$$

onde y = fração de soluto no extrato, m =constante de equilíbrio e x = fração de soluto no refinado.

Efetuando o balanço de massa em toda a operação para fluxos em contracorrente, obtém-se a equação de estado estacionário característica:

$$V_{j+1}y_{j+1} + L_n x_n = V_{n+1}y_{n+1} + L_j x_j \quad \text{Eq. (2)}$$

onde V_j e L_j são as vazões totais mássica nos fluxos de extrato e refinado, respectivamente.

Assumindo que as propriedades físicas do fluido e do sólidos são mantidas constantes e também que a porosidade do meio não se altera ao longo do percurso, isto é, $V = V_j$ e $L = L_j$, se torna possível representar a lixiviação graficamente pelo método de McCabe-Thiele:

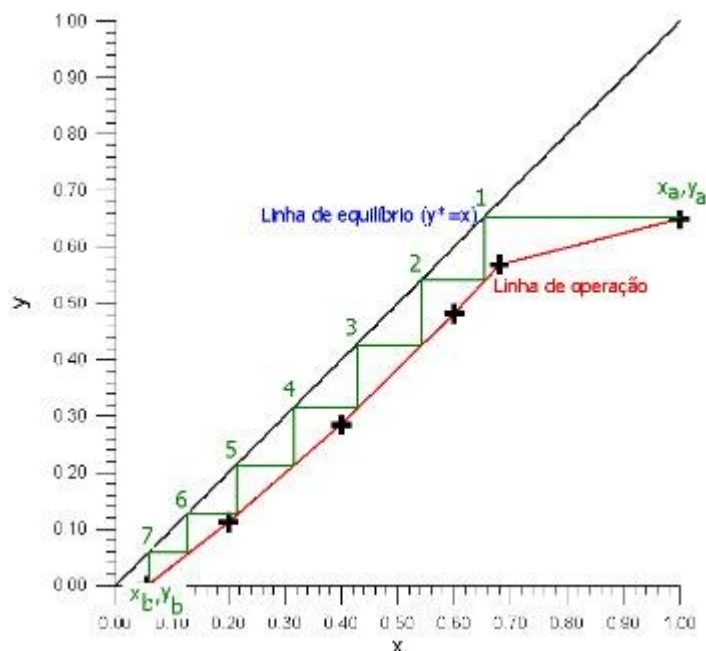


Figura 4: Diagrama de McCabe-Thiele para lixiviação com fluxos constantes
Fonte: WANKAT, P. C, 2006.

O número de estágios é definido pelo gráfico para as especificações de x_a e x_n . Ainda, analiticamente, verifica-se a possibilidade da aplicação da correlação de Kremser para o cálculo do número de estágios (N) da lixiviação, uma vez que a linha de equilíbrio é linear (WANKAT, 2006).

$$N = \frac{\ln\left(\frac{x_a - x_a^*}{x_n - x_n^*}\right)}{\ln\left(\frac{V}{L}\right)} \quad \text{Eq. (3)}$$

3.1 – EXTRAÇÃO POR PRENSAGEM

O processo de prensagem é um dos processos mais antigos de extração de óleos e gorduras. Apesar de todo o avanço tecnológico atual, ainda é possível observar processos rudimentares de extração, como o mostrado na Figura 5, usado para a produção de azeite de

oliva em uma localidade rural do Marrocos. Nesse processo, as azeitonas são colocadas em uma grande tina para serem esmagadas por uma roda de pedra acionada por tração animal e, assim, liberar o óleo contido nesses frutos. Então, a mistura é filtrada em cestos feitos com palha de tamareira (RAMALHO & SUAREZ, 2012).

Deve-se destacar que essa tecnologia há milênios é usada pelo ser humano para a produção de óleos e gorduras. Por exemplo, relatos apontam que na antiguidade a prensagem com moinhos de pedra movidos por tração animal era usada em diversas cidades do norte da África. Durante a dominação da região pelo Império Romano, estas cidades produziam grandes quantidades de óleo de oliva que eram exportadas para a parte europeia do império.



Figura 5: Produção de azeite de oliva no Marrocos, 2011.

Fonte: A química dos óleos e gorduras e seus processos de extração e refino, 2011.

Obviamente, processos industriais modernos para extração de óleos ou gorduras de grãos e frutas por prensagem mecânica e posterior filtragem do óleo utilizam equipamentos mais sofisticados e com maior eficiência que os descritos anteriormente. De fato, o processo de extração de óleos ou gorduras vegetais atualmente consiste em uma extração mecânica nas chamadas prensas contínuas. Nesses equipamentos, os grãos ou frutos entram em parafusos tipo roscas sem fim que comprimem e movimentam o material para frente. Em sua saída, existe um cone que pode ser regulado de forma a aumentar ou diminuir a abertura para saída do material, o que determina a pressão no interior da prensa. No final deste processo são obtidos dois materiais: a chamada torta, que é a parte sólida, e o óleo ou gordura brutos, que podem conter partículas sólidas resultantes da prensagem. Este óleo ou gordura bruto passa, então, por um processo de filtragem num equipamento chamado filtro-prensa. Após este processo, a torta é

encaminhada para o processo de extração com solvente, enquanto o óleo ou gordura extraído e filtrado segue para as etapas de purificação (RAMALHO & SUAREZ, 2012).



Figura 6: Prensa contínua.

