



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**



Igor João Machado Vieira

**MÉTODOS ALTERNATIVOS UTILIZADOS PARA EXTRAÇÃO E REFINO DE  
ÓLEOS VEGETAIS**

Patos de Minas

2023

IGOR JOÃO MACHADO VIEIRA

**MÉTODOS ALTERNATIVOS UTILIZADOS PARA EXTRAÇÃO E REFINO DE  
ÓLEOS VEGETAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador (a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Leticia Rocha Guidi

Coorientador (a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Daniele do Espírito Santo Loredo da Silva

Patos de Minas

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902  
Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br



**HOMOLOGAÇÃO Nº 94**  
**IGOR JOÃO MACHADO VIEIRA**

**Métodos alternativos utilizados para extração e refino de óleos vegetais**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado nesta data para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) - *campus* Patos de Minas (MG) pela banca examinadora constituída por:

**Prof.ª Dr.ª Daniele do Espírito Santo Loredo da Silva**  
Coorientadora - FEQUI/UFU

**Prof. Dr. Ricardo Corrêa de Santana**  
FEQUI/UFU

**Eng.º Warlen Agnelo Dias**  
FEQUI/UFU

Patos de Minas, 20 de junho de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Daniele do Espírito Santo Loredo da Silva, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/06/2023, às 14:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Correa de Santana, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/06/2023, às 14:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Warlen Agnelo Dias, Usuário Externo**, em 20/06/2023, às 14:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4569870** e o código CRC **E57A0C7C**.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que esteve presente durante toda minha jornada, abençoando e iluminando meu caminho.

Agradeço meus pais, Joel e Renata, por cada lição, cada oração e cada sacrifício para tornar os meus sonhos e dos meus irmãos realidade, por me permitirem chegar até aqui e pelo exemplo de força e determinação que sempre passaram. Muito amor e gratidão por vocês.

À minha avó, Izabel, e minha tia, Patrícia, por todo amor, carinho e apoio incondicional nessa caminhada. Vocês foram fundamentais para me tornar quem sou hoje.

Aos meus irmãos, Marvin e Mateus, pela paciência e por estarem presentes oferecendo todo apoio quando precisei.

Aos meus queridos amigos, especialmente Mirelle e Dara, que mesmo longe estiveram comigo em cada alegria e angústia, e de alguma forma fizeram toda a jornada ser mais tranquila.

Eu tenho tudo, porque tenho vocês. Amo muito, cada um!

Agradeço a todos os professores e servidores do nosso campus de Patos de Minas, que com toda dedicação e comprometimento, contribuíram para a minha formação, especialmente as minhas orientadoras, Prof<sup>ª</sup>. Dra. Letícia Rocha Guidi e Prof.<sup>a</sup> Dra. Daniele do Espírito Santo Loredó da Silva, que tiveram muita paciência e carinho para que este trabalho acontecesse. Vocês são meus exemplos de profissionais, obrigado por tudo.

À banca examinadora deste estudo, pela disponibilidade e atenção para contribuírem ainda mais com o trabalho.

A todos que me ajudaram a chegar aqui, que de alguma forma auxiliou na minha formação ou que esteve comigo nas dificuldades, cada um de vocês tem minha gratidão.

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão  
uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor  
se lhe faltasse uma gota”  
(Madre Tereza de Calcutá)*

## RESUMO

É visível como a demanda por novas tecnologias aumentou rapidamente em todas as áreas da indústria com o passar dos anos. Na indústria de óleos vegetais não seria diferente, visto que no processamento destes, há a alta geração de resíduos, que podem acarretar a presença de contaminantes alimentares, o que é uma preocupação. Neste contexto, observa-se uma procura pela população por produtos voltados para a sustentabilidade e com processos limpos. Além disso, espera-se que o custo desses alimentos seja acessível, necessitando de uma produção mais eficiente e econômica. Por outro lado, existem algumas alternativas na produção que poderiam agregar valor ao produto, por exemplo, um óleo com maior concentração de antioxidantes. Outro fator que pode ser um diferencial, seria utilizar métodos adequados nas etapas de produção, para reduzir o gasto de energia, de tempo e melhorar o rendimento final. Por isso, e por muitos outros fatores, a procura por métodos de extração e refino alternativos de óleos vegetais é cada vez mais crescente. Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho é fazer uma revisão sobre os métodos alternativos aplicados ao processo de extração e refino de óleos vegetais, visando apresentar aqueles que otimizam o processo ou acrescentam valor nutricional ao produto, com intuito de mostrar suas vantagens e desvantagens.

**Palavras-chaves:** Óleo vegetal; processos alternativos; extração; refino; indústria de óleos.

## ABSTRACT

It is visible how the demand for new technologies has increased rapidly in all areas of the industry over the years. In the vegetable oil industry, it would not be different, since in the processing of these, there is a high generation of residues, which can lead to the presence of food contaminants, which is a concern. In this context, there is a demand by the population for products aimed at sustainability and clean processes. In addition, it is expected that the cost of these foods is accessible, requiring a more efficient and economical production. On the other hand, some production alternatives could add value to the product, for example, an oil with a higher concentration of antioxidants. Another factor that could be a differential would be to use appropriate methods in the production stages, to reduce the expenditure of energy, and time and improve the final yield. For this reason, and many other reasons, the search for alternative methods of extracting and refining vegetable oils is increasing. Given this scenario, the objective of this work is to review the alternative methods applied to the process of extracting and refining vegetable oils, aiming to present those that optimize the process or add nutritional value to the product, to show their advantages and disadvantages.

**Keywords:** Vegetable oil; alternative processes; extraction; refine; oils industry.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura do glóbulo de óleo.....	9
Figura 2 - Representação esquemática de célula de endosperma da soja.....	9
Figura 3 - Prensa contínua ou “Expeller”.....	11
Figura 4 - Processo rudimentar de extração de azeite de oliva em uma localidade rural do Marrocos: (a) moagem com roda de pedra movida à tração animal; (b) filtros confeccionados com palha de tamareira; e (c) escoamento do óleo filtrado. ....	11
Figura 5– Modelo de equipamento utilizado para extração de óleo vegetal. ....	12
Figura 6 - Esquema de um sistema de extração de óleo por solvente: (1) extrator; (2) torrefador de farelo; (3) evaporador contínuo; e (4) condensador de solvente. ....	15
Figura 7 - Evaporador típico da micela. ....	17
Figura 8 – Processo de obtenção de óleo de soja bruto e farelo desengordurado. ....	18
Figura 9 – Esquema do processo de extração aquosa assistida por enzimas.....	19
Figura 10 – Representação esquemática das etapas do processo de refino químico e físico. ....	21
Figura 11 – Degomagem do óleo bruto.....	23
Figura 12 – Neutralização do óleo degomado.....	25
Figura 13 – Branqueamento do óleo neutro seco. ....	27
Figura 14 – Rendimentos experimentais e previstos de extração para acetato de etila, 1-butanol, etanol e hexano a 328,14 K utilizando a relação solvente-sólido. ....	32
Figura 15 – Curvas cinéticas de extração.....	34
Figura 16 - Representação esquemática de extração de óleo vegetal por dióxido de carbono supercrítico. ....	35
Figura 17 - Rendimento global do óleo de sementes de amêndoas chañar obtido pela SFE em diferentes condições de temperatura e pressão.....	36
Figura 18 – Efeito da temperatura de reação no processo simultâneo. Condições de reação: 40 g/100g a concentração de óleo micela, 30 g/100g excesso de álcali, e 10 °Bé concentração de álcali a 150 rpm e 60 min.....	39
Figura 19 – Efeito da concentração de micela de óleo no processo simultâneo de degomagem e desacidificação do óleo de milho. Condições de reação: 30 g/100g de excesso de álcali, 10 °Bé concentração de álcali e 150 rpm a 50 °C por 60 min.....	40
Figura 20 – Efeito do excesso de alcalino no processo simultâneo de degomagem e desacidificação da micela óleo-hexano de milho. Condições de reação: 50 g/100g de concentração de óleo micela, 10 °Bé concentração de álcali e 150 rpm a 50 °C por 60 min.....	41
Figura 21 – Teor de fósforo (mg/kg) do óleo bruto de soja (Br), do óleo após refino químico (CR), após degomagem aquosa (WD), degomagem enzimática (ED) e degomagem enzimática em água (WED).....	42
Figura 22 – Aumento do teor de DAGs (LLn, LL, OL, OP) do óleo bruto de soja (Br), do óleo após refino químico (CR), após degomagem aquosa (WD), degomagem enzimática (ED) e degomagem enzimática em água (WED). ....	43
Figura 23 – Equilíbrio líquido-líquido a 303,2 K para sistemas compostos por óleo vegetal + ácido graxo + líquido iônico, em que: (A) óleo de soja, (B) óleo de canola e (C) óleo de palma. ....	45
Figura 24 - Diagrama esquemático do mecanismo de refino utilizando sonda de ultrassom. ....	47
Figura 25 – Processo de extração em ultrassom.....	48
Figura 26 – Microestruturas de semente de Cosmos s. ampliada.....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição de ácidos graxos do óleo de girassol. ....	4
Tabela 2 – Composição de ácidos graxos do óleo de oliva. ....	5
Tabela 3 – Composição de ácidos graxos do óleo de milho. ....	6
Tabela 4 – Composição de ácidos graxos em óleo de soja.....	7
Tabela 5 – Classificação de lipídeos. ....	8
Tabela 6 – Teores residuais de óleo no farelo para diferentes matérias-primas.....	14
Tabela 7 – Processo de obtenção de óleo de soja bruto e farelo desengordurado. ....	20
Tabela 8 – Vantagens e desvantagens do refino físico e químico. ....	22
Tabela 9 – Parâmetros de qualidade do óleo de canola antes e depois do branqueamento. ....	26
Tabela 10 – Caracterização do óleo da amêndoa de baru obtido pela extração com diferentes solventes e relacionados com dados referenciais do óleo de baru e amendoim. ....	30
Tabela 11 – Rendimento da extração e perfil de ácidos graxos do óleo de soja extraído por hexano, acetato de etila e 1-butanol. ....	31
Tabela 12 – Rendimento de óleo para diferentes porcentagens de etanol como co-solvente. ....	34
Tabela 13 – Equilíbrio líquido-líquido a 303,2 K para sistemas compostos por óleo vegetal + ácido graxo + líquido iônico, em que: (A) óleo de soja, (B) óleo de canola e (C) óleo de palma. ....	45
Tabela 14 – Comparação dos parâmetros avaliados para extração do óleo da semente de <i>Cosmos sulphureus</i> , através do método de Soxhlet, por CO <sub>2</sub> supercrítico e aplicação de ultrassom com CO <sub>2</sub> supercrítico. ....	50

# SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2.METODOLOGIA</b> .....	3
<b>3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	3
<b>3.1. MATÉRIA-PRIMA</b> .....	3
3.1.1. Óleo de girassol.....	4
3.1.2. Óleo de oliva .....	5
3.1.3. Óleo de milho .....	5
3.1.4. Óleo de soja.....	6
<b>3.2. LIPÍDEOS</b> .....	7
<b>3.3. PROCESSO CONVENCIONAL DE OBTENÇÃO DE ÓLEO VEGETAL</b> .....	9
3.3.1. Extração por prensagem mecânica .....	11
3.3.2. Extração por solvente .....	13
3.3.2.1. Destilação da micela.....	16
3.3.2.2. Recuperação do solvente.....	17
3.3.3 Extração enzimática .....	18
3.3.4. Refino do óleo vegetal.....	19
3.3.4.1. Degomagem .....	22
3.3.4.2. Neutralização.....	25
3.3.4.3. Branqueamento.....	26
3.3.4.4. Desodorização .....	27
<b>3.5. MÉTODOS ALTERNATIVOS</b> .....	28
3.5.6. Aplicação de alternativas no processo de extração .....	29
3.5.7. Aplicação de alternativas no processo de refino .....	38
3.5.8. Aplicação de alternativas utilizando o ultrassom .....	46
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	51
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	53

## 1.INTRODUÇÃO

A indústria global está em constante busca pelo aprimoramento e otimização de seus processos, com propósito de reduzir custos e melhorar seus produtos oferecidos. Dentro da indústria de alimentos não é diferente, inclusive na área de óleos vegetais, que são alimentos que há décadas fazem parte da nossa alimentação e são fundamentais para a nutrição humana. Além disso, pode se levar em consideração a diversidade de espécies vegetais que possuem conteúdo de óleo expressivo, sendo que a procura pelo produto mais viável e de melhor qualidade se torna altamente ampla.

A definição de óleos e gorduras se diferem através do seu ponto de fusão, sendo a 25 °C (temperatura ambiente) o óleo líquido e a gordura sólida, segundo a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) N° 270 de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (RAMALHO; SUAREZ, 2013). Essa diferença entre seus estados físicos a temperatura ambiente, se dá pela distinção de grupos acilas saturadas e insaturadas presentes nos triacilgliceróis, sendo que praticamente 95% do seu peso molecular vem dos ácidos graxos. Os lipídeos também podem se diferenciar de acordo com sua matéria-prima, por exemplo, os azeites que são provenientes de polpas de frutos como a oliva, e a manteiga que vêm a partir da gordura vegetal, como o cacau (JORGE, 2009).

No Brasil, a indústria de óleos vegetais teve início por volta dos anos 1950, em que houve a comercialização das primeiras margarinas como substitutos de outras gorduras, como, a banha. E, assim, à medida em que a produção agrícola de oleaginosas crescia, a tecnologia para a obtenção de óleos vegetais com maior qualidade também se desenvolvia. Até os anos 1960, tanto a produção quanto o comércio dos óleos de cozinha eram realizados por companhias distintas, nas quais o seu foco não era o produto alimentício (CAMELO; FONTGALLAND, 2021). Porém, com sua crescente demanda, nos anos 1970, o mercado de óleos vegetais se consolidou no país (ALBUQUERQUE, 2002 apud PELAEZ-ALVAREZ et. al., 1991). Segundo Camelo e Fontgalland (2021), a produção de óleo vegetal está intrinsecamente ligada à produção de biodiesel, uma vez que uma grande parte desses produtos também é utilizada como insumo na fabricação de óleo de cozinha. E devido a isso, há a previsão de inovações nesse setor até 2028, e assim um aumento na diversificação dos produtos centrais.

Em 2020, no Brasil foram produzidos cerca 9,8 milhões de toneladas de óleo vegetal, ocupando a 7ª posição no ranking mundial, em uma produção global de 204 milhões de toneladas (SANTOS et al., 2022; UNITED STATES, 2023). Dentre as principais fontes de

óleo vegetal produzidos mundialmente, o óleo de palma lidera com 70 milhões de toneladas, vindo em seguida o óleo de soja, colza e girassol (UNITED STATES, 2023). Contudo, no Brasil é predominante a produção do óleo de soja, seguido do óleo de palma (polpa) e algodão (UNITED STATES, 2023).

Os principais métodos utilizados para a extração de óleos vegetais são, por prensagem mecânica ou artesanal, por solvente e a enzimática, sendo esta última uma aplicação ainda pouco utilizada (GONZALEZ et al., 2008; SANTOS et al., 2022). A prensagem mecânica, por ser um método antigo, tem como característica o baixo custo de investimento e a recomendação para produções menores, em que não necessite de grandes volumes de óleo extraído, devido a sua baixa produtividade. Já a extração por solvente, é indicada para grandes produções e com oleaginosas que possuem baixo teor de óleo, em razão do seu poder de extração superior a prensagem. A extração enzimática, apesar de dar origem a um produto de melhor qualidade e apresentar caráter ambiental, demanda de alto investimento em decorrência do custo das enzimas, o que acaba sendo pouco empregado na indústria (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009; JORGE, 2009; SANTOS et al., 2022).

Após a extração, óleo obtido a princípio, possui impurezas que acabam prejudicando sua estabilidade e qualidade. Em razão disso, há a necessidade de um processo de purificação ou refino, que é constituído de várias etapas, e tem o propósito de remover tais impurezas do produto (JORGE, 2009).

Por se tratar de um processo mais artesanal, as inovações e alternativas visando a melhoria do produto como também a indústria que tem o interesse de reduzir o impacto da exploração de recursos fósseis, foram sendo apresentados no decorrer dos anos (SANTOS et al., 2022). Por exemplo, a redução de tempo de processo com a aplicação de etapas simultâneas através de estudos e experimentos e pelo uso de equipamentos que permitem reduzir o consumo de energia da indústria. Outro caminho seria no emprego da química verde, que envolve processos que não causam ou minimizam os impactos negativos ao meio ambiente, como os solventes verdes, que têm o intuito de reduzir custos e aumentar a produtividade, decorrente de agente químicos mais econômicos e seguros. Tais solventes, são compostos derivados de processamentos agrícolas (como o próprio etanol) e que exercem a mesma função dos tradicionais, diferenciando pelo seu custo-benefício superior que posteriormente são apresentados (FERREIRA; DA ROCHA; DA SILVA, 2014). Em decorrência dessa corrida pelo melhor e mais eficaz, a pesquisa científica nesta área ganhou um crescimento significativo nos últimos anos, em que, entre 2008 e 2017 houve um aumento

de 120% de trabalhos científicos publicados mundialmente relacionados a óleo vegetal, e um aumento de 130% no Brasil (SANTOS et al., 2022).

Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho é fazer uma revisão sobre métodos alternativos aplicados ao processo de extração e refino de óleos vegetais, através do levantamento bibliográfico de trabalhos referentes ao tema publicados em literatura nacional e internacional, visando apresentar aqueles que otimizam o processo ou acrescentam benefício ao produto final.

## **2.METODOLOGIA**

Para a realização deste trabalho foi feita uma revisão bibliográfica sobre a origem dos óleos vegetais e suas características, os métodos convencionais de extração, purificação e também os métodos alternativos, que visam a melhoria dentro da indústria e do produto obtido. Tendo como foco apresentar as principais vantagens e desvantagens de cada processo, e como impactaria na produção e qualidade do produto.

Primeiramente, foi realizado um levantamento de trabalhos publicados referentes ao tema proposto em literatura nacional e internacional em plataformas online como a base *Web of Science* (WoS), utilizando palavras-chave relacionadas ao tema “alternativo”, “extração”, “refino”, “óleo vegetal”. As plataformas utilizadas foram aquelas que apresentavam grande disponibilidade de trabalhos científicos com qualidade e importância, como: Periódicos CAPES, *ScienceDirect*, *Scopus*, Google Acadêmico, Repositório UFU, entre outros. Deu-se prioridade em trabalhos mais recentes, entretanto, neste trabalho foram utilizadas fontes mais antigas como forma de entender a evolução do estudo no assunto.

## **3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. MATÉRIA-PRIMA**

O óleo vegetal comestível apresenta uma vasta variedade de ingredientes nutricionais, como triglicerídeos, fosfolipídios, fenóis e ácidos graxos livres, que servem como fonte de energia e promovem processos celulares essenciais (PUNIA et al., 2021). Porém, é comum identificar também substâncias não lipídicas na composição dos óleos, como: glicosídeos, isoflavonas e a clorofila como complexo metálico (RAMALHO; SUAREZ, 2013). Além

disso, os óleos e gorduras são muito utilizados no processamento de alimentos como meio de transferência de calor em processos como a de fritura, por exemplo (PUNIA et al., 2021).

Esse produto serve como uma fonte de energia importante, assim como os alimentos que são fontes de carboidratos. Em decorrência da sua grande importância na alimentação, é válido optar por um óleo vegetal que desempenha de forma eficiente suas funções no nosso organismo, como, os óleos de: girassol, soja, milho e de oliva (MORAIS, 2021).

### 3.1.1. Óleo de girassol

O girassol (*Helianthus annuus L.*) pertence à família Asteraceae, possui dois tipos de sementes, as não oleosas e as oleosas, a partir das quais, por meio de extração por prensagem mecânica, é obtido o óleo de girassol conhecido (MANDARINO; ROESSING; BENASSI, 2005). A Tabela 1 apresenta a composição em ácidos graxos do óleo a partir do girassol, sendo que vale destacar o alto teor de ácido linoleico (60%), que possui grande importância na saúde humana (MORAIS, 2021).

Tabela 1 – Composição de ácidos graxos do óleo de girassol.

Ácidos graxos		Média (%)
Mirístico	C <sub>14</sub> :0	0,1
Palmítico	C <sub>16</sub> :0	5,8-6,6
Palmitoléico	C <sub>16</sub> :1	0,1
Estearico	C <sub>18</sub> :0	3,8-5,2
Oleico	C <sub>18</sub> :1	16,0-23,8
Linoleico	C <sub>18</sub> :2	64,6-71,5
Linolênico	C <sub>18</sub> :3	0,1-0,4
Araquídico	C <sub>20</sub> :0	0,2-0,4

Fonte: Adaptado de (MANDARINO; ROESSING; BENASSI, 2005).

Dentre as vantagens do consumo de girassol, pode-se citar a sua atividade antioxidante e anticancerígeno proveniente da presença dos tocoferóis (vitamina E) e o auxílio no controle de colesterol que reduz o risco de doenças cardiovasculares, sem falar no bom rendimento em decorrência do alto teor de óleo nas sementes (45%-65%) (GRUNVALD et al., 2014; MORAIS, 2021; TURATTI, 2000). Em relação ao seu valor econômico, o óleo de girassol é

considerado um dos mais bem cotados no mercado internacional, devido a sua diferença dos demais óleos na concentração de ácidos graxos insaturados (JORGE, 2009).

### 3.1.2. Óleo de oliva

O fruto da azeitona, proveniente da oliveira (*Olea europaea*), produz o óleo a partir da prensagem mecânica que dá origem ao azeite virgem e extravirgem, que pode ser diferenciado um do outro através dos teores de acidez, que varia entre 0,7% e 2% de acidez (JORGE, 2009; MANDARINO; ROESSING; BENASSI, 2005). É um óleo que possui alto valor nutricional pelo teor elevado (69-85%) de ácido oleico (ácido graxo monoinsaturado), também é constituído de tocoferóis (propriedade antioxidante) e auxilia em doenças cardiovasculares, sendo um dos óleos vegetais mais saudáveis (MANDARINO; ROESSING; BENASSI, 2005; MORAIS, 2021). A Tabela 2 apresenta a composição de ácidos graxos no óleo de oliva.

Tabela 2 – Composição de ácidos graxos do óleo de oliva.

Ácidos graxos		Média (%)
Mirístico	C <sub>14</sub> :0	15,3-17,1
Palmítico	C <sub>16</sub> :0	7-15
Palmitoléico	C <sub>16</sub> :1	0,5-3,5
Esteárico	C <sub>18</sub> :0	1-3,5
Oleico	C <sub>18</sub> :1	69-85
Linoleico	C <sub>18</sub> :2	4-12

Fonte: (MANDARINO; ROESSING; BENASSI, 2005).

### 3.1.3. Óleo de milho

O óleo de milho possui semelhança com outros óleos em relação ao seu teor elevado de ácidos graxos linoleico e baixo de ácido linolênico, ácidos que são essenciais para nutrição animal, embora 70% da produção de milho no Brasil seja voltada para alimentação animal (PAES, 2006). Da mesma forma dos outros óleos, o óleo de milho possui atividade antioxidante por causa da presença dos tocoferóis e auxilia no colesterol reduzindo risco de doença cardiovascular (MORAIS, 2021; PAES, 2006). Além disso, com sua alta estabilidade oxidativa e sob refrigeração (ausência da formação de precipitado) sua aplicação tem sido

utilizada em muitas áreas, como na elaboração de margarinas (JORGE, 2009). Na Tabela 3 está contida a composição de ácidos graxos existente no óleo de milho.

Tabela 3 – Composição de ácidos graxos do óleo de milho.

Ácidos graxos		Valores de referência (%) (FIRESTONE, 2013)
Láurico	C <sub>12</sub> :0	≤0,3
Mirístico	C <sub>14</sub> :0	≤0,3
Palmítico	C <sub>16</sub> :0	9,2-16,5
Palmitoleico	C <sub>16</sub> :1	≤0,4
Esteárico	C <sub>18</sub> :0	≤3,3
Oleico	C <sub>18</sub> :1	20,0-42,2
Linoleico	C <sub>18</sub> :2	39,4-65,6
Linolênico	C <sub>18</sub> :3	0,5-1,5
Araquídico	C <sub>20</sub> :0	0,3-0,7
Eicosenoico	C <sub>20</sub> :1	≤0,4
Eicosadienoico	C <sub>20</sub> :2	≤0,1
Behênico	C <sub>22</sub> :0	≤0,5
Erúcido	C <sub>22</sub> :1	≤0,1
Lignocérico	C <sub>24</sub> :0	≤0,4

Fonte: (CAMPESTRE, 2017).

#### 3.1.4. Óleo de soja

O óleo de soja utiliza como processo de obtenção tanto a prensagem mecânica quanto a extração por solvente. A matéria-prima que também pode ser denominada como *Glycine max*, chegou ao Brasil e se cultivou em meados de 1900. É um alimento que possui teores altos de ácido linoleico e linolênico, e auxilia no crescimento de crianças e desenvolvimento hormonal, como também no crescimento de unhas e pele. Em sua composição, além dos ácidos essenciais, também há vitaminas lipossolúveis (A e E) e esteróis, podendo também prevenir o câncer e doenças cardiovasculares (MANDARINO; ROESSING; BENASSI, 2005; MARTIN et al., 2006; MORAIS, 2021). Em decorrência das suas propriedades únicas, como o alto nível de insaturação e capacidade de ser parcialmente hidrogenado, o óleo de soja

possui vasta aplicação, como, em produção de óleos para salada, margarina e maionese (JORGE, 2009). A Tabela 4 apresenta a composição de ácidos graxos do óleo de soja.

Tabela 4 – Composição de ácidos graxos em óleo de soja.

Ácidos graxos		Média (%)
Palmítico	C <sub>16</sub> :0	11-12
Palmitoléico	C <sub>16</sub> :1	0,5
Esteárico	C <sub>18</sub> :0	2-4,5
Oleico	C <sub>18</sub> :1	21-34
Linoleico	C <sub>18</sub> :2	49-59
Linolênico	C <sub>18</sub> :3	2-8,5

Fonte: (MANDARINO; ROESSING; BENASSI, 2005).

### 3.2. LIPÍDEOS

Os óleos e gorduras apresentam como principal característica a hidrofobicidade, ou seja, são insolúveis em água. Sua origem pode ser proveniente de animais, microbiana e de vegetais (BATISTA, GUSTAVO LUIZ ARAÚJO; SOUZA et al., 2016). Dentro da variedade de substâncias, que podem fazer parte da composição dos óleos e gorduras, é a partir da classe dos lipídeos que as principais são encontradas, por exemplo, os ácidos graxos, os esteróis e as ceras (RAMALHO; SUAREZ, 2013). A propriedade do óleo de ser insolúvel em água é proveniente do elevado número de carbonos das moléculas presentes nas substâncias, já que a ligação carbono-carbono tem pouca polaridade e faz com que apresente um caráter majoritariamente apolar. Além disso, também há a presença de grupos funcionais importantes, como alceno, fenol, álcool, éster e outros (RAMALHO; SUAREZ, 2013).

A classificação de lipídeos pode ser conferida de várias formas em decorrência da grande quantidade desses grupos de substâncias heterogêneas. Uma das suas classificações faz a divisão entre os lipídeos apolares, que são ésteres de ácidos graxos com álcoois (como os glicerídeos, cera, carotenoides e esteróis), e os polares, que possui outras funções químicas além da ligação éster (como os fosfolipídeos). (JORGE, 2009). Podem também ser classificados (Tabela 5), como:

- simples: que a partir da hidrólise originam apenas ácidos graxos e álcoois;
- compostos: os que apresentam outros compostos além dos presentes no simples;

- derivados: que apresentam substâncias derivadas dos lipídeos simples e compostos.

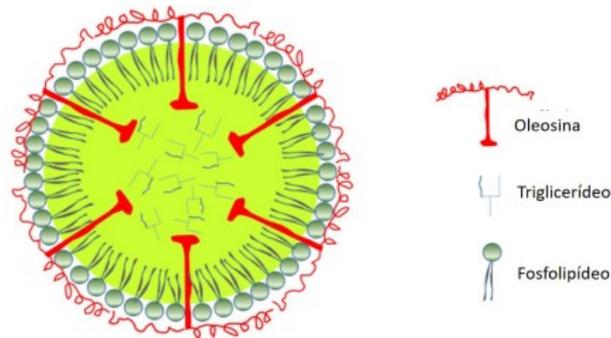
Tabela 5 – Classificação de lipídeos.

<b>Lipídeos Simples</b>	
Acilgliceróis	Glicerol + ácidos graxos
Ceras	Ésteres de ácidos graxos + álcoois de alto peso molecular
<b>Lipídeos Compostos</b>	
Fosfolipídeos	Glicerol + ácidos graxos + compostos de ácido fosfórico + base nitrogenada
Esfingomielinas	Esfingosina + ácido graxo + fosfato + colina
Gangliosídios	Esfingosina + ácido graxo + carboidrato
<b>Lipídeos Derivados</b>	
Esteróis	Colesterol, fitoesteróis
Vitaminas lipossolúveis	A, D, E, K
Carotenóides	

Fonte: (JORGE, 2009).

A Figura 1 representa um esquema de como é estruturado um glóbulo de óleo, que, no caso das sementes, são armazenados na parte do seu endosperma, que é revestido por proteínas que formam uma camada protetora, as oleosinas, e uma subsequente camada de fosfolipídios que possuem caráter anfifílico, que por sua vez engloba os triglicerídeos. No processo de extração por solvente, acontece a quebra dessa camada protetora para que seja permitida a penetração do solvente que faz a retirada da matriz oleosa (FAVARO et al., 2022).

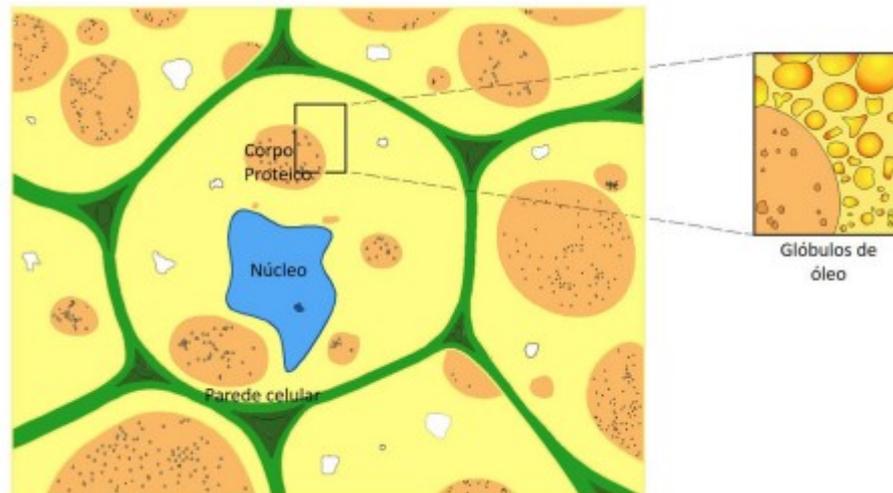
Figura 1 – Estrutura do glóbulo de óleo.



Fonte: (FAVARO et al., 2022).

Esses corpos lipídicos, por sua vez, ocupam os espaços no interior da célula da matéria-prima, mais precisamente entre as proteínas, formando a matriz oleaginoso. A Figura 2 representa a célula do grão de soja onde estão presentes as proteínas do alimento (corpos proteicos) (FAVARO et al., 2022).

Figura 2 - Representação esquemática de célula de endosperma da soja.



Fonte: (FAVARO et al., 2022).

### 3.3. PROCESSO CONVENCIONAL DE OBTENÇÃO DE ÓLEO VEGETAL

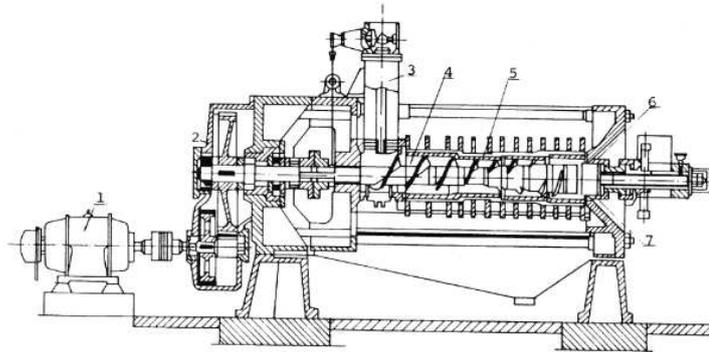
Para melhor entendimento de alternativas do processo de obtenção de óleo vegetal, deve-se antes ter conhecimento de como é realizado a produção convencionalmente.

O armazenamento de óleos e gorduras não são realizados por todos os seres vivos, porém, algumas espécies de vegetais possuem a capacidade de depósito em seus tecidos como sementes e polpas de frutos. Sendo assim, existem diferentes fontes a partir das quais é possível extrair a matéria-prima, o que não torna um processo único de forma geral (RAMALHO; SUAREZ, 2013). Devido a isso, a obtenção de óleo vegetal pode ser dividida nos processos de extração do óleo a partir da matéria-prima e o refino do óleo bruto obtido, em que é executado: primeiramente a extração, que pode ser realizada por prensagem mecânica, aplicação de solventes, ou a aplicação dos dois métodos, sendo esta última denominada como extração mista. E após a extração, o óleo bruto obtido passa pelo refino que é constituído por diversas etapas com o propósito de melhorar a qualidade do produto.

Antes de submeter a matéria-prima à operação de extração, a fase de preparação e classificação que é constituído das etapas de recepção, limpeza, secagem, descasque e condicionamento, é fundamental para a obtenção do produto de interesse, em decorrência de irregularidades que podem comprometer todo o processo na indústria (JORGE, 2009). Como na classificação, que tem o intuito de controlar e avaliar a matéria-prima utilizada no ato da colheita, evitando grãos avariados, contaminados e possivelmente tóxicos, além de matérias estranhas que podem ser colhidas acidentalmente. Bem como as etapas de secagem, descasque e laminação que facilitam o processo, reduzindo a umidade e aumentando a área superficial e, assim, tornando a extração mais eficiente (MARCOS et al., 2015).

Das variadas formas de se extrair o óleo vegetal, as mais empregadas em grande escala são a prensagem mecânica para baixa capacidade e a extração por solvente para alta capacidade (JORGE, 2009). Nas plantas industriais mais antigas, o óleo é parcialmente extraído em prensas contínuas ou “*expellers*” (Figura 3), e posteriormente a torta (material sólido proveniente das prensas) passa pela extração com solvente orgânico, deixando-a praticamente isenta de óleo. O óleo bruto proveniente da prensagem é misturado com o óleo que foi separado pela recuperação do solvente e filtrado para a remoção de impurezas (MARCOS et al., 2015).

Figura 3 - Prensa contínua ou “Expeller”.



Fonte: (JORGE, 2009).

### 3.3.1. Extração por prensagem mecânica

Sendo um dos processos mais antigos conhecidos para a extração de óleos e gorduras, a prensagem ainda é utilizada em processos mais simples apesar de todo o avanço tecnológico nesta área, por exemplo, na obtenção do azeite de oliva (Figura 4)(RAMALHO; SUAREZ, 2013). Normalmente, a prensagem é utilizada para matérias-primas com teor de lipídeos acima de 30%. Abaixo disso, o rendimento desse tipo de extração é muito baixo. Em casos de óleo com alto valor agregado, a extração por prensagem pode viabilizar o processo, como no caso da aplicação em cosméticos (ECYCLE, [s.d.]).

Figura 4 - Processo rudimentar de extração de azeite de oliva em uma localidade rural do Marrocos: (a) moagem com roda de pedra movida à tração animal; (b) filtros confeccionados com palha de tamareira; e (c) escoamento do óleo filtrado.



Fonte: (RAMALHO; SUAREZ, 2013).

Outra forma de utilizar a extração por prensagem mecânica consiste na remoção parcial do óleo da matéria-prima por este método, seguida da extração por solvente orgânico, chamado de “extração mista” (MARCOS et al., 2015).

A etapa de extração pode ser conduzida por prensagem mecânica, em equipamentos constituídos por prensas contínuas onde as sementes são prensadas na espessura determinada para permitir a saída do óleo e ao mesmo tempo agindo como filtro para as partículas da torta (JORGE, 2009). A pressão é regulada por um cone de saída que consegue alcançar altos valores de pressão.

A denominação de óleo virgem ou extravirgem pode ser também empregado de outra forma além da acidez. O termo, de forma geral, é empregado quando o produto é obtido apenas através da prensagem e posterior filtragem das partículas sólidas e sujidades. Nesse caso não há a etapa de refino ou purificação do óleo extraído, em que alguns países associam estritamente o extravirgem ao obtido pela prensagem a frio e virgem a quente (RAMALHO; SUAREZ, 2013). A Figura 5 é um exemplo de equipamento utilizado para extração.

Figura 5– Modelo de equipamento utilizado para extração de óleo vegetal.



Fonte: (ECIRTEC, [s.d.]).

A prensagem a frio é realizada na maioria das vezes em processos que preservem ao máximo o produto mais puro. Como o próprio nome diz, ele é realizado em temperaturas mais baixas e não possui a etapa de refino, que necessita de aquecimento e, conseqüentemente, altera sua composição original. A desvantagem desse tipo de processo é o baixo rendimento, em que é necessário em média 5 kg de matéria-prima para extrair 1 L de óleo, obtendo como maior diferencial um produto natural, como o óleo extravirgem (VITAL ÂTMAN, 2013).

A obtenção do óleo por prensagem é mais indicada em indústrias de pequena escala, devido a sua baixa produtividade quando comparada a processos mais atuais. Além disso, sua aplicação única é muito utilizada em sementes e frutos que apresentam teores de óleo

superiores a 30%, devido à dificuldade existente de extrair toda a sua concentração, se tornando necessário a extração físico-química para evitar a rancificação da matéria-prima. Por outro lado, a utilização da prensagem acaba sendo mais limpa por não gerar resíduos tóxicos que o solvente pode favorecer e fornece um óleo com apelo mais “natural” (ECYCLE, [s.d.]).

### 3.3.2. Extração por solvente

A primeira etapa da extração com solvente é a etapa em que é adicionado um solvente orgânico apolar à torta resultante da prensagem das sementes, para que sejam extraídos os lipídeos, aumentando a produtividade na obtenção do óleo e, convenientemente, reduzindo o teor residual de óleo no farelo, assim melhorando o processo de refino (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009; JORGE, 2009).

Neste tipo de extração, a obtenção do óleo é realizada por solvente orgânico, sendo o hexano o solvente mais comumente utilizado por apresentar várias vantagens, entre elas o ponto de ebulição não muito alto (próximo de 70°C), o que diminui a decomposição do óleo por não ser necessária a utilização de altas temperaturas na evaporação do solvente após a extração. (MARCOS et al., 2015).

A extração por solvente, consiste basicamente em submeter a matéria-prima a ser extraída ao contato com um solvente, normalmente em sentido contracorrente, que tem a capacidade de penetrar os poros das partículas, solubilizando o óleo ali presente e, assim, formando a micela (que é a mistura entre o óleo vegetal extraído e o hexano, formada no extrator) que sai da partícula (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009). É um processo que acontece pela dissolução da camada de óleo das partículas das sementes na sua parede celular (processo rápido) e da transferência de massa da mistura óleo-hexano através também da parede celular semipermeável (processo lento) (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009; JORGE, 2009).

Esse tipo de extração é um processo que acontece de forma contínua na maioria das plantas industriais. Com a utilização do solvente, o menor conteúdo de óleo no farelo (produto obtido após a extração) normalmente fica em torno de 0,5% (MARCOS et al., 2015). A Tabela 6 apresenta o teor de óleo residual presente no farelo resultante da extração de alguns vegetais. Além disso, este processo exige maior controle quanto à utilização, devido ao risco de vazamento do solvente tóxico, podendo poluir o ambiente (JORGE, 2009). O sistema descontínuo de extração não é muito aplicado por se apresentar como método arcaico, que demanda mais operários para o processo (de esvaziamento e enchimento de tanques, por

exemplo) além de mais tempo gasto, o que reduziria o rendimento da produção (JORGE, 2009).