Fonte: A química dos óleos e gorduras e seus processos de extração e refino, 2011

A denominação de óleos virgens ou extra virgens (termos comumente observados principalmente em embalagens de óleos nas prateleiras dos supermercados) é dada a casos especiais, como o óleo de olivas, que, após o processo de prensagem mecânica, necessitam apenas de filtragem para remoção de partículas sólidas. Ou seja, estes óleos podem ser consumidos diretamente após a prensagem, sem a necessidade de etapas posteriores de purificação. A diferença entre os dois se refere à temperatura na qual a prensagem é realizada.

Um óleo é classificado como extra virgem quando resultante de uma primeira prensagem a frio (temperatura ambiente), e o óleo virgem é o resultante da mesma torta, mas de prensagem posterior realizada a quente (aproximadamente 70 °C). O extra virgem possui uma qualidade superior tendo em vista que quando o óleo é submetido a uma temperatura mais alta ocorrem reações de hidrólise e degradação térmica dos triacilglicerídeos, aumentando a acidez do produto (maior teor de ácidos graxos livres).

3.2 – DESTILAÇÃO POR ARRASTE DE VAPOR

O método de separação de misturas, chamado de destilação por arraste de vapor, é a forma como são obtidos os chamados óleos essenciais (essências). O método é geralmente usado em folhas e ervas, mas nem sempre é indicado para extrair-se o óleo vegetal de grãos,

raízes, madeiras e algumas flores, porque devido às altas pressões e temperaturas empregadas no processo as frágeis moléculas aromáticas podem perder seus princípios ativos. A qualidade do produto final é satisfatória para óleos essenciais de folhas e ervas que não sofrem modificações em altas temperaturas e pressões (HARBOME, 1993; SOLOMONS, 1996).

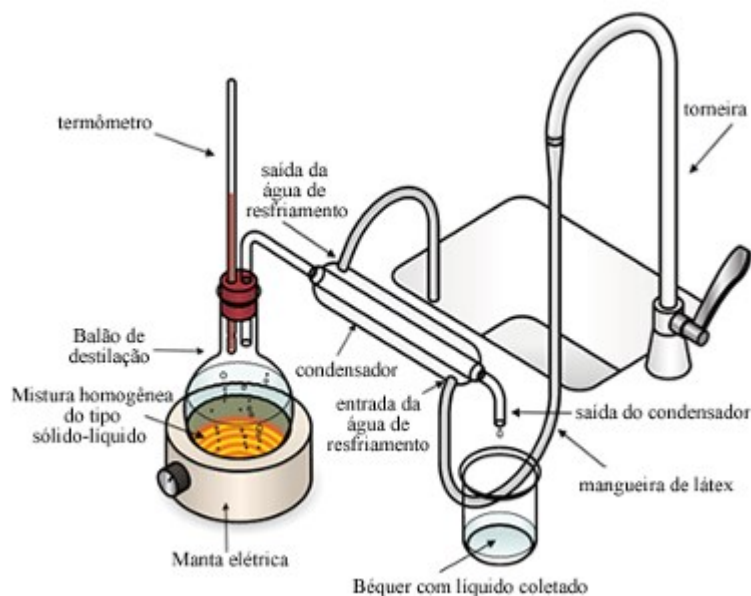


Figura 7: Sistema de destilação por arraste de vapor
Fonte: Ministério da Agricultura, EMBRAPA, 1991.

Ainda em termos de energia do sistema, o método é empregado para destilar substâncias que se decompõem nas proximidades de seus pontos de ebulição e que são insolúveis em água ou nos seus vapores de arraste. Esta operação baseia-se no fato de que, numa mistura de líquidos imiscíveis, o ponto de ebulição será a temperatura na qual a soma das pressões parciais dos vapores é igual à da atmosfera, o que constitui uma decorrência da lei das pressões parciais de Dalton. Se, em geral, o arraste se faz com vapor d'água, a destilação, à pressão atmosférica, resultará na separação do componente de ponto de ebulição mais alto, a uma temperatura inferior a 100°C. Por outro lado, quando uma mistura de dois líquidos imiscíveis é destilada, o ponto de ebulição da mistura permanece constante até que um dos componentes tenha sido separado, já que a pressão total do vapor independe das quantidades relativas dos componentes. A temperatura, a partir daí, eleva-se rapidamente, até atingir o ponto de ebulição do líquido remanescente. O vapor que se separa de tal mistura contém os componentes na mesma proporção, em volume, que suas pressões de vapor relativas (HARBOME, 1993; SOLOMONS, 1996).

3.3 – EXTRAÇÃO PELO MÉTODO DE SOXHLET

A extração de óleo com solvente é um processo de transferência de constituintes solúveis (o óleo) de um material inerte (a matriz graxa) para um solvente com o qual a matriz se acha em contato. Os processos que ocorrem são meramente físicos, pois o óleo transferido para o solvente é recuperado sem nenhuma reação química.

Soxhlet é nome que se dá ao aparelho de laboratório inventado em 1879 por Franz von Soxhlet, um químico agrícola de origens germânicas. No processo de liberação extrativa, levam-se em conta três etapas principais: a penetração do solvente no tecido; a formação de uma miscela intracelular e, a difusão do extrato na miscela externa. Consiste no tratamento sucessivo e intermitente da amostra imersa em um solvente puro (éter de petróleo, éter dietílico ou n-hexano), graças à sifonagem e subsequente condensação do solvente aquecido dentro do balão que está na base do aparelho. (GARCÍA & AYUSO *et. al.*, 1999).

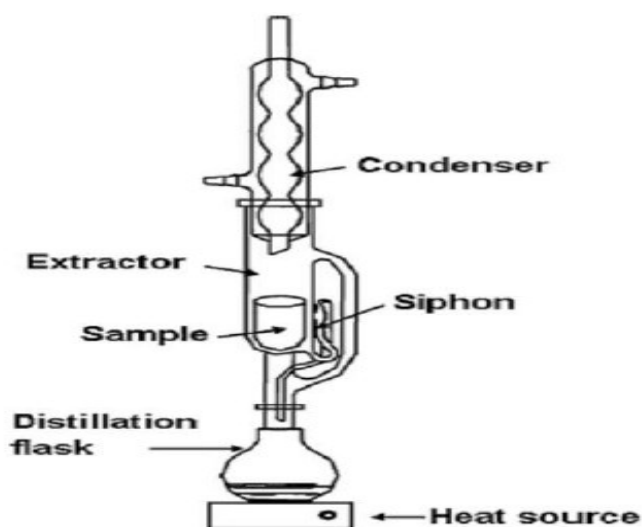


Figura 8: Soxhlet

Fonte: JENSEN, W.B. The Origin of the Soxhlet Extractor, 2007.

As mais notáveis vantagens que o método de Soxhlet apresenta são que a amostra está sempre em contato com o solvente, havendo sua constante renovação; a temperatura do sistema mantém-se relativamente alta, visto que o calor aplicado para o processo de evaporação é constante; é uma metodologia muito simples que não requer treinamento especializado e que possibilita a extração de uma quantidade maior de óleo em relação a outros métodos, sem a

necessidade de filtração da miscela após o término da extração, pois a amostra esteve envolta no cartucho durante todo o procedimento.

O uso de um único solvente não é recomendável para a extração dos lipídios de tecidos vegetais. A mistura de solventes ideal para extração da matéria graxa de tecidos deve ser suficientemente polar para removê-la das associações com as membranas celulares ou com lipoproteínas, sem que ocorra reação química.

A extração de Soxhlet tradicional tem grandes desvantagens devido à sua duração do tempo de extração e a grande quantidade de solvente usado. Além disso, no extrator de Soxhlet convencional sem agitação é possível realizar uma ação integrada para acelerar o processo de extração. Muitas vezes, os compostos são decompostos já que o material é exposto durante a duração do tempo de extração para o calor do ponto de ebulição do solvente.

Uma alternativa para contornar toda a problemática descrita acima no método de extração de Soxhlet é fazer a acoplagem de um modelo ultrassônico de interação, que aumenta a transferência de massa entre a amostra e o solvente. Assim, a utilização de solventes pode ser reduzida ou evitada completamente. A duração de extração é drasticamente reduzida porque os extratos não são expostos ao longo período de aquecimento. Isto significa que a decomposição do extrato também pode ser evitada (GARCÍA & AYUSO *et. al.*, 1999).

O equipamento ultrassônico pode ser facilmente integrado em uma configuração de extração de Soxhlet – introduzindo o chifre ultrassônico para a câmara de Soxhlet ou indiretamente através da parede do vaso. A extração de Soxhlet melhorada resulta em um maior rendimento no prazo de menor tempo de extração sob mais suaves condições de extração.

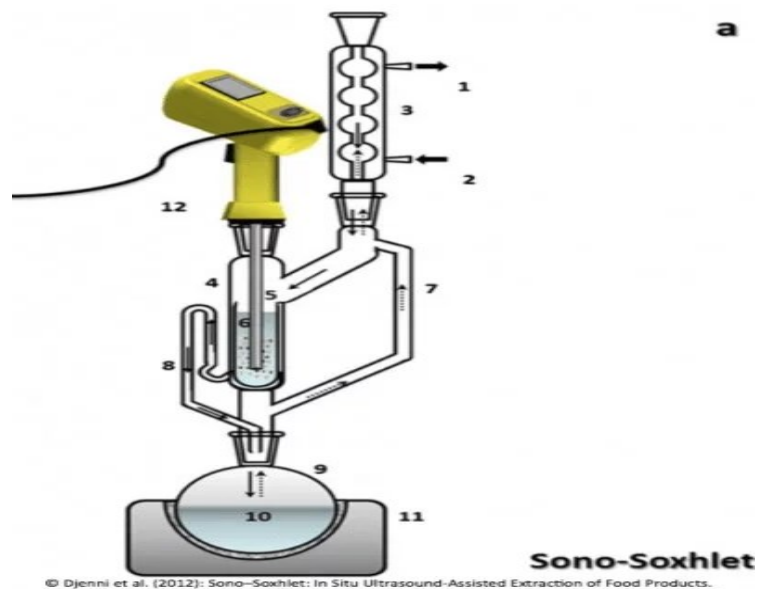


Figura 9: Soxhlet ultrassônico

Fonte: <https://www.hielscher.com/pt/ultrasonic-soxhlet-extraction.htm>

3.4 – EXTRAÇÃO EM CONDIÇÕES SUPERCRÍTICAS

Uma típica unidade de extração supercrítica é esquematicamente apresentada na Figura 10, contendo os seguintes componentes básicos: um extrator, uma bomba de alta pressão, uma válvula de expansão e um vaso separador.