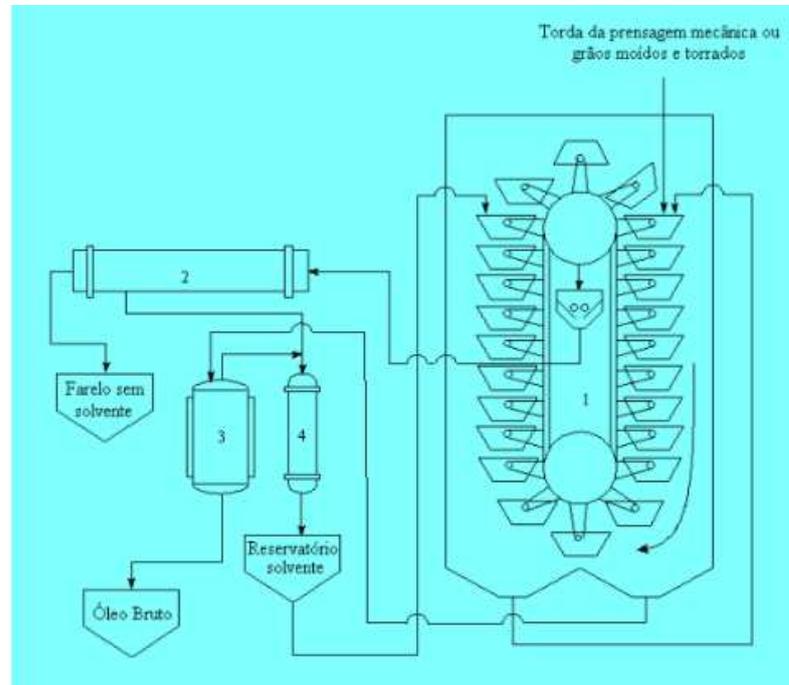
Tabela 6 – Teores residuais de óleo no farelo para diferentes matérias-primas.

<b>Matéria-prima</b>	<b>Teor residual de óleo no farelo (%)</b>
Soja	0,6
Amendoim	0,7
Colza	0,9-1,0
Copra (coco)	1,0
Algodão	0,7
Girassol	0,8
Linhaça	0,9-1,0
Palma	0,8

Fonte: (JORGE, 2009).

Os extratores comerciais geralmente realizam a extração pelo método de imersão, em que o solvente é bombeado através da torta até que esteja totalmente submergida, e por percolação, que consiste no espalhamento do solvente pela gravidade a uma determinada velocidade. O tempo do processo deve ser pequeno não só por decorrência de uma melhor produtividade, mas também devido as substâncias indesejáveis que são extraídas junto com o óleo de algumas sementes, que podem causar a sua degradação se não removidas até um certo limite de prazo. Além disso, o conteúdo residual retido na torta esgotada acaba determinando a eficiência global do sistema (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009). A Figura 6 apresenta um esquema exemplificando um sistema de extração de óleo por solvente, em que ocorre a introdução da torta da prensagem ou os grãos moídos e torrados junto com o solvente, realizando a extração do óleo propriamente dita. Em seguida, tem-se a recuperação do solvente a partir da micela obtida (mistura óleo-solvente) e do farelo (resíduo sólido), gerando o óleo bruto e o farelo desengordurado.

Figura 6 - Esquema de um sistema de extração de óleo por solvente: (1) extrator; (2) torrefador de farelo; (3) evaporador contínuo; e (4) condensador de solvente.



Fonte: (RAMALHO; SUAREZ, 2013).

O composto orgânico a ser empregado necessita satisfazer a várias exigências que o caracterizam como um solvente apropriado para o processo, tais como: faixa de ebulição estreita e não muita alta, possuir neutralidade ao óleo com dissolução fácil, ser inerte, não tóxico, não inflamável, insolúvel em água e maior acessibilidade em relação ao custo (JORGE, 2009). O hexano é o composto mais utilizado por se encaixar melhor nos critérios para o processo, sendo sua principal vantagem o baixo ponto de ebulição e o fato de ser economicamente viável (RAMALHO; SUAREZ, 2013). Em contrapartida, ele também apresenta algumas desvantagens, como alta inflamabilidade e explosividade (MARCOS et al., 2015).

Devido a isso, outros solventes podem ser empregados, como o etanol e o isopropanol. Além disso, gases supercríticos como o CO<sub>2</sub> podem ser empregados na planta industrial como solvente pela sua adaptabilidade na extração do óleo. De forma geral, a aplicação de solventes é conveniente em alguns casos, mas também pode ser muito agressiva pelos resíduos derivados do petróleo que são gerados, trazendo, assim, consequências danosas ao meio ambiente (JORGE, 2009).

### 3.3.2.1. Destilação da micela

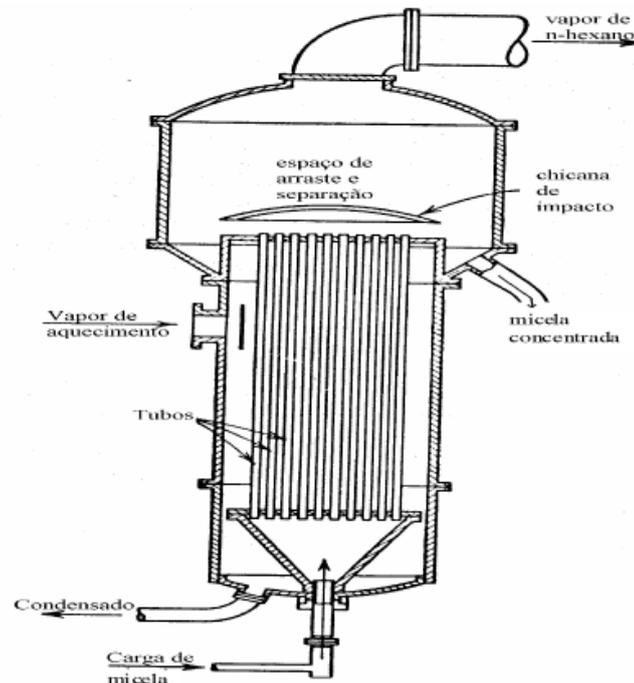
Como já comentado, uma micela é gerada pela mistura do óleo com o hexano, é uma solução soluto-solvente de compostos não miscíveis entre si. A destilação da micela tem como objetivo a separação do solvente e do óleo obtido através da destilação contínua, que geralmente acontece a vácuo entre temperaturas de 70 a 90°C (MARCOS et al., 2015). Esta separação é realizada após a micela passar por filtração para a remoção de finos presentes. O solvente residual no óleo após a destilação (em teor de 5%) é removido em processo de evaporação com insuflação de vapor direto (JORGE, 2009).

Usualmente o farelo resultante da extração passa por um dessolventizador-tostador para recuperar o solvente utilizado, onde ele já pré-aquecido é reutilizado no auxílio da destilação (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009). Nesta etapa, a temperatura de processo é superior do ponto de ebulição do solvente (em torno de 95°C), visto que a etapa visa não só a obtenção do farelo sem solvente, mas também a eliminação de microrganismos patogênicos e fatores antinutricionais como a tripsina. Essa garantia de descontaminação ocorre devido ao farelo ser direcionado à produção de ração animal, por exemplo, o que demanda de segurança alimentar (JORGE, 2009). Segundo Block e Barrera-Arellano (2009), a determinação das condições mais adequadas de operação de um projeto de destilação de uma planta extratora de óleo vegetal, se baseia em:

- ser mais simples e com menor número de equipamentos, assim reduzindo a manutenção e obtendo um “*lay-out*” mais prático;
- redução de incrustação, e conseqüentemente melhor separação;
- equipamentos eficientes que implicam em condições menos severas, como menor temperatura e vácuo no “*stripper*”;
- segurança de operação;
- otimização do consumo de vapor para evitar aquecimento e resfriamento consecutivo do óleo bruto, por exemplo, utilizando menor temperatura de “*stripping*” permite descartar o resfriamento na etapa de degomagem.

A Figura 7 exemplifica o processo convencional da destilação da micela em um evaporador, no qual, com o aquecimento da micela a partir do vapor de aquecimento, o solvente alcança seu ponto de ebulição e é separado do óleo condensado (PARAÍSO; ANDRADE; ZEMP, 2003).

Figura 7 - Evaporador típico da micela.



Fonte: (PARAÍSO; ANDRADE; ZEMP, 2003).

### 3.3.2.2. Recuperação do solvente

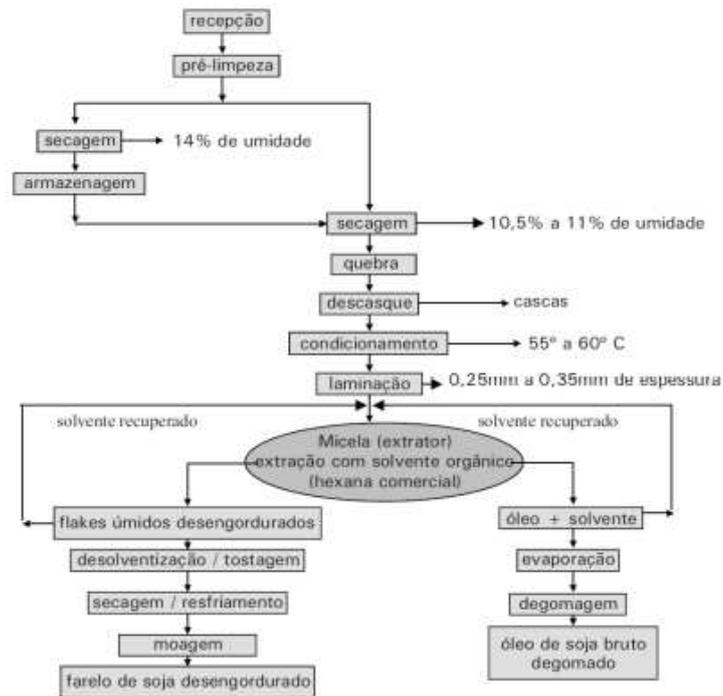
A dessolvenitização do farelo e da micela remove praticamente todo o solvente que foi empregado no processo e, como já comentado, pode ser reutilizado para a destilação da mistura óleo-solvente. A princípio, a remoção do solvente do produto presente, acontece em um evaporador que permite a sua remoção em, aproximadamente, 85%. Em seguida, tem-se uma segunda sub-etapa no “*stripper*” que faz a melhor separação (95% a 97%) e se obtém o fluido que é reaproveitado na destilação (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009). O produto de interesse da etapa, que ainda fica retido, é proveniente da mistura incondensável formada entre seus vapores e ar utilizados na separação por dessolvenitização (MARCOS et al., 2015). Para evitar a perda do composto, são utilizados compressores a frio ou colunas com óleo mineral, nos quais o solvente é absorvido pelo óleo em contracorrente em colunas de absorção (JORGE, 2009).

Ao fim da etapa, todo o solvente recuperado (mistura de solvente e água) vai para um separador por condensação onde é realizada a recuperação do solvente e posterior utilização na extração do óleo (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009).

A Figura 8 apresenta um esquema simplificado da extração do óleo de soja bruto e farelo desengordurado. O processo basicamente se baseia na recepção dos grãos na unidade

de beneficiamento, onde é realizado o controle de umidade, que, durante o processo, deve ser mínimo para facilitar as etapas subsequentes, por exemplo, a laminação e prensagem (mais favorável na ausência de água), então a extração físico-química em si acontece dando origem a micela e o farelo de soja como resíduo. A partir desses produtos é realizado todo o processo de separação do solvente para obtenção do produto adequado (MARCOS et al., 2015).

Figura 8 – Processo de obtenção de óleo de soja bruto e farelo desengordurado.

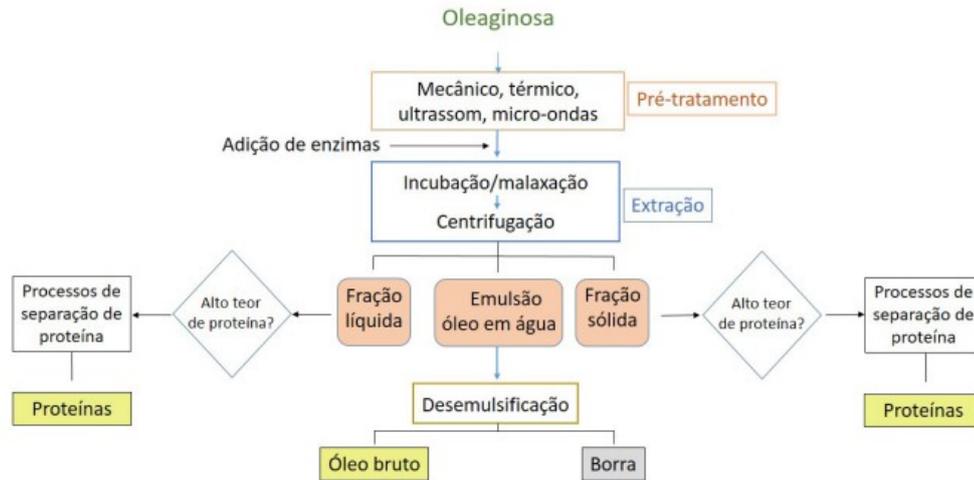


Fonte: (MARCOS et al., 2015).

### 3.3.3 Extração enzimática

Outro método que se enquadra nas principais formas de extração, é a extração enzimática. Esse tipo de processa utiliza enzimas para romper as paredes celulares, fazendo com que o óleo seja liberado e, assim, extraído (Figura 9). A seleção da enzima que vai ser mais bem aplicada no processo vai depender da espécie vegetal utilizada para extrair o óleo, visto que como já mencionado, o glóbulo de óleo é revestido por uma parede celular composta por polissacarídeos que por sua vez são ligados a uma proteína estrutural, demandando de um extrato enzimático com várias funções, por exemplo, celulases, amilases, proteases (Extração aquosa enzimática de óleo de soja (ECYCLE, [s.d.]; SANTOS; FERRARI, 2005).

Figura 9 – Esquema do processo de extração aquosa assistida por enzimas.



Fonte: (FAVARO et al., 2022).

É um processo que dá origem a um produto mais limpo, livre de compostos tóxicos e que prejudicam o óleo, além de demandar temperaturas mais baixas (entre 40°C e 60°C). Possuindo inconveniente do custo elevado das enzimas, e a formação indesejável da emulsão água-óleo ocorrente da presença dessas proteínas, fazendo com que outro processo seja necessário para se obter o produto de interesse (ECYCLE, [s.d.]).

### 3.3.4. Refino do óleo vegetal

Para alcançar um produto mais agradável para o consumo, o processo de refino tem como objetivo melhorar os óleos e gorduras ao ponto de suas características serem desejáveis para fins alimentícios (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009). O processo de refino consiste em um conjunto de etapas nas quais se faz a transição do óleo bruto para o óleo na forma comestível, pela remoção de compostos indesejáveis com o mínimo de dano ao óleo (JORGE, 2009). Embora exista o consumo do óleo na forma bruta, como o azeite de oliva, a maioria deles passa pelo refino para se obter um produto de maior qualidade (MARCOS et al., 2015). Esta etapa tem a finalidade de remover compostos não-triglicéridicos que são indesejáveis, garantindo sua estabilidade oxidativa, como também a aceitação no mercado (D'ARCE, 2006).

A etapa de extração resulta em um produto que contém compostos como ácidos graxos livres, fosfatídeos, esteróis e outros que não são desejáveis na formulação final do óleo

comestível (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009). A Tabela 7 apresenta o conteúdo desses componentes presente em menores proporções nos óleos de soja, palma e canola.

Tabela 7 – Processo de obtenção de óleo de soja bruto e farelo desengordurado.

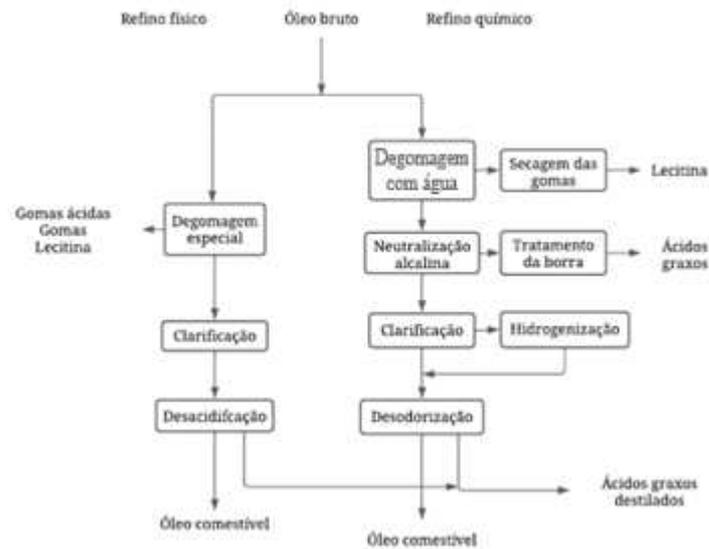
<b>Composto</b>	<b>Óleo de soja</b>	<b>Óleo de canola</b>	<b>Óleo de palma</b>
Ácidos Graxos Livres (AGL)	0,3-0,8%	0,3-1,0%	2,0-5,0%
Fosfolipídios	1,0-3,0%	0,5-3,5%	0,03-0,1%
Esteróis e álcoois	0,04-0,07%	0,04-0,6%	0,1-0,2%
Tocoferóis	0,06-0,2%	0,06-0,1%	0,05-0,1%
Carotenoides	40-50 ppm	25-70 ppm	500-800 ppm
Clorofila	1-2 ppm	5-30 ppm	-
Peróxidos (meq. de O <sub>2</sub> /kg de óleo)	<10	<10	1-5
Ferro	1-3 ppm	1-5 ppm	4-10 ppm
Cobre	0-30 ppm	0-30 ppm	0-50 ppm

Fonte: Adaptado de (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009).

Alguns destes componentes são desejáveis para os óleos comercializados, como os tocoferóis, que funcionam como antioxidante natural e garantem estabilidade aos componentes lipídicos. Por outro lado, os fosfatídeos, por exemplo, devem ser removidos, mesmo podendo promover proteção contra a oxidação. Isso porque eles precipitam no fundo dos tanques e alteram a cor do produto durante o processo de refino, o que altera a sua qualidade final (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009). Portanto, o propósito do refino se dá não só pela qualidade do produto, mas também pela garantia da segurança alimentar.

As principais etapas do processo de refino de óleos vegetais são: degomagem ou hidratação, neutralização ou desacidificação, branqueamento ou clarificação e desodorização (MARCOS et al., 2015). A Figura 10 apresenta as etapas do processo de refino nas diferentes formas (físico e químico). Ambos os processos possuem as mesmas etapas, o que difere entre eles é que o refino químico há a etapa de neutralização alcalina para remover os ácidos graxos livres e separação do sabão gerado. Enquanto o refino físico ou conhecido como refino a vapor, remove os mesmos e outros compostos indesejáveis na última etapa por destilação a vapor (CLAUSEN, 2001).

Figura 10 – Representação esquemática das etapas do processo de refino químico e físico.



Fonte: Adaptado de (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009).

Embora o refino químico seja o processo mais utilizado na indústria, ele traz algumas desvantagens, como a eliminação de certos compostos bioativos (tocoferóis e polifenóis que atuam como antioxidantes), além de demandar maior custo e gerar mais efluentes (GHARBY, 2022; GHAZANI; MARANGONI, 2013).

Em comparação ao refino químico, o físico permite minimizar a geração de resíduos químicos, o que leva também a um menor custo, por necessitar menos de agentes químicos no processo (como o hidróxido de sódio) (TASAN; DEMIRCI, 2005). Em contrapartida, o refino físico é limitado ao tipo de óleo a ser submetido, pois ele pode alterar a qualidade de óleos mais sensíveis, portanto, recomenda-se sua aplicação para produtos com maior acidez (GIOVACCHINO et al., 2002; TASAN; DEMIRCI, 2005). A Tabela 8 apresenta as principais diferenças entre os dois tipos de refino.

Tabela 8 – Vantagens e desvantagens do refino físico e químico.

	<b>Refino físico</b>	<b>Refino químico</b>
<b>Vantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menor custo de investimento;</li> <li>• Menos subprodutos produzidos;</li> <li>• Menor custo de energia;</li> <li>• Menos produtos químicos utilizados;</li> <li>• Ecologicamente correto;</li> <li>• Maior rendimento de óleo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Processo simples;</li> <li>• Processo eficiente na eliminação de ácidos graxos livres.</li> </ul>
<b>Desvantagens</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não adequado para todos os tipos de óleos;</li> <li>• Demanda de alta temperatura e vácuo;</li> <li>• Formação de produtos indesejados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produção de produtos secundários;</li> <li>• Processo caro;</li> <li>• Porcentagem alta de eliminação de óleo por arraste;</li> <li>• Formação de produtos indesejados.</li> </ul>

Fonte: Adaptado de (GHARBY, 2022).

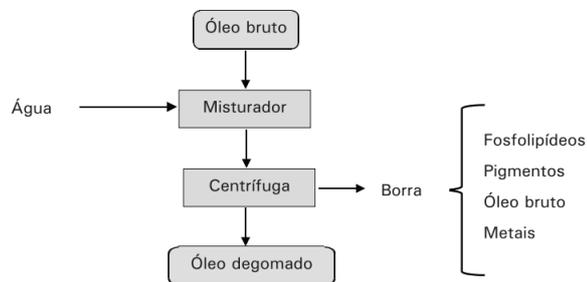
#### 3.3.4.1. Degomagem

Para garantir a homogeneidade do óleo, o processo de degomagem é empregado durante o refino. Este processo tem a finalidade de remover ou separar as gomas do óleo bruto, que são constituídas de proteínas, substâncias coloidais e fosfatídeos, como a lecitina que tem valor comercial (MARCOS et al., 2015). Além disso, é uma etapa que permite prevenir a sedimentação durante o armazenamento e transporte, e reduzir as perdas do refino. Seu princípio parte através da hidratação dos fosfolipídios e do material mucilaginoso, o que permite alcançar a redução da sua solubilidade e, assim, a remoção da fase aquosa (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009). É um processo que necessita ser aplicado mais rápido, pois o óleo pode ser retido por essas gomas que decantam nos tanques (D'ARCE, 2006).

Esta etapa acaba gerando um resíduo muito comercializado que é a lecitina, que possui uma mistura de 60% de fosfatídeos (lecitina, cefalina e fosfatidil-inositol), 38% de óleo e 2% de umidade. A lecitina é um surfactante que pode ser empregado na alimentação, o que acaba sendo economicamente vantajoso para a indústria (MARCOS et al., 2015). O método de degomagem mais comumente aplicado é a adição de, aproximadamente, 3% de água ao óleo bruto em aquecimento (60 a 70 °C) e agitação de 20 a 30 min. E assim, as gomas hidratáveis precipitam na solução alcançando sua separação (MARCOS et al., 2015).

Na degomagem ácida, realiza-se a remoção de gomas não-hidratáveis. Neste caso, a etapa consiste na adição de 0,1% a 0,3% em volume de ácido fosfórico concentrado no óleo bruto, sob agitação e temperatura entre 80 – 90°C, em um tempo de 5 min, fazendo com que convertam para gomas hidratáveis (JORGE, 2009). Isso acontece pois os fosfolipídios não hidratáveis contêm a presença de cátions ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) que são os principais responsáveis pela hidratabilidade dos fosfatídeos (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009). A Figura 11 apresenta um esquema da etapa de degomagem.

Figura 11 – Degomagem do óleo bruto.



Fonte: (MARCOS et al., 2015).

Como já mencionado, a degomagem é uma etapa do refino dos óleos vegetais que tem como propósito remover fosfatídios e compostos mucilaginosos. Os fosfatídios basicamente são como os triglicerídeos, apenas diferem na terceira hidroxila do glicerol, que está ligada a um grupamento contendo fósforo, e o que os definem de serem hidratáveis ou não é a posição em que os cátions estão ligados neste grupamento, e por essa razão é necessária a utilização do ácido no processo (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009).

Além dos processos mais comumente utilizados, há também alguns métodos de degomagem mais profundos, que são utilizados por indústrias que buscam reduzir o teor de

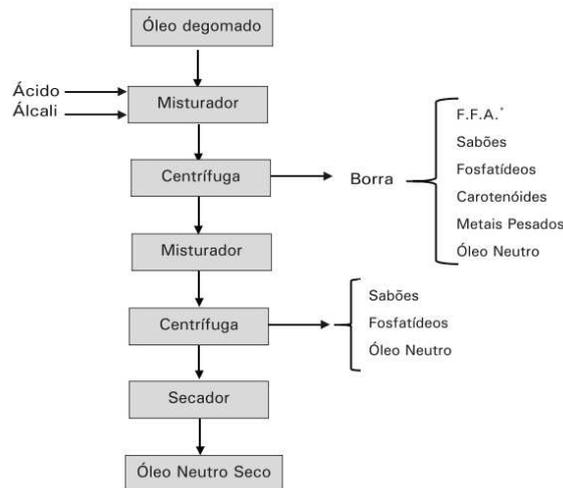
fósforo além do convencional. Block e Barrera-Arellano (2009) citam como os principais métodos especiais funcionam:

- **Super/Uni degomagem:** um processo patenteado pela *Unilever* em 1977, tem como princípio o refino físico do óleo vegetal. Ele se baseia, de uma forma geral, na utilização das gomas hidratáveis obtidas pela degomagem aquosa, que passa a ser insolúvel em óleo e permite a remoção das demais impurezas, como as gomas não-hidratáveis. Após a obtenção dos fosfatídeos hidratáveis, e do preparo prévio do óleo com ácido, elas novamente voltam ao tanque onde irá auxiliar na aglomeração dos não-hidratáveis. Sob agitação e com adição de água, há a formação das demais gomas e alcançando, assim, a separação total;
- **Degomagem TOP:** em 1989, este processo foi patenteado pela empresa *Van de Moortele*. Os complexos formados por fosfatídios e metais são reduzidos a sais metálicos insolúveis e fosfatídios através da utilização de um ácido forte. Isso faz com que os compostos sejam convertidos em hidratáveis por meio de uma neutralização parcial e, assim, removidos do óleo. A segunda etapa realizada em separadores centrífugos, permite a remoção eficiente das gomas hidratáveis com a mínima perda;
- **Degomagem enzimática:** processo conhecido como “Enzymax” e desenvolvido pela empresa Lurgi. Utiliza a enzima fosfolipase A2 que é obtida através de fermentação microbiana, o que torna este processo mais econômico. A enzima atua especificamente hidrolisando as ligações de ésteres dos ácidos graxos com o átomo de carbono central do glicerol nos fosfatídeos, um processo que não tem especificidade com relação ao tipo de fosfatídeo, conseguindo converter os não hidratáveis na forma hidratável, facilitando, assim, a separação com uma perda menor do que 10% da produção.
- **Degomagem SOFT:** processo mais moderno, criado com intuito de superar as desvantagens da degomagem convencional, e apresentando-se como um caminho mais viável economicamente. Ele utiliza na degomagem aquosa uma solução reativa com um agente complexante denominado como EDTA, contendo íons metálicos polivalentes, como cálcio e magnésio. Este processo permite a remoção de fosfatídeos residuais que convencionalmente não se consegue retirar.

### 3.3.4.2. Neutralização

Os ácidos graxos livres, fosfolipídios e complexos metálicos (como ferro, cálcio e magnésio) são as principais impurezas eliminadas na etapa de neutralização (JORGE, 2009) que, segundo Block e Barrera-Arellano (2009), são compostos que acabam por ser obtidos após a extração tanto mecânica (prensagem) quanto química (solvente). A adição de solução de álcalis, como hidróxido de sódio, no óleo a ser refinado sob agitação é responsável pela remoção de tais substâncias que são a causa da sua acidez, sendo um processo que ocorre na interface do óleo e da solução alcalina (MARCOS et al., 2015). Por acabar gerando uma variedade de compostos a serem removidos, há várias formas de realizar esta etapa (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009). A Figura 12 apresenta o esquema simplificado da neutralização.

Figura 12 – Neutralização do óleo degomado.



Fonte: (MARCOS et al., 2015).

O processo ocorre basicamente em duas etapas, a primeira é com a adição de ácido fosfórico concentrado sob aquecimento, com intuito de converter os fosfolipídios não hidratáveis na forma hidratável, etapa denominada como acondicionamento ácido, e a segunda é a própria neutralização já com a solução alcalina (na maioria das vezes, soda cáustica diluída), em que se forma o precipitado a ser removido do produto (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009).

Na maioria das vezes, este é um processo que ocorre de forma contínua gerando a borra pela centrifugação (*soapstock*), que também pode ser destinada a comercialização para

indústrias químicas na recuperação de ácidos graxos. No tratamento deste resíduo, a água de lavagem gerada é obrigatoriamente destinada ao tratamento devido a sua alta carga poluente (d'ARCE, 2006).

### 3.3.4.3. Branqueamento

A etapa de branqueamento ou clarificação, consiste na redução da concentração de corantes naturais (clorofila e carotenoides) nos óleos neutros (JORGE, 2009). Tanto a etapa de degomagem quanto a neutralização removem parcialmente a quantidade de pigmentos presentes no óleo, porém, visando uma maior qualidade, o processo de branqueamento é empregado para se obter um produto mais incolor e com menor teor de compostos indesejados (MARCOS et al., 2015). De forma resumida, a clarificação tem como objetivo adsorver as impurezas residuais da neutralização alcalina e a clorofila que é um potente causador da oxidação do óleo e parte dos pigmentos que deixam o produto mais turvo (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009). A forma de se avaliar a qualidade e o custo do processo, é através do critério de quantificação dos parâmetros do óleo, antes e depois do branqueamento. A Tabela 9 apresenta a diferença dos parâmetros de qualidade com a presença desta etapa.

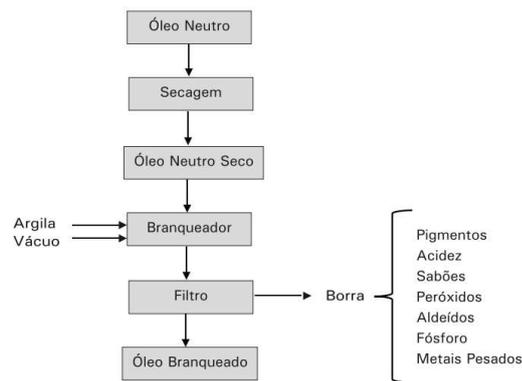
Tabela 9 – Parâmetros de qualidade do óleo de canola antes e depois do branqueamento.

Qualidade	Óleo na entrada			Óleo na saída
	Bom	Regular	Deficiente	
Clorofila (ppm)	0,3-1,0	1,0-3,0	>3,0	<0,05
Fósforo (ppm)	5,0-10,0	10,0-20,0	>20,0	<2,0
Ferro (ppm)	2,0-5,0	5,0-8,0	>8,0	<0,20
Cobre (ppm)	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5	<0,05
Sabões (ppm)	20-50	50-100	>100	=0,0
Índice de peróxido	1,0-3,0	3,0-7,0	>7,0	=0,0 meq/kg de óleo
Índice de anisidina	0,5-1,5	1,5-3,5	>3,5	<6,0

Fonte: Adaptado de (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009).

O processo de branqueamento se baseia no fenômeno de adsorção dos corantes por terras clarificantes, naturais ou ativadas, como as argilas ativadas, constituídas por óxidos como  $\text{SO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (JORGE, 2009). Nesta etapa, o óleo neutralizado geralmente chega com umidade e, para o branqueamento, é necessário antes uma etapa de secagem para se obter a maior eficiência. Após a secagem, a terra é misturada ao óleo por agitação, sob temperatura de  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , por 20-30 min. O produto, então, é resfriado e filtrado em filtro-prensa (MARCOS et al., 2015). A filtragem do óleo acaba gerando um resíduo de grande espessura, denominado como “bolo”, que usualmente é desprezado (JORGE, 2009). As terras utilizadas retêm parte do óleo tratado (cerca de 35%) e, geralmente são misturadas e introduzidas ao solo como descarte limpo. A Figura 13 representa o esquema resumido do processo de branqueamento (d’ARCE, 2006).

Figura 13 – Branqueamento do óleo neutro seco.



Fonte: (MARCOS et al., 2015).

#### 3.3.4.4. Desodorização

A última etapa do refino tem como finalidade a remoção dos sabores e odores indesejáveis do óleo branqueado, denominado como desodorização (JORGE, 2009). É basicamente uma operação de destilação utilizando vapor direto, que funciona como arraste dos compostos voláteis presentes, em uma redução de pressão, que permite utilizar uma temperatura que não cause alterações no produto (BLOCK; BARRERA-ARELLANO, 2009). Na produção do óleo de soja, por exemplo, o resíduo gerado pelo arraste, denominado como DDOS (destilado do desodorizador de óleo de soja), é comercializado para recuperação de tocoferóis e esteróis pela indústria farmacêutica (D’ARCE, 2006).

É uma operação importante pois através dela, além de alcançar a desodorização total do óleo, é possível alcançar a quase completa eliminação dos ácidos graxos livres residuais decorrentes das condições de temperatura e pressão utilizadas no processo (MARCOS et al., 2015). Além disso, segundo Block e Barrera-Arellano (2009) essa etapa também permite melhorar o sabor, a cor, a estabilidade e o aspecto do produto, se as etapas que antecedem forem realizadas da melhor forma.

### 3.5. MÉTODOS ALTERNATIVOS

Tendo conhecimento dos processos convencionais de extração e refino dos óleos vegetais, é possível observar a grande geração de resíduos, e altos custos no decorrer das etapas, além das várias áreas que podem ser aperfeiçoadas. E a indústria de alimentos está constantemente tentando reduzir os custos e o tempo de fabricação e melhorar a qualidade de seus produtos. Por isso, a demanda por métodos que otimizam os processos industriais está sempre crescendo. Na área de obtenção de óleos, essas mudanças podem ser aplicadas em diversas áreas, inclusive na etapa de extração.

Como já foi citado, a princípio, a extração do óleo vegetal era realizada apenas com a prensagem mecânica, na qual as sementes eram prensadas “forçando” a saída do óleo contido no seu interior. Entretanto, com o aperfeiçoamento dos processos industriais, foi introduzida a extração físico-química realizada com solventes orgânicos, em que a torta obtida na prensagem possuía um teor de lipídeos em torno de 5%, enquanto a aplicação do solvente gerava uma torta com, aproximadamente, 0,5% de óleo residual (JORGE, 2009; MARCOS et al., 2015). Esses são processos ainda utilizados e estudados atualmente.

Por decorrência disso, a implementação de solventes alternativos, que atendem aos critérios necessários para o processo, vem sendo estudados, buscando-se substâncias renováveis que não agridam o meio ambiente e apresentem nenhuma ou quase nenhuma toxicidade. Exemplo desses solventes são os álcoois de cadeia curta como o etanol, isopropanol e o álcool isopropílico, além da aplicação de gases supercríticos como o CO<sub>2</sub>, que é um gás inerte e não inflamável, sendo muito eficiente em transferência de massa.

### 3.5.6. Aplicação de alternativas no processo de extração

Um tipo de método alternativo mais usual seria a substituição do solvente normalmente mais utilizado (hexano) por compostos menos tóxicos ou com menor impacto econômico na indústria, na etapa de extração.

Os solventes alternativos que foram utilizados em estudos são o álcool etílico e o álcool isopropílico (álcoois de cadeia curta), por apresentarem baixo ponto de ebulição e toxicidade, serem menos inflamáveis e possuírem alta polaridade (DE MENEZES et al., 2021). O etanol se apresenta como uma alternativa viável pelo seu baixo custo e por ser um composto renovável, possuindo grande produção no Brasil (TOMAZIN JÚNIOR, 2008). Além do solvente, De Menezes et al. (2021) avaliaram a temperatura e o tempo gasto para o processo de extração do óleo de semente de uva bordô. Os resultados mostraram que a eficiência da extração utilizando esses dois solventes foi alta quando comparada com estudo feito com hexano no processo com sementes de uva Cabernet Sauvignon e Bordô pelo método de Soxhlet, porém em temperaturas específicas (FRETIAS; LAGO, 2007; MENEZES, 2014). Para o álcool isopropílico, a melhor condição de extração foi para sementes secas em temperaturas mais altas (80 °C) em períodos de 6 h, obtendo-se 17% de teor de óleo, enquanto para o álcool etílico a faixa de temperatura obtida é próxima dos 60 °C e em um período de 14 h com teor de óleo de 18% (DE MENEZES et al., 2021).

O álcool etílico e o álcool isopropílico possuem estrutura molecular pequena, o que leva a uma maior facilidade de entrada nas sementes e, assim, melhor extração do óleo bruto (LOWRY; RICHARDSON, 1976). Além disso, o álcool etílico apresenta uma constante dielétrica (ou permissividade relativa) (24,30) que é menor comparada com a água à 25 °C (78,36), favorecendo a extração de substâncias de polaridade intermediária (DE MEDEIROS; KANIS, 2010; SOUZA, 2013).

Os teores de óleo obtidos no estudo do Menezes (2014) foram semelhantes aos resultados da extração por Soxhlet e o diclorometano como solvente, de sementes de uva Cabernet (20%) e bordô (16,5%). Quando comparado com a extração utilizando o solvente hexano em um tempo de extração de 20 h, os teores de óleo foram menores.

De forma geral, a utilização desses solventes resultou em óleo com teor lipídico mais elevado, mais puros e com menor necessidade de refino. Porém, há uma faixa limite de temperatura para que ocorra essa maior eficiência, demandando maior gasto de energia e mais tempo, quando comparado com solventes convencionais como o n-hexano, o que sugere maior sensibilidade para obtenção do óleo (SETH et al., 2007).

Em outros trabalhos foi analisado o efeito de diferentes solventes na extração do óleo de baru sobre as características dos óleos obtidos (SOUZA; MIRANDA; SOUSA, 2019). Verificou-se que o isopropanol é um possível substituto por apresentar caráter menos tóxico e inflamável em comparação ao hexano, e apresenta eficiência na extração de óleo de soja, algodão e farelo de arroz (BAKER; SULLIVAN, 1983; GANDHI et al., 2003; HARRIS; HAYWARD; LAMB, 1949). A Tabela 10 apresenta as características do óleo da amêndoa de baru obtido pela extração físico-química utilizando diferentes solventes orgânicos e comparados com a literatura.

Tabela 10 – Caracterização do óleo da amêndoa de baru obtido pela extração com diferentes solventes e relacionados com dados referenciais do óleo de baru e amendoim.

	Experimental			Referências		
	Hexano	Etanol	Isopropanol	Baru (LIMA, 2012)	Baru (BORGES, 2013)	Amendoim (LIMA, 2012)
Acidez (mg KOH/g)	0,42	0,97	0,69	0,6	0,28	0,348
Densidade (g/mL)	0,92	0,98	0,9	0,91	-	0,91
Saponificação (mg KOH/g)	191,5	198,4	250,3	190	-	195,49
Iodo (mg I/100g)	83,84	92,18	88,9	90,44	-	95,58
Peróxido (meq/Kg de óleo)	0	0	0	2,43	2,45	-
Índice de refração	1,467	1,390	1,441	1,463	-	1,463
DPPH (mg ext/mL)	0,03	0,06	0,22	-	0,19	-

\*DPPH: método fotolorímetro que baseia no sequestro do radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazila (DPPH) pelos antioxidantes (potencial antioxidante).

Fonte: (SOUZA; MIRANDA; SOUSA, 2019).

Outros substitutos verdes avaliados na extração de óleo vegetal foram os solventes acetato de etila e 1-butanol, estudados por Gasparetto et al. (2022) como alternativa ao hexano e o etanol na extração do óleo de soja por *Soxhlet* em escala laboratorial. Em relação ao

comportamento dos solventes em contato com os lipídeos, foi observado que ambos possuem forças atrativas e repulsivas semelhantes ao hexano sobre os triacilgliceróis, além da semelhança na densidade na mistura soluto-solvente, o que acaba afetando diretamente no coeficiente de atividade de diluição infinita.

Como apresentado na Tabela 11, o rendimento das extrações no trabalho citado anteriormente resultou em valores semelhantes quando comparado com a literatura (em torno de 20%) e nos resultados obtidos para o hexano convencional (CLAUX et al., 2021; GASPARETTO et al., 2022).

Tabela 11 – Rendimento da extração e perfil de ácidos graxos do óleo de soja extraído por hexano, acetato de etila e 1-butanol.

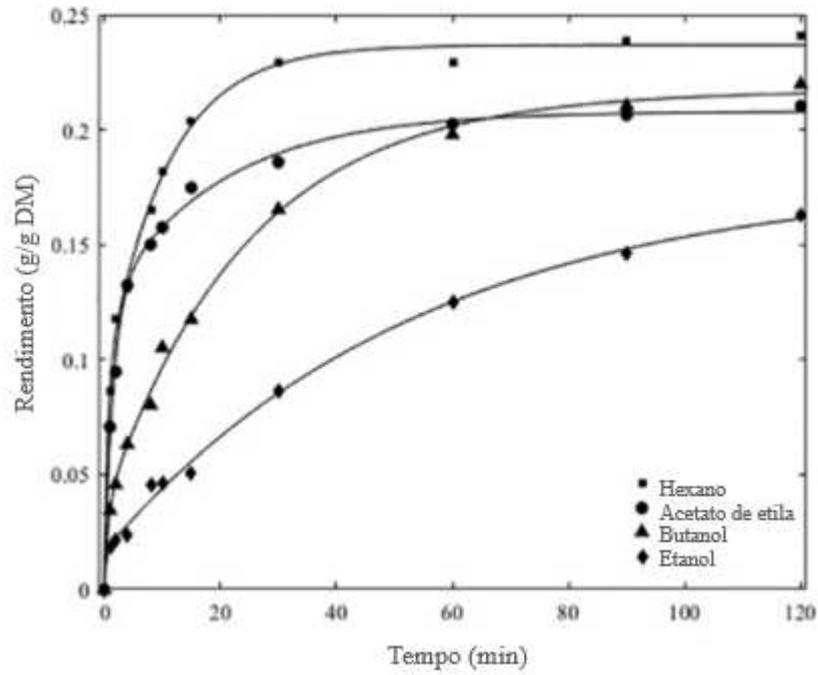
<b>Itens</b>	<b>Hexano</b>	<b>Acetato de etila</b>	<b>1-butanol</b>
<b>Rendimento de extração (g/g de massa seca)</b>	24,28±1,58	25,33±0,44	27,86±1,14
<b>Ácidos graxos</b>	<b>(% relativa)</b>		
Palmítico	10,84±0,12	10,86±0,14	11,08±0,08
Estearíco	3,81±0,09	3,88±0,01	3,78±0,05
Oleico	23,18±0,89	22,14±0,26	21,73±0,35
Linoleico	55,07±0,84	55,66±0,20	56,43±0,48
Linolênico	5,27±0,09	5,79±0,05	5,53±0,21
Outros	1,83±0,26	1,67±0,04	1,45±0,45

Fonte: Adaptado de (GASPARETTO et al., 2022).