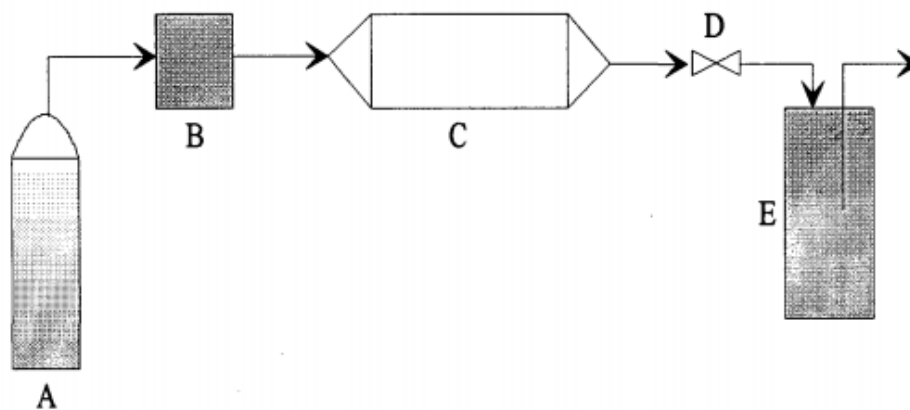


Figura 10: Esquema representativo de um processo de extração supercrítica, composto de (A) cilindro sifonado do solvente, (B) bomba de alta pressão, (C) extrator, (D) válvula de expansão e (E) tubo coletor.

Fonte: Extração supercrítica de óleo essencial de *Rosmarinus Officinalis*, 1996.

O processo, simplificado, consiste em bombear o solvente ao extrator numa pressão estabelecida, permitindo que o mesmo entre em contato com a matriz porosa e ocorra o processo de solubilização. Retira-se a mistura (soluto e solvente) do extrator, que passa por uma válvula de expansão sendo coletada num vaso separador, normalmente à temperatura ambiente, onde o soluto se deposita e o solvente separa-se naturalmente, podendo o último ser reaproveitado. Este processo é interrompido quando não se nota mais alteração da massa de soluto no vaso separador (ARAÚJO, 2011).

Ressalta-se que fluidos supercríticos são bastante atrativos para o processamento de produtos ricos em compostos bioativos, devido a características como facilidade de separação do soluto do solvente, possibilidade de direcionar a separação alterando temperatura e/ou pressão e cosolvente(s), com isso, possibilitando o maior poder de solvência do fluido usado na extração, podendo deste modo melhorar o rendimento da extração e obter extratos com elevado grau de pureza e com maior teor de substâncias que poderiam ter instabilidade térmica nas técnicas de extração convencionais (ARAÚJO, 2011).

No estado supercrítico desaparece a distinção entre os estados líquido e gasoso, diante disto, o fluido não pode mais ser liquefeito pelo aumento de pressão e nem pode tornar-se gasoso, pelo aumento de temperatura. Assim, propriedades tais como densidade, difusividade, constante dielétrica e viscosidade podem ser melhores controladas pelas alterações de pressão e/ou temperatura. O processo de extração com fluido supercrítico propicia que o(s) solvente(s) tenha alto poder de solvatação e coeficiente de difusão, baixa tensão superficial e viscosidade (MUKHOPADHYAY, 2000; CONTADO et al., 2010).

Muitas vezes, o aumento de temperatura aumenta o rendimento do processo de extração. Além disso, é comum para aquecer os extratos para eliminar o solvente de extração, porém a baixa temperatura de processamento e, se possível, em ambientes livres de oxigênio geralmente leva a menor deterioração dos componentes bioativos termolábeis e facilmente oxidáveis dos extratos. O CO₂ não é oxidante ou explosivo e tem temperatura crítica de 31,1 °C, o que o torna conveniente para a extração de compostos bioativos (REGLERO, SE-ORANS, IBÁ-EZ, 2005).

No âmbito da produção de alimentos, o CO_2 é muito bem aceito. É um solvente geralmente considerado como seguro (GRAS). Os extratos sem resíduos de solventes podem ser facilmente obtidos com CO_2 supercrítico e após a extração, não é necessário aplicar calor para vaporizar o solvente, porque ele é eliminado espontaneamente quando a pressão diminui. A principal desvantagem de CO_2 supercrítico é a sua capacidade limitada para extrair compostos polares. O etanol é um cossolvente que pode propiciar a extração destes compostos. Uma vantagem é que o etanol também é GRAS (REGLERO, SE-ORANS, IBÁ-EZ, 2005).



Figura 11: Diagrama representativo de fases Pressão e Temperatura

Fonte: IUPAC Gold Book.

3.5 – EXTRAÇÃO POR MICRO-ONDAS

A maneira tradicional de isolar os compostos voláteis na forma de óleos de matéria-prima de origem vegetal é realizada somente por meios físicos. Uma técnica comum de extração é a destilação por arraste a vapor, onde é realizado o isolamento de substâncias que se decompõem nas proximidades de seus pontos de ebulição e que são insolúveis em água ou nos seus vapores de arraste. Outra técnica baseada na extração de óleos de frutos cítricos é a prensagem a frio, onde a prensa, através do esmagamento, faz com que o suco e o óleo sejam expelidos simultaneamente dos frutos.

Em ambos os processos citados o óleo é separado fisicamente a partir da fase de água. As tecnologias relacionadas apresentam consideráveis gargalos tecnológicos e científicos: uma

nova planta industrial pode absorver mais de 50% dos investimentos e mais de 70% da energia total utilizada no processo. Nestes casos podem ocorrer: perdas de compostos voláteis, baixa eficiência de extração, degradação ou insaturação de ésteres através de efeitos térmicos ou hidrolíticos e geração de resíduos tóxicos provenientes solventes comumente empregados neste tipo de extração.

Buscando fixar as brechas deixadas pelas técnicas anteriores em rendimento e seletividade, o primeiro relato do uso de energia de micro-ondas na química orgânica é publicado em 1986, onde foi utilizado um micro-ondas doméstico para reação de síntese e comparado com o método convencional de aquecimento direto (GEDYE et al., 1986).

O método de extração por micro-ondas sem solvente, do inglês Solvent-free microwave extraction (SFME) é um método relativamente recente, patenteado no ano de 2004. O sistema consiste em uma combinação do aquecimento por micro-ondas e destilação a pressão atmosférica. O sistema foi construído para aplicações em escalas laboratoriais a partir de diferentes tipos de plantas aromáticas. Baseado em um princípio relativamente simples o método implica em colocar a amostra fresca dentro de um reator de micro-ondas sem a adição de solvente ou água. O aquecimento da água existente nas células vegetais levará a ruptura da célula e consequente evaporação do óleo nela contido. O óleo entrará em contato com o condensador, retornará ao estado líquido ficando sob a água já condensada. A água será refluxada novamente para o material vegetal auxiliando o contínuo aquecimento da amostra aumentando a taxa de extração. A montagem do sistema extrator está relacionada na Figura 12 abaixo:

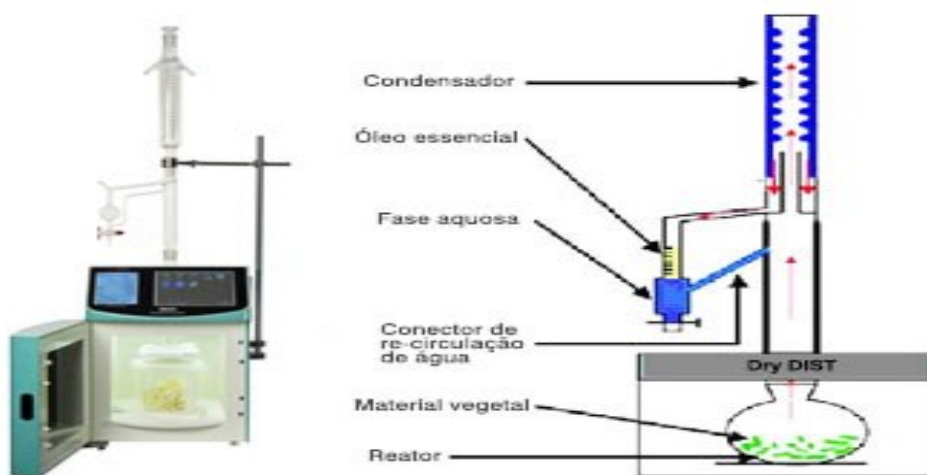


Figura 12: Aparato de um SFME.

Fonte: <http://anacomci.com.br/nota-de-aplicacao-extracao-de-oleos-essenciais-sem-solvente-por-micro-ondas>.

A comparação da extração por micro-ondas com outros métodos de extração é apresentada de forma intensa ao longo dos anos. A Tabela 1 apresenta a comparação dos métodos de extração em diversos trabalhos com a irradiação por micro-ondas.

Referência	Método de extração	Método Micro-ondas	Solvente de extração	Matriz	Avaliação do resultado
Llompert et al. (1997)	Fluido supercrítico (20min) e sonicação (3 min).	10 min	Hexano/acetona Metanol Diclorometano	Componentes fenólicos em diferentes matrizes de solos	Maior eficiência na recuperação em micro-ondas (5 – 82 %).
García-Ayuso et al. (1999a)	Soxhlet (10 horas).	Soxhlet acoplado com micro-ondas (50 min)	Hexano	Lípidios em 3 tipos de leite.	Extração de lípidios: Soxhlet (35, 42 e 62 %). Micro-ondas (35, 42 e 63%).
García-Ayuso; Luque de Castro, (1999b).	Soxhlet (8 horas).	Soxhlet acoplado com micro-ondas (20 – 25 min)	Hexano	Óleo de oliva	Óleo extraído por: Soxhlet (50 – 52%); Micro-ondas (42 – 50%)
Barriada-Pereira et al. (2003)	Soxhlet (20 horas)	1 – 2 min	Hexano/acetona	Pesticidas organoclorados em plantas	Recuperação próxima a extração Soxhlet (75 – 132%), Micro-ondas (81 – 108%).
Upadhyay; Ramalakshmi; Rao, (2012)	Método de extração em aquecimento por refluxo (5min).	5 min	Água	Ácidos clorogênico, cafeína em grãos de café verde desengordurado.	Convencional: cafeína (3,05%) e ácido clorogênico (3,95%). Micro-ondas: cafeína (7,25%) e ácido clorogênico (8,4%).

Tabela 1: Comparação entre a extração com substâncias e a extração por micro-ondas.

Segundo Kappe, Dallinger e Murphree (2009), a maioria dos trabalhos conhecidos em micro-ondas resultou na redução do tempo de reação, aumento de rendimento e aumento da pureza do produto pela redução de reações indesejáveis comparado com o método de aquecimento convencional, confirmando as primeiras hipóteses que fomentaram a prática dessa modalidade de extração.

4 - ESTUDOS SOBRE A EXTRAÇÃO DO ÓLEO DE GERGELIM

Os estudos mais recentes com temas inerentes ao óleo de gergelim apontam grande preocupação em relação à preservação e otimização da quantidade de componentes bioativos presentes nele. Tais componentes podem ser degradados facilmente em condições muito elevadas de temperatura, pressão e/ou tempo de exposição ao meio extrator. Ainda, existe a possibilidade, em algumas técnicas, de resquícios tóxicos de solvente serem deixados para trás junto ao soluto.