Como a eficiência da extração está diretamente relacionada com a temperatura do processo, o elevado rendimento obtido utilizando o 1-butanol é devido seu alto ponto de ebulição uma vez que a extração de *Soxhlet* deve trabalhar no ponto de ebulição do solvente (SANTOS et al., 2021).

Em contrapartida, o acetato de etila obteve uma curva cinética semelhante ao hexano no início da extração, porém foi reduzindo ao longo do processo (Figura 14). Esse comportamento se deve principalmente a viscosidade do solvente utilizado, que afeta diretamente a taxa de extração devido ao coeficiente de difusão que é dependente da viscosidade e, conseqüentemente, dificulta a migração do soluto no meio. E dentre todos os solventes utilizados por Gasparetto et al. (2022), o hexano apresenta a menor viscosidade.

Figura 14 – Rendimentos experimentais e previstos de extração para acetato de etila, 1-butanol, etanol e hexano a 328,14 K utilizando a relação solvente-sólido.



Fonte:(GASPARETTO et al., 2022).

Os resultados que foram obtidos por Gasparetto et al. (2022) acabaram mostrando que os solventes alternativos utilizados, obtiveram um produto com características semelhantes às do óleo extraído com hexano. O acetato de etila se apresentou como melhor candidato de substituição devido à elevada extração e seu ponto de ebulição mais baixo, enquanto o 1-butanol apresentou melhor capacidade de solubilidade do que o etanol para o óleo de soja.

Uma outra substância orgânica que foi recentemente descoberta como solvente e que possui natureza biológica é o 2-metiloxolano (2-MeOx) ou 2-metiltetraidrofurano (2-MeTHF), que apresenta ponto de ebulição compatível aos solventes utilizados (80°C), e menos nocivo à saúde (CLAUX et al., 2021). Sendo um solvente com uma exposição diária permitida (de 50 mg/dia) superior ao hexano (2,9 mg/dia), de acordo com as diretrizes do Conselho Internacional de Harmonização de Requisitos Técnicos em Produtos Farmacêuticos para Uso Humano (ICH).

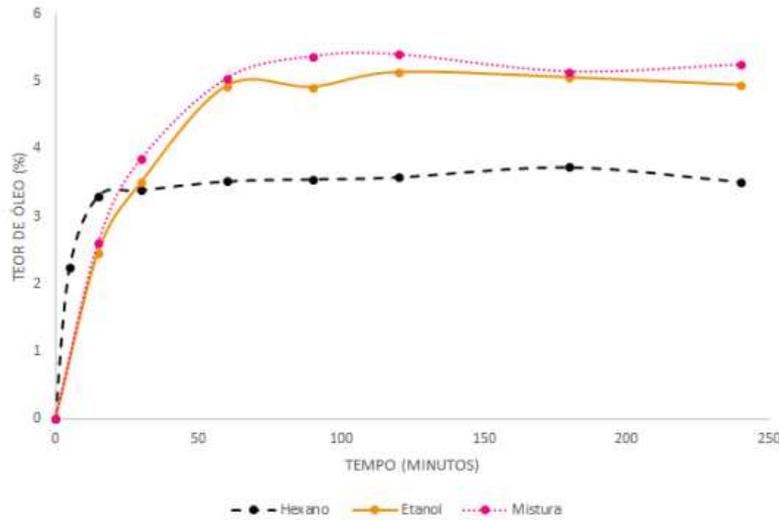
Entretanto, o impacto econômico acaba se tornando uma preocupação, devido ao seu alto preço no mercado (7-9 euros/kg, enquanto o hexano fica em torno de 0,8-1,0 euros/kg), e ao custo adicional de energia necessário na separação da micela proveniente do seu ponto de

ebulição maior, o que acarretaria um custo maior no processo de recuperação (RAPINEL et al., 2020; SICAIRE et al., 2015). Tais fatores podem ser compensados pela elevada eficiência na extração (maior produtividade) e melhor recuperação do solvente devido a sua ligeira afinidade com compostos polares (CLAUX et al., 2021). Portanto, por causa da escassez de estudos em relação a utilização do 2-MeOx como solvente substituto, uma maior exploração no processo se torna necessária para permitir uma adaptação da substância que é menos agressiva tanto a saúde humana quanto ao meio ambiente.

Um outro caminho na redução de custos com solventes e na redução do uso de solventes de alta toxicidade, seria o uso de co-solventes como o etanol. De maneira geral, seria a substituição de uma fração do hexano por etanol, que a princípio possui certa dificuldade em extrair sozinho o óleo da matéria-prima por apresentar uma extremidade polar. Tal mudança permitiria que o solvente alternativo tenha maior contato com o óleo, tornando-o mais miscível, ou seja, a afinidade entre solvente-soluto aumenta e, conseqüentemente, sua interação também aumentará melhorando o rendimento da extração (LONGO et al., 2020).

Neste sentido Longo et al. (2020) realizou um estudo da extração do óleo de café verde em banho ultrassônico utilizando proporções solvente/co-solvente de: 1:0, 1:1 e 0:1, e obteve a cinética de extração apresentada no Figura 15. Observou-se que a extração feita com hexano puro teve início em 5 min e atinge a saturação em 60 min, enquanto para a mistura e para o etanol puro, o tempo foi de 15 min e necessitou de 120 min para atingir a saturação. Essa diferença é devida à maior afinidade do hexano com a fração lipídica (mais apolar) fazendo com que o processo seja mais fácil. Em contrapartida, o teor de óleo atingido para o etanol como solvente e co-solvente foi superior. Devido aos compostos polares presentes no grão de café que o etanol é capaz de extrair e que não foram removidos pela micela do hexano.

Figura 15 – Curvas cinéticas de extração.



Fonte: (LONGO et al., 2020).

Analisando a viabilidade de se utilizar o etanol como co-solvente para extração de óleo do café, os autores realizaram o processo em diferentes proporções com o hexano, sendo (hexano/etanol): 0:1, 0,25:0,75, 0,5:0,5, 0,75:0,25 e 1:0. A Tabela 12 apresenta os teores de óleo obtidos para cada caso avaliado.

Tabela 12 – Rendimento de óleo para diferentes porcentagens de etanol como co-solvente.

Nº da amostra	% Etanol	Teor de óleo bruto (%)
1	0	4,09
2	25	5,95
3	50	4,67
4	75	5,52
5	100	3,78

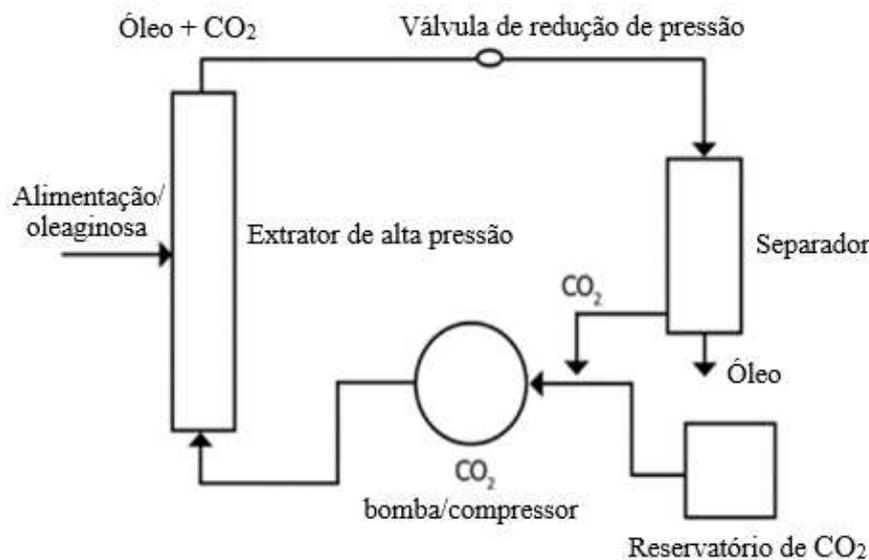
Fonte: (LONGO et al., 2020).

Pelos dados observados, o melhor rendimento de óleo bruto obtido por Longo et al. (2020) foi para a proporção de 25% e 75% de etanol. Além disso, em todos os casos, foi obtido rendimento maior do que quando utilizado hexano puro como solvente (4,09%). Porém, deve-se ressaltar que junto com o óleo bruto outros compostos polares foram retidos juntos, e por isso, obteve-se um teor superior. Isso se deve a propriedade polar do etanol que faz com que outros compostos sejam solubilizados junto.

Decorrente disso, o uso do etanol como co-solvente é mais viável do que a utilização pura do mesmo, uma vez que em uma quantidade de 25% de etanol adicionado ao hexano, Longo et al. (2020) obtiveram resultados semelhantes àquele alcançados com hexano puro após a evaporação. Além disso, os subprodutos polares retidos na extração podem ser utilizados em outras aplicações na área de alimentos e na indústria farmacêutica, por exemplo.

Outra forma de extração é o método de extração por fluido supercrítico, que utiliza normalmente o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) como extrator, por apresentar propriedades adequadas à obtenção do óleo a partir da matéria-prima vegetal, como ser inerte, não polar, não inflamável e possuir parâmetros críticos de baixo valor (LOPES, 2022; ZHOU et al., 2021). Esta forma de extração apresenta a vantagem de não oferecer nenhum risco de contaminação por solventes e supera algumas limitações de extração convencional, como maior difusividade e maior rendimento de extração (AMEER; KWON; SHAHBAZ, 2017). Ela também permite realizar o processo em menor tempo pela penetração na matriz mais eficiente, uma vez que possui densidade semelhante à de um líquido e a compressibilidade de um gás (PUNIA et al., 2021). A Figura 16 apresenta um esquema do processo de extração de óleo utilizando o dióxido de carbono supercrítico.

Figura 16 - Representação esquemática de extração de óleo vegetal por dióxido de carbono supercrítico.

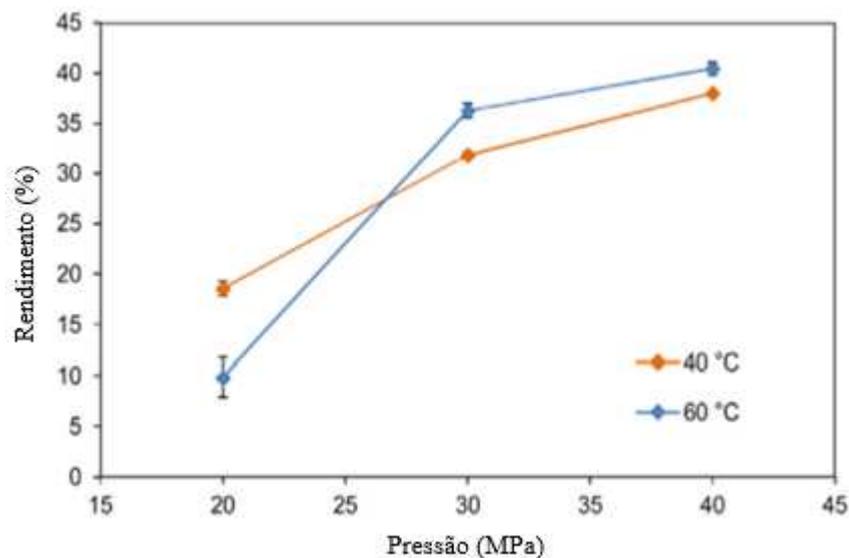


Fonte: (DUNFORD, 2016).

Salinas et al. (2020) avaliaram o rendimento da extração por CO<sub>2</sub> supercrítico do óleo de amêndoa chañar que é comumente descartada como resíduo e possui alto teor de óleo e proteínas. O processo de extração foi realizado em diferentes temperaturas e pressões, o que afetou significativamente o rendimento do óleo obtido.

Como apresentado na Figura 17, o maior rendimento global foi obtido na temperatura de 60°C em maior valor de pressão. O aumento da pressão resulta em uma maior solubilidade dos óleos vegetais proveniente do aumento de solvatação do CO<sub>2</sub>, o que permite a permeabilidade do solvente na matriz oleaginosa (AL-RAWI et al., 2013). Com esse rendimento global, foi possível obter a recuperação do teor lipídico total do alimento que foi de 90,6% em 120 min de extração.

Figura 17 - Rendimento global do óleo de sementes de amêndoas chañar obtido pela SFE em diferentes condições de temperatura e pressão.



Fonte: Adaptado (SALINAS et al., 2020).

Assim como realizado para extração do óleo de amêndoa de pêssego, o CO<sub>2</sub> na extração da amêndoa chañar foi eficiente para solubilizar o óleo (MEZZOMO; MARTÍNEZ; FERREIRA, 2009). Vale ressaltar que, após a extração supercrítica, os sólidos residuais ficam livres de solvente e possuem uma quantidade alta de proteínas, permitindo seu uso como subproduto para nutrição humana ou animal.

Em resumo, o etanol e o isopropanol têm apresentado como uma escolha adequada na substituição do hexano, para extração de óleo vegetal, devido ao seu caráter sustentável e bom

rendimento de extração, sendo que o etanol se sobressai por também apresentar baixo custo de obtenção e boa reprodutibilidade, já que o Brasil possui grande produção de cana-de-açúcar (CETESB, 2023). Entretanto, o isopropanol apresenta ponto de ebulição superior ao hexano (82,4°C), conseqüentemente, o processo demanda maiores custos tanto na extração (em que, geralmente, ocorre próximo ao ponto de ebulição do solvente, reduzindo a viscosidade e aumentando a solubilidade do óleo), como também na recuperação do solvente, que ocorre no ponto da mudança do estado de líquido para vapor (DALMOLIN, 2009; GABRIEL, 2020; SALLUM, 2023). Já o etanol possui o inconveniente de extrair, junto com o óleo, compostos indesejáveis (como proteínas e fosfatídeos) em decorrência do seu caráter polar (EFTHYMIOPOULOS et al., 2018). Portanto, a aplicação de tais solventes necessita de algumas alterações no processo, que através do rendimento de extração obtido, dirá, em termos econômicos, se compensa ou não a substituição.

Como comentado, a eficiência da extração em si, está relacionada com a temperatura em que ocorre o processo, sendo que, quanto maior a temperatura, maior a solubilidade do óleo e, assim, melhor a extração. Isso justifica a eficácia do 1-butanol no rendimento do processo, que ocorre próximo do seu alto ponto de ebulição. Em contrapartida, altas temperaturas podem acarretar na decomposição do óleo obtido, além da demanda maior de energia que leva ao aumento de custo para a indústria, tornando uma desvantagem da sua aplicação. Apesar de apresentar rendimento menor que o butanol, a literatura demonstrou que o acetato de etila apresentou-se como melhor substituto do hexano devido ao seu ponto de ebulição baixo, levando a uma boa proporcionalidade entre o custo de energia necessário e o teor de óleo extraído (GASPARETTO et al., 2022).

A aplicação de co-solvente apresentou-se como bom candidato dos métodos alternativos, visto que seu rendimento foi superior quando comparado com o solvente puro, tanto o etanol quanto o hexano. E, é um processo que pode ocorrer em temperaturas mais baixas do que geralmente é utilizado (podendo ser realizado à 60°C) (GABRIEL, 2020). O inconveniente vem do arraste de compostos polares que não são desejáveis na obtenção do óleo, o que pode trazer custos na etapa do refino do produto, além, também, da ainda utilização do hexano, mesmo que em concentrações menores.

A aplicação de fluido supercrítico se apresenta como eficiente em todo o processo de obtenção de óleo vegetal, visto que o produto resultante demanda menor tempo e elimina a etapa de destilação da micela e recuperação do solvente, devido à obtenção do óleo mais puro (livres de solvente). A desvantagem do método vem da necessidade de controle de pressão e temperatura mais preciso, que acarreta equipamentos mais sofisticados e com menor

flexibilidade de manuseio. Em relação ao custo do emprego da tecnologia, em um estudo foi realizada a análise da viabilidade na extração de óleo da casca de laranja, em que é visto que a aplicação é economicamente vantajosa devido à alta eficiência e produtividade na extração (ALMEIDA, 2019). Em resumo, sua aplicação é viável pelo lucro proveniente da sua eficiência, porém, é necessário maior controle de processo para que se torne uma eficiência padrão.

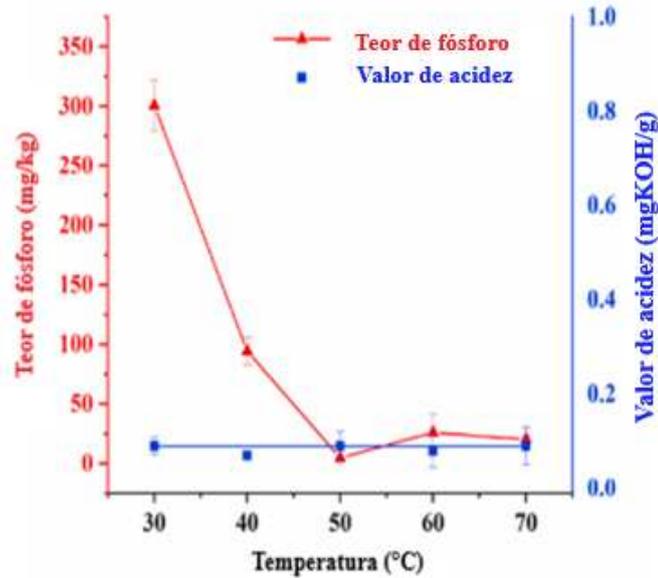
### 3.5.7. Aplicação de alternativas no processo de refino

Na etapa de refino para obtenção de óleos vegetais, que basicamente consiste no beneficiamento do óleo após a extração, também há a aplicação de diversos métodos inovadores com intuito de melhorar o processo ou garantir melhor qualidade do produto.

No estudo desenvolvido por Wang et al. (2021), foram analisadas as etapas de degomagem e desacidificação do óleo de milho de forma simultânea, em uma única etapa, utilizando solução alcalina aquosa, e observando os parâmetros que podem influenciar no processo como: temperatura, tempo e concentração da micela óleo-hexano.

Como apresentado pela Figura 18, para o processo de desacidificação e degomagem simultâneas, a temperatura mais adequada seria de aproximadamente 50°C, por não apresentar variação do teor de fósforo em temperaturas superiores (WANG et al., 2021). Isso mostrou que esse valor de temperatura apresentou ser melhor quando comparado ao método tradicional de refino (80-95°C) (ADHAMI; ASADOLLAHZADEH; GHAZIZADEH, 2019).

Figura 18 – Efeito da temperatura de reação no processo simultâneo. Condições de reação: 40 g/100g a concentração de óleo micela, 30 g/100g excesso de álcali, e 10 °Bé concentração de álcali a 150 rpm e 60 min.

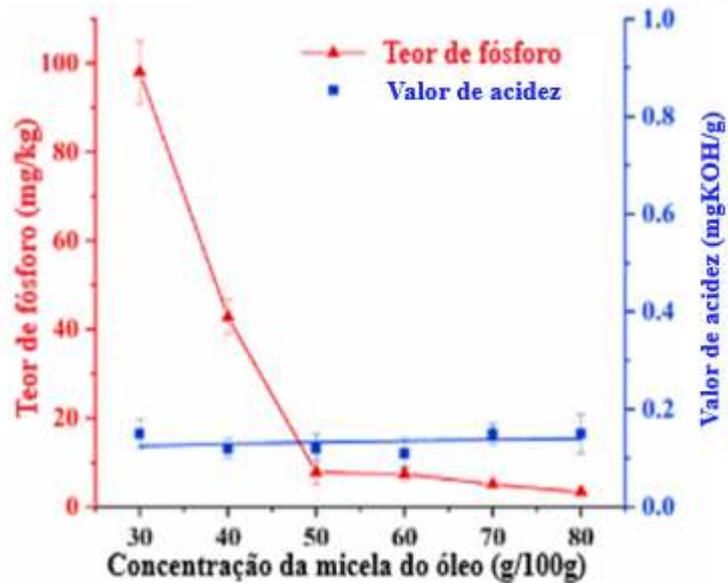


Fonte: Adaptado de (WANG et al., 2021).

Nas etapas de degomagem e desacidificação, a viscosidade e a entalpia do sistema podem influenciar na sua eficiência, e a concentração da micela permite reduzir tais parâmetros trazendo vantagens para o processo (BELTING et al., 2014).

Como apresentado na Figura 19, no estudo de Wang et al. (2021), a acidez do óleo se manteve baixa mesmo em baixas concentrações da micela, trazendo um valor menor que o padrão para óleo comestível ( $<0,5$  mgKOH/g), o que indica a boa qualidade de desacidificação no método estudado. O teor de fósforo apresentou valores mais baixos em concentrações acima de 60g/100g da micela. Esse comportamento ocorre em decorrência da alta solubilidade que o hexano possui em relação aos fosfolipídeos e alcalinos, devido a alteração da viscosidade do sistema por parte da micela. Porém, o nível baixo do teor de fósforo em concentrações altas da micela, apresentou redução na produtividade pelo método estudado.

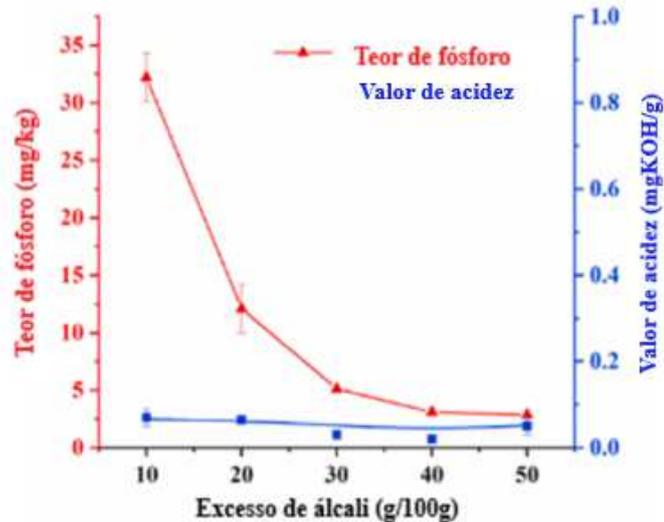
Figura 19 – Efeito da concentração de micela de óleo no processo simultâneo de degomagem e desacidificação do óleo de milho. Condições de reação: 30 g/100g de excesso de álcali, 10 °Bé concentração de álcali e 150 rpm a 50 °C por 60 min.



Fonte: Adaptado de (WANG et al., 2021).

Para controle de saponificação do óleo e aglomeração de outras impurezas, o álcali foi aplicado na concentração de 10-50g/100g em excesso no processo (expresso em porcentagem teórica da solução alcalina). Os fosfolipídeos hidratados se dissociaram pelo NaOH e formaram sais de sódio solúveis em água, facilitando sua remoção do óleo (DIJKSTRA, 2017). Como podemos observar na Figura 20, a melhor concentração do excesso de álcali foi de aproximadamente 30g/100g (10 °Bé).

Figura 20 – Efeito do excesso de alcalino no processo simultâneo de degomagem e desacidificação da micela óleo-hexano de milho. Condições de reação: 50 g/100g de concentração de óleo micela, 10 °Bé concentração de álcali e 150 rpm a 50 °C por 60 min.



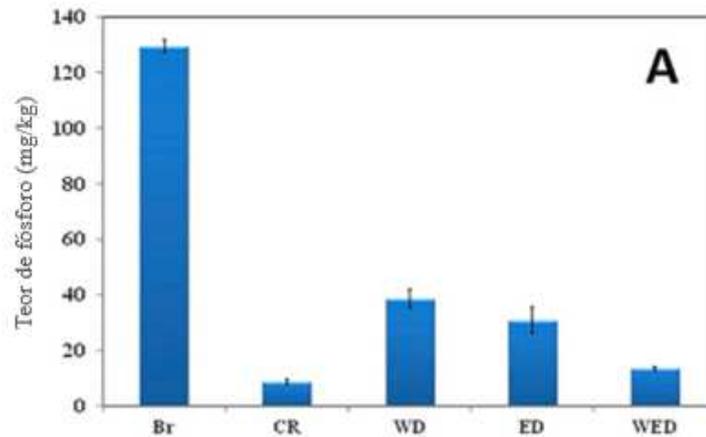
Fonte: Adaptado de (WANG et al., 2021).

A aplicação da degomagem enzimática garante várias vantagens quando comparada com a convencional, como: maior rendimento e redução de resíduos o que causa um impacto ambiental positivo (WANG, LING et al., 2021). As fosfolipases são apresentadas com maior eficiência dentre as enzimas utilizadas no processo, mais especificamente a fosfolipase C, que possui a capacidade de hidrolisar a ligação fosfodiéster dos fosfolipídios e formar os diacilgliceróis (DAG's), que por sua vez fornecem substâncias que promovem a biossíntese de ácidos graxos importantes como o ômega-9, promovendo um valor nutricional agregado superior aos triacilgliceróis (TAG's) (PERDOMO et al., 2015a; XIANG et al., 2020).

Eddeheck et al. (2023), analisou a aplicação de uma nova enzima fosfolipase C recombinante, que possui característica termoestável e capacidade de hidrolisar completamente fosfatídios, utilizando a bactéria *Bacillus thuringiensis* PL<sub>14</sub>, na degomagem enzimática (por apresentar como uma solução ecológica em processos industriais) do óleo bruto de soja. Nesta investigação, foram realizados quatro processos diferentes: a degomagem enzimática (ED), a degomagem aquosa (WD), uma degomagem enzimática em água utilizando 3% p/p da enzima junto com uma solução de água de 3% p/p (WED), o refino químico completo do óleo bruto (CR). E, junto com a amostra sem nenhum processo (Br), foram analisados e comparados os resultados obtidos. A avaliação da eficiência do processo

foi baseada no parâmetro de teor de DAG obtido e diminuição de fósforo. A Figura 21 apresenta o teor de fósforo determinado nos quatro processos realizados.

Figura 21 – Teor de fósforo (mg/kg) do óleo bruto de soja (Br), do óleo após refino químico (CR), após degomagem aquosa (WD), degomagem enzimática (ED) e degomagem enzimática em água (WED).

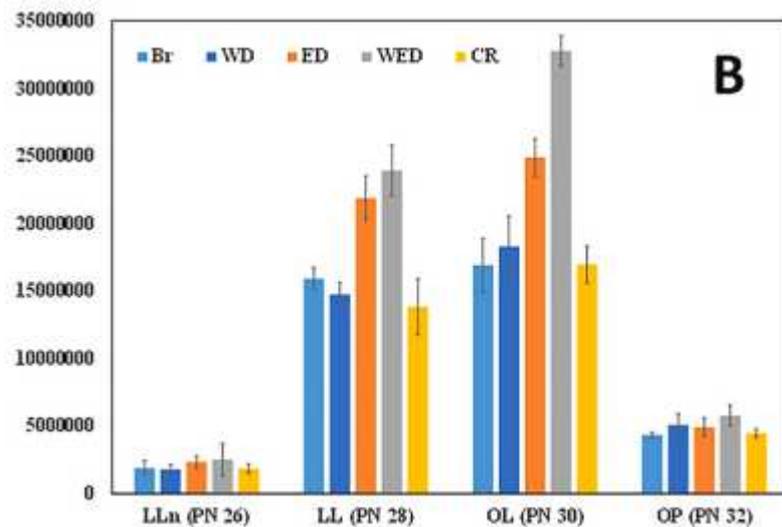


Fonte: Adaptado de (EDDEHECH et al., 2023).

Foi observado na investigação de Eddeheck et al. (2023) que o menor valor de fósforo na amostra do óleo que foi submetido ao refino químico ( $8,87 \pm 0,87$  mg de fósforo/kg de amostra), o que é esperado já que ele passou por todas as etapas do processo. Da mesma forma, a amostra do óleo bruto obteve o maior teor devido à ausência de qualquer procedimento para a remoção das substâncias. Tanto a degomagem aquosa (WD) quanto a enzimática (ED) apresentaram uma necessidade de tratamento posterior para tornar o óleo adequado para o consumo, já que o valor obtido foi superior ao permitido pela legislação chinesa ( $<10$  mg/kg) (XIANG et al., 2020). Em contrapartida, a utilização da enzima com água na degomagem (WED) apresentou um teor mais próximo ao do óleo refinado ( $13,7 \pm 0,56$  mg/kg), o que leva a considerar este processo o mais eficiente em comparação aos demais processos analisados. Esses resultados mostram que a adição de água aumentou a afinidade enzimática em relação ao seu substrato (EDDEHECH et al., 2023).

Os diacilgliceróis (DAGs) apresentam importância nutricional por possuir a capacidade de biossintetizar ácidos graxos importantes para a saúde, como por exemplo o ômega 9 (PERDOMO et al., 2015a). A Figura 22 apresenta a produção de ácido linoleico (L), linolênico (Ln), oleico (O) e palmítico (P) que fornecerão esses compostos essenciais, em cada um dos processos analisados.

Figura 22 – Aumento do teor de DAGs (LLn, LL, OL, OP) do óleo bruto de soja (Br), do óleo após refino químico (CR), após degomagem aquosa (WD), degomagem enzimática (ED) e degomagem enzimática em água (WED).



Fonte: Adaptado de (EDDEHECH et al., 2023).

Ainda como resultados da pesquisa de Eddeheck et al. (2023), em relação à produção dos ácidos ligados linoleico-linolênico (LLn), não houve variações significativas entre os processos e nem teores altos, o que era esperado já que o óleo bruto não apresentou concentrações expressivas destes compostos na análise inicial. Em todos os outros casos, foi possível observar um elevado aumento de DAGs tanto no processo enzimático com adição de água como no método enzimático. É importante alegar que o dilinoleico (LL), oleico-linoleico (OL) e o oleico-palmitico (OP) apenas apresentaram aumento de teores de DAGs (27,04%, 93,87% e 32,71% respectivamente) quando foi utilizada a enzima no processo de degomagem (seja com a enzima ou com a adição de água), já que na aquosa e no refino completo não foi observada uma variação significativa. Esses resultados comprovaram a produção de DAG a partir da hidrólise dos fosfolípidios pelas fosfolipases.

A degomagem enzimática ainda é pouco utilizada devido ao alto custo de enzimas e a sua baixa estabilidade e seletividade (EDDEHECH et al., 2023). Entretanto, a nova enzima recombinante produzida no estudo de Eddeheck et al. (2023) se mostrou com alta estabilidade e especificidade, o que poderia acabar compensando o seu custo de obtenção. Em resumo, o processon apresentado pelos autores se apresentou como eficiente na eliminação de compostos indesejáveis e atribui apelo nutricional ao produto em decorrência da presença de ácidos graxos insaturados (ácido oleico e linoleico), a partir da geração das DAGs, que

auxiliam em doenças cardiovasculares, além de possuir caráter ecológico por reduzir o teor de resíduos gerados convencionalmente (PERDOMO et al., 2015b).

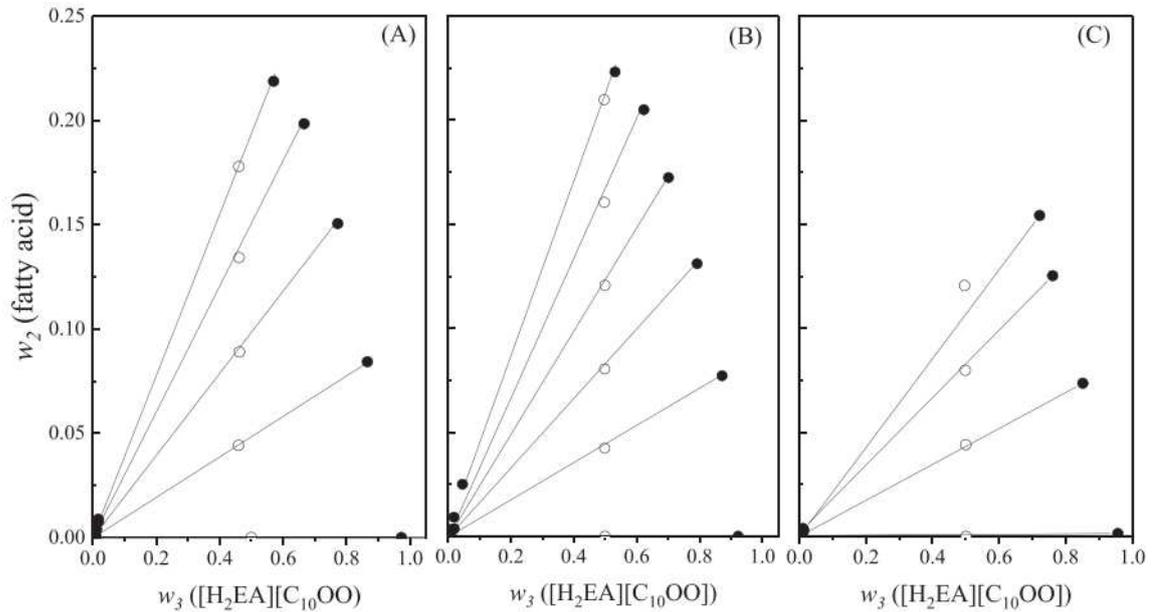
Quando se analisa a etapa de desacidificação dos óleos vegetais, a aplicação de solventes orgânicos como o etanol se apresenta consolidada devido a sua boa seletividade e coeficiente de distribuição, além das vantagens de ser um solvente de baixa toxicidade e mais sustentável (CERIANI; MEIRELLES, 2005; RODRIGUES; ONOYAMA; MEIRELLES, 2005; RODRIGUES; PEIXOTO; MEIRELLES, 2007). Entretanto, a demanda pela evaporação do composto acarreta a procura por métodos eficientes e de menor custo para o processo (FERREIRA et al., 2022).

Os líquidos iônicos são definidos por sais que derretem em temperaturas abaixo de 100°C e podem ser classificados dentro da categoria dos solventes verdes (ROGERS; SEDDON, 2003). Entretanto, sua aplicação necessita de otimização no processo com intuito de evitar a toxicidade e consequências indesejáveis no produto, ou seja, com a utilização de precursores adequados de líquidos iônicos, sua aplicação em processos que demandam mais controle pode ser alcançada, por exemplo, líquidos iônicos convencionais (como a base de flúor) utilizando ácido graxo como precursor (FERREIRA et al., 2022).

Segundo Ferreira et al. (2022), esse tipo de síntese de líquido iônico acaba superando a barreira da toxicidade e apresenta-se como candidato qualificado na desacidificação, sendo tema de estudo como alternativa sustentável dentro do processo de refino de óleos vegetais, pela sua fácil obtenção e baixo custo. Esses pesquisadores analisaram o processo de desacidificação do óleo de soja, de canola e de palma a partir da aplicação de líquido iônico a base de ácido graxo, avaliado através da afinidade solvente-soluto pelo equilíbrio líquido-líquido entre o solvente e os ácidos graxos e seu coeficiente de atividade na solução.

Em relação ao seu equilíbrio, a Figura 23 apresenta um diagrama em que é possível observar que a coexistência das fases dos compostos foi alcançada na medida em que a fração mássica foi aumentada, o que mostra a quase completa imiscibilidade do sistema. Isso sugere que o líquido iônico em questão pode ser utilizado como boa alternativa na remoção dos ácidos graxos livres que ainda estão presentes antes da desacidificação (FERREIRA et al., 2022).

Figura 23 – Equilíbrio líquido-líquido a 303,2 K para sistemas compostos por óleo vegetal + ácido graxo + líquido iônico, em que: (A) óleo de soja, (B) óleo de canola e (C) óleo de palma.



Fonte: Adaptado (FERREIRA et al., 2022).

Com intuito de entender a afinidade solvente-soluto do sistema, foi determinado por Ferreira et al. (2022), o coeficiente de atividade em diluição infinita ( $\ln Y^\infty$ ) para a solução iônica e do etanol para fins de comparação, em que para esse cálculo, quanto mais negativo for o valor obtido mais afinidade ele possui com o soluto (Tabela 13).

Tabela 13 – Equilíbrio líquido-líquido a 303,2 K para sistemas compostos por óleo vegetal + ácido graxo + líquido iônico, em que: (A) óleo de soja, (B) óleo de canola e (C) óleo de palma.

Solvente	$\ln Y^\infty$		
	Ácido linoleico	Ácido oleico	Ácido palmítico
<b>Etanol</b>	-2,38	-1,52	-1,26
<b>Líquido iônico</b>	-4,93	-3,55	-2,99

Fonte: Adaptado (FERREIRA et al., 2022).

Com os dados obtidos por Ferreira et al. (2022), é possível determinar que o ácido palmítico possui maior dificuldade de afinidade com solvente estudado, enquanto a solução iônica permitiu alcançar uma afinidade maior com os ácidos graxos e, conseqüentemente, possuiu maior eficiência na remoção dos compostos indesejáveis presentes na desacidificação. Isso é justificado devido à maior afinidade solvente-soluto estar relacionada com a maior capacidade do solvente utilizado (nesse caso, o líquido iônico a base de ácidos graxos) na remoção dos ácidos graxos livres (LIN; SANDLER, 2001).

A ocorrência das etapas de degomagem e neutralização simultâneas apresenta, primeiramente, a redução de tempo de processo, o que acaba melhorando a produtividade. E o estudo de Ferreira et al. (2022) mostrou que tal mudança pode acontecer em temperaturas menores, fazendo com que o custo seja reduzido. Entretanto, a necessidade de aumento da concentração da micela para redução de fósforo acaba afetando a produtividade.

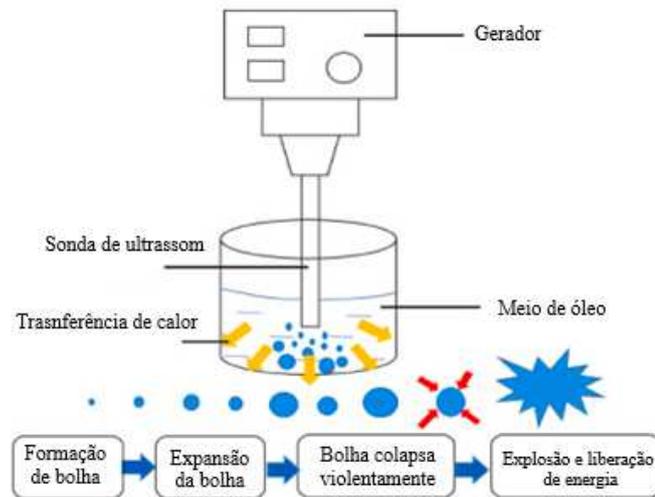
A desvantagem do método de degomagem enzimática é da possível formação de emulsão água-óleo devido a presença de proteínas, havendo a necessidade de processos de desemulsificação que demandará de tempo e custos (EDDEHECH et al., 2023).

A aplicação de um solvente na etapa do refino de óleos, mais precisamente na desacidificação, de acordo com a literatura, tem se apresentado como alternativa boa para remoção dos compostos indesejáveis. Líquido iônico tem se mostrado com eficiência superior, (comparado ao etanol) por apresentar maior afinidade com os compostos do óleo e pelo menor custo para sua eliminação após o processo.

### 3.5.8. Aplicação de alternativas utilizando o ultrassom

A aplicação de ondas de ultrassom na etapa do refino de óleo gerando um efeito de cavitação no processo, tem chamado atenção devido ao caráter ambientalmente sustentável (CHEW; ALI, 2021). Esta aplicação era utilizada anteriormente na extração do óleo com intuito de reduzir o tempo e aumentar o rendimento sem alterar sua composição (LI; PORDESIMO; WEISS, 2004). O processo de refino assistido por ultrassom apresenta redução de custo e maior segurança quando comparado com o convencional. Assim, trabalhos da literatura têm estudado a composição geral dos óleos por este método alternativo de refino (CHEW; ALI, 2021). A Figura 24 apresenta o esquema prático do refino utilizando o ultrassom.

Figura 24 - Diagrama esquemático do mecanismo de refino utilizando sonda de ultrassom.



Fonte: Adaptado de (CHEW; ALI, 2021).