A extração por fluidos supercríticos elimina essas desvantagens deixadas por uma destilação convencional. Ao alterar a pressão e/ou a temperatura, a baixa solubilidade do óleo em fluidos supercríticos pode ser melhorada e as taxas de extração podem ser aumentadas. Além disso, uma análise do custo operacional envolvendo as técnicas supercríticas e as condicionais indicou que a primeira, quando o CO₂ é utilizado como solvente extrator, é muito mais barata. (ÖZKAL *et. al.*, 2005).

Uma outra questão levantada trata-se de um caminho que ainda não foi completamente explorado: a extração do material sólido (por exemplo, grãos que foram desengordurados e moídos) com água a temperaturas acima do ponto de ebulição e pressão suficientemente alta para manter o seu estado como líquido. Sob estas condições, a viscosidade e a tensão superficial da água são reduzidas e, ao mesmo tempo, as características de difusividade são aumentadas, favorecendo assim o processo de extração. É preciso se ter em mente que a extração de materiais sólidos naturais é um processo de transferência de massa envolvendo o transporte do solvente para a matriz (transporte interno), dissolução dos solutos (solubilidade) e liberação de solutos de a matriz sólida para a fase de solvente global (transporte externo).

Observa-se também que em condições de alta pressão e temperatura de extração, a água comporta-se como determinados solventes orgânicos com a capacidade de dissolver uma ampla gama de compostos de média e baixa polaridade (TEO, TAN, YONG, HEW, & ONG, 2010). A constante dielétrica da água é função de temperatura e afeta a solubilidade dos solutos na água; portanto, mudanças na temperatura influenciam a seletividade de extração. Finalmente, a constante dielétrica da água - e sua polaridade – pode ser modificada por adição de co-solventes orgânicos, como o etanol. A técnica que utiliza todos estes recursos descritos anteriormente é conhecida como extração usando água em condições sub-críticas.

Em resumo, vários fatores, incluindo temperatura, pressão, composição do sistema solvente e relação solvente-sólido, podem ser modificados para melhorar a capacidade de extração de água pura ou água misturado com solventes orgânicos.

5 - ESTUDOS SOBRE A EXTRAÇÃO POR MICRO-ONDAS

O processo de extração é um dos principais estágios da produção de oleaginosas. Os processos convencionais de extração de óleo são expressões mecânicas e / ou extração por solvente (por exemplo, usando n-hexano). Após a extração, geralmente é necessário um

processo de refinação para obter óleos comestíveis para consumo humano. Esse processo é dividido em uma série de etapas, que geralmente são: i) desgomagem, ii) neutralização, iii) lavagem, iv) branqueamento, v) invernização e vi) desodorização. No momento, há uma demanda crescente das indústrias produtoras para encontrar o processo mais rápido e eficiente, que não é apenas econômico, mas também favorável ao meio ambiente e nutritivo. Esse processo é necessário para reduzir o consumo de solventes tóxicos, aumentar os rendimentos de extração de óleo e melhorar a qualidade nutricional dos óleos gerados.

Os benefícios da utilização das micro-ondas como forma de aquecimento já são amplamente conhecidos nos dias atuais. Em especial, muita atenção tem sido dada ao emprego das micro-ondas na extração de metabólitos secundários que geralmente demandam horas ou dias para serem completadas de acordo com os métodos convencionais.

Com o emprego da técnica de micro-ondas em sistemas de extração, compostos orgânicos podem ser extraídos rapidamente, de forma seletiva e com teores de recuperação iguais ou superiores aos métodos convencionais tais como destilação por arraste a vapor e extração por solventes. Adicionalmente à rapidez e seletividade, este tipo de extração oferece vantagens como possibilidade de serem livres ou com um consumo mínimo de solventes, reduzida formação de subprodutos e menor gasto energético (CHEMAT *et. al*, 2011).

A interação das micro-ondas com a água presente nas células dos tecidos vegetais resulta um súbito aquecimento, atingindo o ponto de ebulição resultando na expansão das células e ruptura das paredes celulares ocasionando a migração seletiva do óleo vegetal existente para o exterior. O aquecimento focalizado causa migração seletiva dos compostos de interesse a partir da matéria-prima para o ambiente externo.

Como alternativa para aprimorar ainda mais a técnica de extração por SFME, nas últimas duas décadas, alguns grupos de pesquisa avaliaram o potencial de se acoplar novas tecnologias alternativas não convencionais, que são aplicados sozinhas ou combinadas com outros convencionais processos, para melhorar a recuperação do óleo. Por exemplo, a viabilidade de usar ultrassons (EUA) e micro-ondas (MW) para melhorar a recuperação do óleo, valor nutricional. As propriedades foram amplamente investigadas e provaram ser eficientes antes ou durante o processo de extração de óleo (CHEMAT, ZILL-E-HUMA, & KHAN, 2011).

6 – CONCLUSÃO

Analisando o que foi descrito anteriormente sobre o gergelim, percebe-se que ainda existem muitos caminhos a serem estudados sobre as técnicas de extração de seu óleo. No entanto, existe motivação por parte de produtores e do mercado consumidor já que o gergelim é fácil de ser cultivado (apresenta alta capacidade de se adaptar a diferentes climas, além de fácil manuseio), é acessível à população e o óleo fornece inúmeros benefícios para a saúde humana.

A aplicabilidade medicinal da *Sesamum indicum* tem tomado uma atenção maior e particular por parte de pesquisadores, visto que houve um aumento no número de indivíduos portadores de doenças patológicas não transmissíveis nas últimas décadas, como a *diabetes mellitus* e eventos cardiovasculares. O uso do óleo de gergelim é tido como uma fonte alternativa ao tratamento que não expõe o paciente a efeitos colaterais tão severos de drogas sintéticas que atualmente são fornecidas.