De forma geral, o ultrassom é utilizado para promover o fenômeno de cavitação, que promove energia a solução líquida, aumentando a temperatura e a pressão, e assim gerando o colapso das cavidades microscópicas (CHEW; ALI, 2021). O fenômeno em si gera várias alterações no conteúdo aplicado, como por exemplo a extração do óleo, extração de compostos bioativos e homogeneização do óleo (ROOHI et al., 2019; SU et al., 2013).

Na etapa de degomagem, a aplicação de ultrassom gera uma redução de tempo da etapa e consumo de compostos utilizados. Os radicais hidroxilas formados pelo método removem as moléculas de fosfolipídeos do óleo bruto, dissociando os não hidratados em uma forma hidratada. More e Gogate (2018) analisaram que a adição de agentes antioxidantes apresentou um processo verde e mais econômico por permitir a produção de mais radicais hidroxilas e, assim, removendo cerca de 99,51% de fosfolipídeo de uma amostra de 250mL de óleo de soja (MORE; GOGATE, 2018). A partir desse resultado, a abordagem oferecia qualidade ao óleo produzido e reduzia as exigências de tempo e energia (CHEW; ALI, 2021).

O efeito do branqueamento assistido por ultrassom em azeite de oliva foi estudado por Asgari, Sahari e Barzegar (2018). A aplicação do método causou a turbulência do fluido e facilitou a transferência de massa e interações entre adsorvente-adsorvido, levando a efeitos mecânicos resultando em um processo de branqueamento eficiente (ASGARI; SAHARI; BARZEGAR, 2018). Por outro lado, esse método aumentou a degradação de carotenoides decorrente do aumento da oxidação do radical livre no refino de óleo de colza (SU et al., 2013). Além disso, a tecnologia de ultrassom permite a redução dos pigmentos coloridos sem ser aplicada a etapa de branqueamento por calor e deterioração sonora. Também, o uso do

ultrassom no branqueamento pode ser aplicado em combinação com branqueamento de terra ou em amostra de óleo (CHEW; ALI, 2021).

Independentemente do método, a qualidade nutricional do produto é de grande importância. Em relação à aplicação de ultrassom, na investigação de Jahouach et al. (2007), verificou-se que o azeite de oliva apresentou pouca alteração devido à fraca degradação do  $\alpha$ -tocoferol e esteróis a 30°C por 13 min. No estudo de Abedi et al. (2015), verificou-se que o branqueamento de óleo de soja por ultrassom assistido não alterou seu teor de iodo e a composição de ácidos graxos. No geral, o uso do ultrassom se apresenta como uma alternativa vantajosa em comparação ao processo convencional, devido à alta eficiência e redução do tempo (CHEW; ALI, 2021).

A Figura 25 apresenta um experimento de extração assistida por banho ultrassônico dentro do laboratório, em que, nos balões estão contidos a matéria-prima com o solvente utilizado. No caso deste estudo exemplificado foi utilizado café verde extraído por etanol, e estão sobre o equipamento que é constituído por um tanque que está ocupado por água e o transdutor ultrassônico que realiza as emissões das ondas que chegam até os balões.

Figura 25 – Processo de extração em ultrassom.



Fonte: (GABRIEL, 2020).

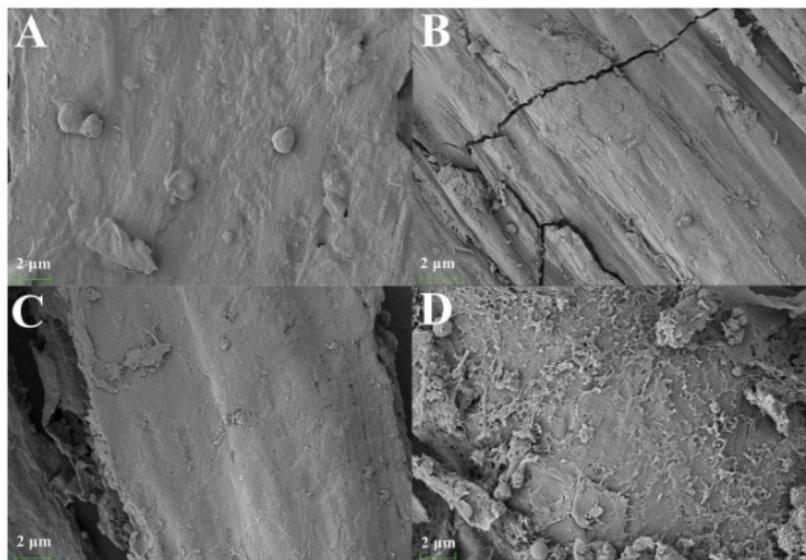
Uma via de aplicação alternativa, seria a combinação de métodos que possibilitam otimizar o processo, como a extração assistida por ultrassom utilizando solvente supercrítico.

A *Cosmos sulphureus* (mais conhecida por *Cosmos* amarelo), é uma planta comestível que é mais consumida na América Central, e possui várias propriedades funcionais, como antioxidante e anti-inflamatórios, e que também é aplicada no tratamento de muitas doenças. Entretanto, a utilização e desenvolvimento dos lipídios do *Cosmos* não tem sido muito

empregada devido à escassez de estudos na área (BOTSARIS, 2007; DE MORAIS et al., 2020; LIU et al., 2023; SALEEM et al., 2017).

Liu et al. (2023) estudaram a extração de óleo da semente de *Cosmos* por dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) supercrítico assistida por ultrassom, que tem sido aplicado para a obtenção de lipídios das plantas. Como mencionado, o ultrassom permite promover a cavitação das paredes celulares da matriz oleaginosa da matéria-prima, o que leva a uma maior porosidade e, conseqüentemente, a melhor difusão do solvente com soluto (CHEMAT et al., 2017; LIU et al., 2023). A Figura 26 apresenta a superfície da semente de *Cosmos* que foi utilizada no processo, em que: (A) é a semente sem tratamento, (B) extração por *Soxhlet*, (C) extração por dióxido de carbono e (D) utilizando método combinado.

Figura 26 – Microestruturas de semente de *Cosmos* s. ampliada.



Fonte: (LIU et al., 2023).

É possível observar que a semente que foi submetida ao método combinado, acaba gerando uma estrutura mais “quebradiça”, com microfissuras e mais solta, o que resulta em maior abertura e facilidade do solvente penetrar, exemplificando o efeito do ultrassom no processo. Enquanto a amostra aplicada no *Soxhlet* apresentou apenas algumas fissuras, que em comparação ao resultante do ultrassom, não promove abertura melhorada, deixando a extração mais difícil (LIU et al., 2023).

A determinação dos parâmetros necessários para o processo, junto com os resultados de rendimento foi registrada e na Tabela 14 é apresentada a comparação do método utilizado com a extração de óleo das sementes por *Soxhlet* e utilizando o fluido supercrítico.

Tabela 14 – Comparação dos parâmetros avaliados para extração do óleo da semente de *Cosmos sulphureus*, através do método de Soxhlet, por CO<sub>2</sub> supercrítico e aplicação de ultrassom com CO<sub>2</sub> supercrítico.

Parâmetros	Técnica de extração		
	<i>Soxhlet</i>	CO <sub>2</sub> supercrítico	CO <sub>2</sub> supercrítico assistida por ultrassom
Diâmetro médio da partícula (mm)	0,73 ±0,08	0,73±0,08	0,73±0,08
Peso da amostra (g)	5	5	5
Solvente de extração	Hexano	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Tempo de extração estática (min)	-	15	15
Tempo de extração dinâmica (min)	360	90	75
Temperatura de extração (°C)	69	55	55
Pressão (MPa)	-	30	25
Vazão CO <sub>2</sub> (g/min)	-	0,5	0,5
Relação solvente/amostra (g/g)	26,4	9,0	7,5
Densidade de energia ultra-sônica (W/ml)	-	-	0,2
Rendimento (mg/g massa seca)	192±3,6	120,8±5,7	193,1±4,4

Fonte: Adaptado de (LIU et al., 2023).

Pelos dados obtidos, Liu et al. (2023) observaram que o rendimento do método combinado foi quase 60% superior ao obtido sem o ultrassom, além do tempo de extração ter sido menor, o que, conseqüentemente, reduziu o consumo do dióxido de carbono no processo. O processo aplicando o ultrassom também demandou uma menor pressão. Em geral, o método alternativo combinado mostrou-se superior ao convencional, tanto em questão ambiental (pelo tipo de solvente utilizado) quanto pela produtividade, que junto com a temperatura, obteve uma redução de custo de energia e tempo e, conseqüentemente, apresentou menor custo econômico.

A combinação do solvente CO<sub>2</sub> supercrítico com ultrassom na extração de óleo, tem se mostrado como um método inovador, em que além das vantagens econômicas (redução de tempo de processo e de consumo de energia e maior rendimento de extração) possui caráter ambiental pela ausência de compostos tóxicos. Sendo a única desvantagem seu alto investimento de aplicação, devido ao fato de ser um processo com parâmetros controlados e equipamentos mais sofisticados como a sonda ultrassônica.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O óleo vegetal, de maneira geral, é um dos alimentos mais consumidos mundialmente, em razão principalmente do seu papel fundamental na nutrição humana. E por isso, há um grande interesse por parte das indústrias em produzi-lo. Entretanto, a separação do óleo da matéria-prima vegetal não é alcançada com muita facilidade, verificando a necessidade de investimentos para realizar a extração. Além disso, os lipídeos são substâncias constituídas de vários compostos diferentes, como ácidos graxos, glicerol, vitaminas, fosfato, sendo alguns deles indesejáveis para o produto de interesse. Isso faz com que processo de obtenção do óleo comestível seja relativamente complexo, que a muitos anos é aperfeiçoado com intuito de torná-lo mais prático e econômico. Por exemplo, na melhoria da extração do óleo vegetal, que, inicialmente era obtida por prensagem física da matéria-prima, e passou a ser adquirida pela extração físico-química, aumentando o teor de óleo extraído. Bem como a purificação do produto, que através de várias técnicas, produz um alimento de qualidade superior.

Uma das formas de melhoria é na substituição do solvente empregado convencionalmente, utilizando álcoois de cadeia curta, como o etanol ou isopropanol, que se mostrou como bom candidato em termos de rendimento de extração devido ao seu caráter parcialmente apolar e à facilidade de penetração na matriz oleaginosa, além de possuir caráter ambiental, diferente do hexano. Sua desvantagem é o ponto de ebulição maior, levando a um gasto energético superior. O emprego de co-solvente, que tem o propósito de reduzir o uso do composto tóxico, também apresenta elevado rendimento de extração, e pode atribuir vantagens econômicas ao processo decorrente do menor gasto de energia. Compostos de natureza biológica como 2-metiloxolano, que apresentam toxicidade inferior ao convencional e traz mais segurança dentro da indústria, podem ser possíveis substitutos na extração de óleo vegetal. Ainda não são muito utilizados em decorrência do seu alto preço de obtenção, não sendo econômico para a indústria. Vale destacar o emprego de CO<sub>2</sub> supercrítico para o processo, que traz vantagens não só em relação ao rendimento, mas ao fluxo de obtenção

como um todo, em que seu emprego produz um alimento mais puro e com menos necessidade de etapas posteriores, fazendo com que a produtividade aumente e custos com insumos reduza.

Na etapa de refino do óleo, que é constituído de muitas subetapas, a técnica de melhoramento dinâmico do processo pode se tornar vantajosa, ou seja, um processo em que seja possível realizar a degomagem e a neutralização de forma simultânea trazendo um menor tempo de produção, menor gasto com agentes químicos e maior produtividade. É um método que necessita apenas de ajuste dos parâmetros trabalhados, como temperatura, concentração da micela e teor de álcali presente. A degomagem enzimática mostrou-se efetiva não só na remoção do fósforo, mas também atribuiu valor ao óleo pela alta concentração de ácidos graxos essenciais presentes que são importantes para nutrição humana, possuindo, porém, o custo elevado das enzimas para o processo. O emprego de solvente na neutralização também se mostrou vantajoso em decorrência da sua afinidade com os compostos do óleo e pela facilidade de eliminação do sistema.

A utilização de ultrassom no processo de extração já vem sendo empregado em muitos estudos, visto que o rendimento é elevado devido as ondas ultrassônicas auxiliar na penetração do solvente na matriz oleaginosa através do fenômeno de cavitação produzido. E sua combinação com solvente alternativo acaba trazendo inúmeras qualidades para o processo. Por exemplo, a extração assistida por ultrassom utilizando CO<sub>2</sub> supercrítico, além do alto rendimento de extração, demanda menor tempo e menos energia, comparado à extração convencional com hexano, e atribui caráter ambiental ao processo. Contudo, possui o inconveniente de alto investimento de estrutura, visto que não só o uso do ultrassom, mas também as condições de processo são limitadas (pressão e temperatura controlada). No refino, tal fenômeno também acaba auxiliando na remoção das substâncias indesejáveis, seja na formação das gomas na etapa de degomagem, ou na etapa de branqueamento que acelerou a transferência de massa entre o adsorvente-adsorvido, em que reduz tempo de processamento e insumos utilizados.

Em resumo, as alternativas para otimizar o processo de obtenção de óleo vegetal estão presentes em todas as suas etapas. Entretanto, o mais adequado para se aplicar dentro da indústria vai depender da matéria-prima empregada e do produto de interesse. Visto que um azeite virgem, por exemplo, é obtido através de um processo que altera o mínimo possível da sua composição, sendo utilizado apenas a prensagem mecânica, que por sua vez, é recomendado para vegetais com teor de óleo superior a 30%. Em outros casos, também, a matéria-prima é mais sensível, o que pode limitar o processamento ao refino químico ao invés

do físico. Ou seja, o estudo dos métodos alternativos auxilia a indústria a procurar o processo mais prático, eficaz e barato para aquele óleo que queira produzir.

Para trabalhos futuros, a sugestão de analisar tais métodos combinados em óleos que apresentam maior sensibilidade de processamento, bem como a análise de layout para indústrias que produzem mais de um tipo de óleo (matérias-primas diferentes) e buscam está maior otimização do produto.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADHAMI, Khavar; ASADOLLAHZADEH, Hamideh; GHAZIZADEH, Mahdieh. A novel process for simultaneous degumming and deacidification of Soybean, Canola and Sunflower oils by tetrabutylphosphonium phosphate ionic liquid. *[S. l.]*, 2019. DOI: 10.1016/j.jiec.2019.03.048. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2019.03.048>. Acesso em: 23 jul. 2022.

ALBUQUERQUE, Teresinha Aparecida Soares. **Aplicação da espectroscopia de lente térmica na investigação das propriedades ópticas e térmicas de óleos cegetais comestíveis**. 2002. Dissertação - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2002.

ALMEIDA, Thais Schimidt Silva. **Estimativa do custo de manufatura da extração com dióxido de carbono supercrítico do óleo de casca de laranja**. 2019. Monografia - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. Acesso em: 26 jun. 2023.

AL-RAWI, Sawsan S.; IBRAHIM, Ahmad H.; SHAH, Aman; MAJID, Abdul; MAJID, Amin M. S. Abdul; OMAR, Mohd; KADIR, Ab. Comparison of yields and quality of nutmeg butter obtained by extraction of nutmeg rind by soxhlet and supercritical carbon dioxide (SC-CO<sub>2</sub>). *[S. l.]*, 2013. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2013.06.029.

AMEER, Kashif; KWON, Joong-Ho; SHAHBAZ, Hafiz Muhammad. Article in Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. *[S. l.]*, 2017. DOI: 10.1111/1541-4337.12253.

ASGARI, Sara; SAHARI, Mohammad Ali; BARZEGAR, Mohsen. Ultrasound-assisted bleaching of olive oil: Kinetics, isotherms and thermodynamics. **Journal of Food Engineering**, *[S. l.]*, v. 224, p. 37–44, 2018. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.12.023.

BAKER, E. C.; SULLIVAN, D. A. Development of a pilot-plant process for the extraction of soy flakes with aqueous isopropyl alcohol. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, [S. l.], v. 60, n. 7, p. 1271–1277, 1983. DOI: 10.1007/BF02702099/METRICS. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02702099>. Acesso em: 26 jun. 2023.

BELTING, Patrícia C.; GMEHLING, Jürgen; BÖLTS, Rainer; RAREY, Jürgen; CERIANI, Roberta; CHIAVONE-FILHO, Osvaldo; MEIRELLES, Antonio J. A. Excess enthalpies for pseudobinary mixtures containing vegetable oils at the temperatures 298.15 K, 353.15 K and 383.15 K. **Fluid Phase Equilibria**, [S. l.], v. 375, p. 124–133, 2014. DOI: 10.1016/j.fluid.2014.04.035. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fluid.2014.04.035>. Acesso em: 23 jul. 2022.

BLOCK, Jane Mara.; BARRERA-ARELLANO, Daniel. **Temas selectos en aceites y grasas : volumen 1 - procesamiento**. [s.l.] : E. Blucher, 2009.

BORGES, Thays Helena Pereira. **Estudo da caracterização e propriedades das amêndoas do baru e óleo de baru bruto submetido ao aquecimento**. 2013. UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, Goiânia, 2013. Acesso em: 2 abr. 2023.

BOTSARIS, Alexandros S. Plants used traditionally to treat malaria in Brazil: The archives of Flora Medicinal. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, [S. l.], v. 3, n. 1, p. 1–8, 2007. DOI: 10.1186/1746-4269-3-18/TABLES/1. Disponível em: <https://ethnobiomed.biomedcentral.com/articles/10.1186/1746-4269-3-18>. Acesso em: 4 maio. 2023.

CAMELO, Severino Morib Barbosa; FONTGALLAND, Isabel Lausanne. Análise da produção e comercialização de óleo vegetal no Brasil: o estudo de caso da empresa Cargill. **E-Acadêmica**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. e062229, 2021. DOI: 10.52076/eacad-v2i2.29. Disponível em: <https://eacademica.org/eacademica/article/view/29>. Acesso em: 31 jul. 2022.

CAMPESTRE, Óleos Vegetais. **Óleo de Milho - Ficha Técnica**. 2017. Disponível em: <https://www.campestre.com.br/oleos-vegetais/oleo-de-milho/oleo-de-milho-ficha-tecnica/>. Acesso em: 26 maio. 2023.

SOUZA, Darlan Carvalho De. **Sensor capacitivo para monitoramento do teor de álcool etílico anidro combustível (AEAC) em amostras de gasolina comercial**. 2013. Dissertação - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2013. Acesso em: 23 abr. 2023.

CERIANI, Roberta; MEIRELLES, Antonio J. A. Simulation of continuous physical refiners for edible oil deacidification. *[S. l.]*, 2005. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.05.026. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/jfoodeng](http://www.elsevier.com/locate/jfoodeng). Acesso em: 3 maio. 2023.

CETESB. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo**. 2023. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/>. Acesso em: 28 maio. 2023.

CHEMAT, Farid; ROMBAUT, Natacha; SICAIRE, Anne Gaëlle; MEULLEMIESTRE, Alice; FABIANO-TIXIER, Anne Sylvie; ABERT-VIAN, Maryline. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. **Ultrasonics Sonochemistry**, *[S. l.]*, v. 34, p. 540–560, 2017. DOI: 10.1016/J.ULTSONCH.2016.06.035. Acesso em: 4 maio. 2023.

CHEW, Sook Chin; ALI, M. Abbas. **Recent advances in ultrasound technology applications of vegetable oil refining**. **Trends in Food Science and Technology**, 2021. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.08.001.

CLAUSEN, Kim. Enzymatic oil-degumming by a novel microbial phospholipase. **European Journal of Lipid Science and Technology**, *[S. l.]*, 2001. Disponível em: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1438-9312\(200106\)103:6%3C333::AID-EJLT333%3E3.0.CO;2-F](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/1438-9312(200106)103:6%3C333::AID-EJLT333%3E3.0.CO;2-F). Acesso em: 18 maio. 2023.

CLAUX, Ombéline; RAPINEL, Vincent; GOUPY, Pascale; PATOUILLARD, Norbert; VIAN, Abert; JACQUES, Laurence; CHEMAT, Farid. Dry and Aqueous 2-Methyloxolane as Green Solvents for Simultaneous Production of Soybean Oil and Defatted Meal. *[S. l.]*, 2021. DOI: 10.1021/acssuschemeng.0c09252. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c09252>. Acesso em: 29 mar. 2023.

DALMOLIN, Ireda Angela Lucini. **Determinação de dados de equilíbrio líquido-líquido de sistemas contendo óleo de farelo de arroz refinado/etanol anidro/água/hexano**. 2009. Dissertação - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

D'ARCE, Marisa A. O PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DO ÓLEO VEGETAL E DO FARELO. **VISÃO AGRÍCOLA**, *[S. l.]*, n. 5, p. 140–141, 2006. . Acesso em: 17 out. 2022.