Referente às técnicas de extração de óleos vegetais, existe um passado recente de pesquisas e o setor carece de muito investimento no Brasil e também no mundo. Atualmente técnicas que fornecem pouco rendimento ainda são utilizadas pela indústria para sua obtenção e, de fato, poucos dados estatísticos estão disponíveis na literatura sobre o assunto.

Por fim, nos últimos anos algumas novas tecnologias que pretendem solucionar ou ajudar a aumentar o rendimento da extração do óleo de *Sesamum indicum* vem se destacando. Como exemplos, o emprego de solventes em condições sub-críticas e o aquecimento feito por micro-ondas (e suas variações como um sistema acoplado).

7 - SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

O público tem manifestado crescente interesse sobre os processos de obtenção das matérias-primas e o processamento dos produtos que consome. Apelos de políticas de preservação ambiental são instrumentos de marketing muito eficientes, particularmente no mercado ocidental. Esta é uma ótima oportunidade para o desenvolvimento de processos sustentáveis de exploração da biodiversidade. O uso de fontes renováveis para a produção de OV toma lugar de destaque.

Este documento descreveu os usos de algumas das tecnologias emergentes para aumentar os rendimentos de extração do óleo de gergelim e a qualidade das culturas oleaginosas. Contudo, ainda existem muitos fatores a serem analisados quanto a questão de otimização do processo em si.

Toda a discussão levantada nesse trabalho foi estritamente qualitativa, deixando caminhos abertos a serem explorados no campo da experimentação. É sabido que variáveis operacionais, como tempo de extração, temperatura, pressão e etc afetam diretamente o conteúdo do produto final e, pensando nisso, um ponto de ótimo deve ser buscado sempre que possível. Finalmente, ao final dos ensaios, os aspectos econômicos de implementação e operação de todo o procedimento também devem ser mensurados, pois somente assim poder-se-á saber a sua viabilidade em escala industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOISSA ÓLEOS VEGETAIS, 2006. *Gergelim*. Disponível em: <http://www.aboissa.com.br/gergelim/index.htm>.

ANDRADE, M. A. et al. *Óleos essenciais de Cymbopogon nardus, Cinnamomum zeylanicum e Zingiber officinale: composição, atividades antioxidante e antibacteriana*. Revista Ciência Agronômica, v. 43, n. 2, p. 399-408, 2013.

ANTONIASSI, R. & SOUZA, D. F. S. de. 2001. *Composição, processamento e atividade antioxidante*. In: BELTRÃO, N.E. de M.; VIEIRA, D.J. *O agronegócio do gergelim*.

ARAÚJO, J.M.A. *Química de alimentos: teoria e prática*. Viçosa: UFV, 601f, 2011.

BELTRÃO, N. E. M. et al. *Época relativa de plantio no consórcio mamona e gergelim*. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável. v. 5, n. 5, p. 67-73, 2010.

BELTRÃO, N. E. M.; VIEIRA, D. J. *O agronegócio do gergelim no Brasil*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001. p. 121-160. 348p.

BETTINELLI, M.; BEONE, G.M.; SPEZIA, S.; BAFFI, C. *Determination of heavy metals in soils and sediments by microwave assisted digestion and inductively coupled plasma optical emission spectrometry analysis*. Analytica Chimica Acta, v.424, p.289-296, 2000.

BOTELHO, J. R. S.; BATISTA, C. de C. R.; OLIVEIRA, M. S. de; ARAÚJO, M. E.; RODRIGUES, A. M. C.; SOUZA FILHO, A. P. da S.; MACHADO, N. T.; CARVALHO JUNIOR, R. N. *Supercritical CO₂ extraction of Sesamum indicum oil: Global yield, fatty acids, allelopathic activities, and determination of phenolic and anthocyanins total compounds in the residual pulp*. Journal of Supercritical Fluids, v. 107, p. 364-369, Jan. 2016.

CAPELLINI, M. C; GIACOMINI, V. e RODRIGUES, C. E; *EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE GERGELIM PROVENIENTE DE TORTA RESIDUAL DA PRENSAGEM UTILIZANDO-SE SOLVENTES ALCOÓLICOS*. Tese de mestrado, UEM – 2014.

CHEMAT, F.; ABERT VIAN, M.; LUCCHESI, M.; *Microwave Isolation of Essential Oils*. In: CHEMAT, F.; *Essential oils and aromas: Green extractions and applications*, Cap.1, 2009.

CHEMAT, F., ZILL-E-HUMA, & KHAN, M. K. (2011). *Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813–835.

CONTADO, E.W. F.; PATTO, L, DA S.; ROCHA., D. A.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D. ; SANTOS, C. D. . *Estudo dos métodos de extração de carotenóides em cenoura por fluido supercrítico (EFS) e convencional. Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, edição especial, p. 1617-1623, 2010.

CORRÊA JR, C.; TANIGUCHI, E. *Aspectos da cultura de camomila no Estado do Paraná. Horticultura Brasileira*, Aracajú, v.10, n.1, p.52, 1992(Resumo 28).

DIAS, Diogo Lopes. "Destilação por arraste de vapor"; *Brasil Escola*. Disponível em <http://brasilecola.uol.com.br/quimica/destilacao-por-arraste-vapor.htm>. Acesso em 07 de outubro de 2017.

GARCÍA-AYUSO, L. E. *Determination of the oil content of seeds by focused microwave-assisted soxhlet extraction, et. al.*, 1999.

GEDYE, R.; SMITH, F.; WESTAWAY, K.; ALI, H.; BALDISERA, L.L.; ROUSELL, J. *The use of microwave ovens for rapid organic synthesis. Tetrahedron Letters*, v.27, 1986, p.279- 282.

HARBOME, J. B.; *Ecological Biochemistry*. 4. Ed.: London: Academic, 1993.

HEINKE, T. C., SANTOS, A. C. A., TOSS, D. *Extração de Óleo Essencial de Rosmarinus officinalis Utilizando a Extração Assistida por Microondas*, 2009.

HOVELL, A. M.; REZENDE, C. M. *Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas*. Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2009. Rio de Janeiro - RJ, Brasil.

HWANG, L. S. *Sesame oil*. In: Shahidi F (Ed.) *Bailey's Industrial Oil & Fat Products*. 6th ed. New York, Wiley-Interscience. p.537-575, 2005.

JOLY, A. B. *Botânica*. 7. ed. São Paulo: Editora Nacional, p. 722-723, 1985.

KAPPE, C.O.; DALLINGER, DORIS.; MURPHREE, S. S. *Practical microwave synthesis for organic chemists*. Wiley-VCH: Weinheim, Alemanha, 2009.

KOURY, J. C.; DONANGELO, C. M. Zinco, estresse oxidativo e atividade física. *Revista de Nutrição*, Campinas, v. 16, n. 4, 2003.

MAPELI, N.C. et al. *Produção de biomassa e de óleo essencial dos capítulos florais da camomila em função de nitrogênio e fósforo*. *Horticultura Brasileira*, v.23, p.42-46, 2005.

MUKHOPADHYAY, M. *Fundamentals of Supercritical Fluids and Phase Equilibria*. In *Natural Extracts Using Supercritical Carbon Dioxide*. CRC Press Pages 11–82, 2000.

NAMIKI, M. *Nutraceutical Functions of Sesame: a review*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, p.651-673, 2007.

OETTERER, M.; REGITANO-D'ARCE, M.A.B.; SPOTO, M.H.F. *Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos*. Barueri-São Paulo: Manole, 2006.

OZKAL, S.G., YENER, M.E., BAYYINDIRLI, L., 2005. *Mass transfer modeling of apricot kernel oil extraction with supercritical carbon dioxide*. *The Journal of Supercritical Fluids* 35, 119–127.

PERIN, A.; CRUVINEL, D. J.; SILVA, J. W. *Desempenho do gergelim em função da adubação NPK e do nível de fertilidade do solo*. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 32, n.1, p. 93-98, 2010.

QUEIROGA, V. P. et al. *Cultivo Ecológico do Gergelim: Alternativa de Produção para Comunidades de Produtores Familiares da Região Semi-árida do Nordeste*. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2007. 53 p. (Embrapa Algodão. Documentos, 171).

QUEIROGA, V. P.; BELTRÃO, N. E. M. Produção de sementes. In: BELTRÃO, N. E. de M.; VIEIRA, D. J. (Coord.). *O agronegócio do gergelim no Brasil*. Brasília, DF: Embrapa. Informação Tecnológica, 2001. p. 285-301.

Portal da Educação, *Extração supercrítica*. Disponível em: <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/enem/extracao-supercritica/59240>.

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. *A química dos óleos e gorduras e seus processos de extração e refino*. Rev. Virtual Quim., 2013, 5 (1), 2-15. Data de publicação na Web: 9 de novembro de 2012.

REGLERO G, SE-ORANS FJ, IBÁ-EZ E. *Supercritical fluid extraction: an alternative to isolating natural food preservatives*, in BARBOSA-CÁNOVAS GV, TAPIA MS, CANO MP. (Ed.). *Novel food processing technologies*, CRC Press, New York, p.539-553, 2005.

RIZZO, H. R.; HOVELL, A. M. C.; REZENDE, C. M. *Óleos essenciais no Brasil: Aspectos gerais, desenvolvimentos e perspectivas*. Quim. Nova, Vol. 32, No. 3, 588-594, 2009.

RODRÍGUEZ, F.M. et al. *Actividad espasmolítica del extrato fluido de Matricaria (Manzanilla) en órganos aislados*. Revista cubana de Plantas Medicinales, v.1, n.1, p.19-24, 1996.

SILVA, R., et.al. *Efeitos da suplementação dietética com óleo de coco no perfil lipídico e cardiovascular de indivíduos dislipidêmicos / Effects of dietary supplementation with coconut oil on lipid and cardiovascular profile of dyslipidemic subjects*. Brasília médica / Associação médica de Brasília, 2007.

SILVA-SANTOS, A.; ANTUNES, A. M. S.; BIZZO, H. R.; D'AVILA, L. A.; *Rev. Bras. Pl. Med.* 2006, 8, 8; Silva-Santos, A.; *Análise Técnica, Econômica e de Tendências da Indústria Brasileira de Óleos Essenciais*, Papel Virtual: Rio de Janeiro, 2002.

SOLOMONS, T. W. G. *Química Orgânica* 2. 6. Ed. Rio de Janeiro, LTC: 1996.

TEO, C. C., TAN, S. N., YONG, J. W. H., HEW, C. S., & ONG, E. S. (2010). *Pressurized hot water extraction (PHWE)*. Journal of Chromatography A, 1217, 2484–2494

WANKAT, P. C. *Separation Process Engineering*, 3ªed, Cap. 14, p.581-591, 2006.