DE MEDEIROS, Jorge; KANIS, Luiz Alberto. Evaluation of PEG effects on the extracts obtaining from *Passiflora edulis* Sims, Passifloraceae, and *Mikania glomerata* Spreng., Asteraceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, *[S. l.]*, v. 20, n. 5, p. 796–802, 2010. DOI: 10.1590/S0102-695X2010005000001.

DE MENEZES, Maraísa Lopes; SILVA, Marcos Paulo; SALVADOR, Adonias Trinck; ROSSI, Lorena Beatriz; PEREIRA, Yasna de Araújo. Avaliação da extração por soxhlet do óleo de sementes de Uva bordô utilizando como solventes alternativos o álcool etílico e isopropílico / Evaluation of soxhlet extraction of oil from maroon grape seeds using ethyl and isopropyl alcohol as alternative so. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 7, n. 8, p. 77169–77180, 2021. DOI: 10.34117/bjdv7n8-097.

DE MORAIS, Janne S.; SANT'ANA, Anderson S.; DANTAS, Aline M.; SILVA, Beatriz S.; LIMA, Marcos S.; BORGES, Graciele C.; MAGNANI, Marciane. Antioxidant activity and bioaccessibility of phenolic compounds in white, red, blue, purple, yellow and orange edible flowers through a simulated intestinal barrier. **Food Research International**, [S. l.], v. 131, p. 109046, 2020. DOI: 10.1016/J.FOODRES.2020.109046. Acesso em: 4 maio. 2023.

DIJKSTRA, Albert J. About water degumming and the hydration of non-hydratable phosphatides. **European Journal of Lipid Science and Technology**, [S. l.], v. 119, n. 9, 2017. DOI: 10.1002/ejlt.201600496.

DUNFORD, Nurhan. **Oil and Oilseed Processing II**. 2016. Disponível em: <https://extension.okstate.edu/fact-sheets/oil-and-oilseed-processing-ii.html>. Acesso em: 4 jun. 2023.

ECIRTEC. **Fábrica de extração de óleos vegetais**. [s.d.]. Disponível em: <https://ecirtec.com.br/blog/fabrica-extracao-oleos/>. Acesso em: 18 maio. 2023.

ECYCLE. **Conheça as técnicas de extração de óleos vegetais**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/extracao-de-oleos-vegetais/>. Acesso em: 18 maio. 2023.

EDDEHECH, Ahlem; RAHIER, Renaud; DONNARUMMA, Danilo; RIGANO, Francesca; NOIRIEL, Alexandre; ABOUSALHAM, Abdelkarim; CACCIOLA, Francesco; MONDELLO, Luigi; ZARAI, Zied. Development of a highly efficient oil degumming process using a novel phosphatidylinositol-specific phospholipase C enzyme from *Bacillus thuringiensis* PL14. **Food Bioscience**, [S. l.], v. 53, p. 102579, 2023. DOI: 10.1016/J.FBIO.2023.102579. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212429223002304>. Acesso em: 2 maio. 2023.

EFTHYMIPOULOS, Ioannis; HELLIER, Paul; LADOMMATOS, Nicos; RUSSO-PROFILI, Alessandro; EVELEIGH, Aaron; ALIEV, Abil; KAY, Arthur; MILLS-LAMPTEY, Ben. Influence of solvent selection and extraction temperature on yield and composition of

lipids extracted from spent coffee grounds. **Industrial Crops and Products**, [S. l.], v. 119, p. 49–56, 2018. DOI: 10.1016/J.INDCROP.2018.04.008. Acesso em: 28 maio. 2023.

FAVARO, Simone Palma et al. Princípios da extração sem solvente e tecnologias potenciais para obtenção de óleos vegetais. **Embrapa Agroenergia**, [S. l.], p. 33, 2022. Disponível em: [www.embrapa.br/fale](http://www.embrapa.br/fale). Acesso em: 3 abr. 2023.

FERREIRA, Marcela C.; TOLEDO HIJO, Ariel A. C.; FARIAS, Fabiane O.; BATISTA, Eduardo A. C.; MAXIMO, Guilherme J.; MEIRELLES, Antonio J. A. In search of sustainable alternatives for vegetable oils deacidification using oligomeric ionic liquid approach. **Fluid Phase Equilibria**, [S. l.], v. 555, p. 113350, 2022. DOI: 10.1016/J.FLUID.2021.113350. Acesso em: 3 maio. 2023.

FERREIRA, Vitor F.; DA ROCHA, David R.; DA SILVA, Fernando De C. Green chemistry, sustainable economy and quality of life. **Revista Virtual de Química**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 85–111, 2014. DOI: 10.5935/1984-6835.20140008.

FIRESTONE, David. Characteristics of Oils and Fats of Plant Origin. **Physical and Chemical Characteristics of Oils, Fats, and Waxes**, [S. l.], p. 1–225, 2013. . Acesso em: 26 maio. 2023.

FRETIAS, Suely Pereira; LAGO, Regina Celi A. EXTRAÇÃO DO ÓLEO DA BORRA DE CAFÉ SOLÚVEL COM ETANOL COMERCIAL. **Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, [S. l.], p. 740–743, 2007. . Acesso em: 31 jul. 2022.

GABRIEL, Luana Cerri. **Extração assistida por banho ultrassônico de óleo de café verde (Coffe arabica) utilizando etanol e hexano como solventes e caracterização dos extratos por cromatografia gasosa e ressonância magnética nuclear de hidrogênio**. 2020. Dissertação - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

GANDHI, A. P.; JOSHI, K. C.; JHA, Krishna; PARIHAR, V. S.; SRIVASTAV, D. C.; RAGHUNADH, P.; KAWALKAR, J.; JAIN, S. K.; TRIPATHI, R. N. Studies on alternative solvents for the extraction of oil-l soybean. **International Journal of Food Science and Technology**, [S. l.], v. 38, n. 3, p. 369–375, 2003. DOI: 10.1046/J.1365-2621.2003.00683.X. Acesso em: 3 abr. 2023.

GASPARETTO, Henrique; NUNES, Ana Luiza Barrachini; DE CASTILHOS, Fernanda; SALAU, Nina Paula Gonçalves. Soybean oil extraction using ethyl acetate and 1-butanol: From solvent selection to thermodynamic assessment. **Journal of Industrial and**

**Engineering Chemistry**, [S. l.], v. 113, p. 450–460, 2022. DOI: 10.1016/J.JIEC.2022.06.020. Acesso em: 20 mar. 2023.

GHARBY, Said. Refining Vegetable Oils: Chemical and Physical Refining. **Scientific World Journal**, [S. l.], v. 2022, 2022. DOI: 10.1155/2022/6627013. Acesso em: 5 maio. 2023.

GHAZANI, Saeed Mirzaee; MARANGONI, Alejandro G. Minor Components in Canola Oil and Effects of Refining on These Constituents: A Review. **J Am Oil Chem Soc**, [S. l.], p. 923–932, 2013. DOI: 10.1007/s11746-013-2254-8. Acesso em: 18 maio. 2023.

GIOVACCHINO, L. Di; MUCCIARELLA, M. R.; COSTANTINI, N.; FERRANTE, M. L.; SURRICCHIO, G. Use of Nitrogen to Improve Stability of Virgin Olive Oil During Storage. **JAACS**, [S. l.], v. 79, n. 4, p. 339–344, 2002.

GONZALEZ, Wilma Araújo et al. **Biodiesel e Óleo Vegetal in Natura**. Brasília. v. 1

GRUNVALD, Anna Karolina; DE CARVALHO, Claudio Guilherme Portela; SANTOS LEITE, Rodrigo; GONTIJO MANDARINO, José Marcos; ANDRADE, Carlos Alberto de Bastos; ALBERTO SCAPIM, Carlos. Predicting the oil contents in sunflower genotype seeds using near-infrared reflectance (NIR) spectroscopy. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [S. l.], v. 36, n. 2, p. 233–237, 2014. DOI: 10.4025/ACTASCIAGRON.V36I2.17677. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asagr/a/s64GWJG8x3YmqwLV5nknLsf/abstract/?lang=en>. Acesso em: 26 maio. 2023.

HARRIS, W. D.; HAYWARD, J. W.; LAMB, R. A. Isopropanol as a solvent for extraction of cottonseed oil. II. Separation of purified oil from miscella. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, [S. l.], v. 26, n. 12, p. 719–723, 1949. DOI: 10.1007/BF02903180. Acesso em: 3 abr. 2023.

JORGE, Neuza. **Química e tecnologia de óleos vegetais**. Mescla Com ed. São Paulo.

LI, Haizhou; PORDESIMO, Lester; WEISS, Jochen. High intensity ultrasound-assisted extraction of oil from soybeans. **Food Research International**, [S. l.], v. 37, n. 7, p. 731–738, 2004. DOI: 10.1016/j.foodres.2004.02.016.

LIMA, Jean Carlos Rodrigues. **Efeitos dos parâmetros da extração e avaliação da qualidade física e química dos óleos de baru e amendoim**. 2012. Dissertação - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012. Acesso em: 2 abr. 2023.

LIN, Shiang Tai; SANDLER, Stanley I. A Priori Phase Equilibrium Prediction from a Segment Contribution Solvation Model. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, [S. l.], v. 41, n. 5, p. 899–913, 2001. DOI: 10.1021/IE001047W. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie001047w>. Acesso em: 3 maio. 2023.

LIU, Xing-Yu; OU, Hong; GREGERSEN, Hans; ZUO, Jing. Supercritical carbon dioxide extraction of *Cosmos sulphureus* seed oil with ultrasound assistance. **Journal of CO2 Utilization**, [S. l.], v. 70, p. 102429, 2023. DOI: 10.1016/J.JCOU.2023.102429. Acesso em: 4 maio. 2023.

LONGO, Isabela Andrade; ASSIS, Rhamonn Pavelik; TANAKA, Vithoria Gauglitz; GABRIEL, Luana Cerri; COQUEIRO, Aline; WATANABE, Erica Roberta Lovo da Rocha; LEITE, Priscilla dos Santos Gaschi. Extração de óleo vegetal utilizando co-solvente em banho ultrassônico. **Brazilian Applied Science Review**, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 1842–1847, 2020. DOI: 10.34115/basrv4n3-088.

LOPES, Guilherme de Souza. **Estudo cinético da extração supercrítica com CO2 do óleo da semente de amendoim**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rosana, 2022. Acesso em: 21 jul. 2022.

LOWRY, Thomas H.; RICHARDSON, Kathleen Schueller. **Mechanism and theory in organic chemistry**. [s.l: s.n.].

MANDARINO, José Marcos Gontijo; ROESSING, Antonio Carlos; BENASSI, Vera de Toledo. Óleos alimentos funcionais. **Embrapa Soja**, [S. l.], p. 91, 2005.

MARCOS, José; MANDARINO, Gontijo; HIROSHI, Marcelo; ANTONIO, Hirkuri; ROESSING, Carlos. Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Soja Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>. Acesso em: 28 jul. 2022.

MARTIN, Clayton Antunes; DE ALMEIDA, Vanessa Vivian; RUIZ, Marcos Roberto; VISENTAINER, Jeane Eliete Laguila; MATSHUSHITA, Makoto; DE SOUZA, Nilson Evelázio; VISENTAINER, Jesuí Vergílio. Ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 e ômega-6: importância e ocorrência em alimentos. **Revista de Nutrição**, [S. l.], v. 19, n. 6, p. 761–770, 2006. DOI: 10.1590/S1415-52732006000600011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rn/a/RrbqXWrwyS3JHJMhRCQwJgv/>. Acesso em: 26 maio. 2023.

MENEZES, Maraísa Lopes. Estudo dos processos de secagem e de extração para produção do óleo bruto de semente de uva. **Universidade Estadual de Maringá**, [S. l.], 2014. . Acesso em: 23 jul. 2022.

MEZZOMO, Natália; MARTÍNEZ, Julian; FERREIRA, Sandra R. S. Supercritical fluid extraction of peach (*Prunus persica*) almond oil: Kinetics, mathematical modeling and scale-up. **Journal of Supercritical Fluids**, [S. l.], v. 51, n. 1, p. 10–16, 2009. DOI: 10.1016/j.supflu.2009.07.008.

MORAIS, Layara Santos. **Fontes de óleos vegetais na dieta de rã-touro (*Lithobates catesbeianus*): composição centesimal e ácidos graxos**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2021. Acesso em: 1 jun. 2023.

MORE, Nishant S.; GOGATE, Parag R. Intensified degumming of crude soybean oil using cavitation reactors. **Journal of Food Engineering**, [S. l.], v. 218, p. 33–43, 2018. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2017.08.029.

PAES, Maria Cristina Dias. Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho. **Embrapa Milho e Sorgo**, [S. l.], p. 6, 2006. . Acesso em: 1 jun. 2023.

PARAÍSO, Paulo R.; ANDRADE, Cid M. G.; ZEMP, Roger J. Destilação da Micela I: modelagem e simulação da evaporação do hexano. **Food Science and Technology**, [S. l.], v. 23, n. 3, p. 459–467, 2003. DOI: 10.1590/S0101-20612003000300028. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/cta/a/xSLMPcw6ry3wM5XWDzbK4jp/?lang=pt>. Acesso em: 23 abr. 2023.

PERDOMO, Liliana; BENEIT, Nuria; OTERO, Yolanda F.; ESCRIBANO, Óscar; DÍAZ-CASTROVERDE, Sabela; GÓMEZ-HERNÁNDEZ, Almudena; BENITO, Manuel. Protective role of oleic acid against cardiovascular insulin resistance and in the early and late cellular atherosclerotic process. **Cardiovascular diabetology**, [S. l.], v. 14, n. 1, 2015. a. DOI: 10.1186/S12933-015-0237-9. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26055507/>. Acesso em: 2 maio. 2023.

PERDOMO, Liliana; BENEIT, Nuria; OTERO, Yolanda F.; ESCRIBANO, Óscar; DÍAZ-CASTROVERDE, Sabela; GÓMEZ-HERNÁNDEZ, Almudena; BENITO, Manuel. Protective role of oleic acid against cardiovascular insulin resistance and in the early and late cellular atherosclerotic process. **Cardiovascular Diabetology**, [S. l.], v. 14, n. 1, 2015. b. DOI: 10.1186/s12933-015-0237-9.

PUNIA, Sneh; KUMAR, Manoj; SIROHA, Anil Kumar; PUREWAL, Sukhvinder Singh. **Rice Bran Oil: Emerging Trends in Extraction, Health Benefit, and Its Industrial Application.** *Rice Science*, 2021. DOI: 10.1016/j.rsci.2021.04.002. Disponível em: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Acesso em: 21 jul. 2022.

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. The chemistry of oils and fats and their extraction and refining processes. *Revista Virtual de Química*, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 2–15, 2013. DOI: 10.5935/1984-6835.20130002.

RAPINEL, Vincent; CLAUX, Ombéline; ABERT-VIAN, Maryline; MCALINDEN, Christine; BARTIER, Mickael; PATOUILLARD, Norbert; JACQUES, Laurence; CHEMAT, Farid. 2-Methyloxolane (2-MeOx) as Sustainable Lipophilic Solvent to Substitute Hexane for Green Extraction of Natural Products. Properties, Applications, and Perspectives. *molecules*, [S. l.], v. 25, n. 3417, 2020. DOI: 10.3390/molecules25153417. Disponível em: [www.mdpi.com/journal/molecules](http://www.mdpi.com/journal/molecules). Acesso em: 2 abr. 2023.

RODRIGUES, Christianne E. C.; ONOYAMA, Márcia M.; MEIRELLES, Antonio J. A. Optimization of the rice bran oil deacidification process by liquid-liquid extraction. [S. l.], 2005. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.02.004. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/jfoodeng](http://www.elsevier.com/locate/jfoodeng). Acesso em: 3 maio. 2023.

RODRIGUES, Christianne E. C.; PEIXOTO, Elaine C. D.; MEIRELLES, Antonio J. A. Phase equilibrium for systems composed by refined soybean oil + commercial linoleic acid + ethanol + water, at 323.2 K. *Fluid Phase Equilibria*, [S. l.], v. 261, p. 122–128, 2007. DOI: 10.1016/j.fluid.2007.07.021. Disponível em: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com). Acesso em: 3 maio. 2023.

ROGERS, Robin D.; SEDDON, Kenneth R. Ionic Liquids - Solvents of the Future? *Science*, [S. l.], v. 302, n. 5646, p. 792–793, 2003. DOI: 10.1126/SCIENCE.1090313/ASSET/113B68CF-EEA0-43BB-B405-30789656C992/ASSETS/SCIENCE.1090313.FP.PNG. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1090313>. Acesso em: 3 maio. 2023.

ROOHI, Reza; ABEDI, Elahe; HASHEMI, Seyed Mohammad Bagher; MARSZALEK, Krystian; LORENZO, Jose Manuel; BARBA, Francisco J. Ultrasound-assisted bleaching: Mathematical and 3D computational fluid dynamics simulation of ultrasound parameters on

microbubble formation and cavitation structures. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, [S. l.], v. 55, p. 66–79, 2019. DOI: 10.1016/j.ifset.2019.05.014.

SALEEM, Mohammad; ALI, Hafiz Akbar; AKHTAR, Muhammad Furqan; SALEEM, Uzma; SALEEM, Ammara; IRSHAD, Iram. Chemical characterisation and hepatoprotective potential of *Cosmos sulphureus* Cav. and *Cosmos bipinnatus* Cav. <https://doi.org/10.1080/14786419.2017.1413557>, [S. l.], v. 33, n. 6, p. 897–900, 2017. DOI: 10.1080/14786419.2017.1413557. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14786419.2017.1413557>. Acesso em: 4 maio. 2023.

SALINAS, Francisca et al. The Journal of Supercritical Fluids Supercritical fluid extraction of chã nar (*Geoffroea decorticans*) almond oil: Global yield, kinetics and oil characterization. **J. of Supercritical Fluids**, [S. l.], v. 161, p. 104824, 2020. DOI: 10.1016/j.supflu.2020.104824. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104824>. Acesso em: 21 jul. 2022.

SALLUM, André Lenza. **Análise técnico-econômica do processo de produção do álcool isopropílico**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2023.

SANTOS, Ana Cristina Dos; FERREIRA, Priscila Mendes; LOPES, Cecília Lima; BRAGA, Melissa; VIANA, Natália Moreno. Estudo prospectivo de óleos vegetais. *Em: Embrapa Agroenergia*. Embrapa ed. Brasília. v. 1p. 107. Disponível em: [www.embrapa.br/fale](http://www.embrapa.br/fale). Acesso em: 29 maio. 2023.

SANTOS, Kátia Andressa; DE AGUIAR, Caroline Mariana; DA SILVA, Edson Antônio; DA SILVA, Camila. Evaluation of favela seed oil extraction with alternative solvents and pressurized-liquid ethanol. **The Journal of Supercritical Fluids**, [S. l.], v. 169, p. 105125, 2021. DOI: 10.1016/J.SUPFLU.2020.105125. Acesso em: 20 mar. 2023.

SANTOS, Renata Dinnies; FERRARI, Roseli Aparecida. Extração aquosa enzimática de óleo de soja. **Food Science and Technology**, [S. l.], v. 25, n. 1, p. 132–138, 2005. DOI: 10.1590/S0101-20612005000100022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/WZWHbgj4x5cxnQ6vwBVSBjw/>. Acesso em: 26 jun. 2023.

SETH, S.; AGRAWAL, Y. C.; GHOSH, P. K.; JAYAS, D. S.; SINGH, B. P. N. Oil extraction rates of soya bean using isopropyl alcohol as solvent. **Biosystems Engineering**, [S.

*l.*], v. 97, n. 2, p. 209–217, 2007. DOI: 10.1016/J.BIOSYSTEMSENG.2007.03.008. Acesso em: 23 abr. 2023.

SICAIRE, Anne-Gaëlle; VIAN, Maryline; FINE, Frédéric; JOFFRE, Florent; CARRÉ, Patrick; TOSTAIN, Sylvain; CHEMAT, Farid; CLARK, James H. Alternative Bio-Based Solvents for Extraction of Fat and Oils: Solubility Prediction, Global Yield, Extraction Kinetics, Chemical Composition and Cost of Manufacturing. **Int. J. Mol. Sci**, [*S. l.*], v. 16, p. 8430–8453, 2015. DOI: 10.3390/ijms16048430. Disponível em: [www.mdpi.com/journal/ijmsArticle](http://www.mdpi.com/journal/ijmsArticle). Acesso em: 2 abr. 2023.

SOUZA, Ana Luísa Saraiva; MIRANDA, Julia Stockl; SOUSA, Rita de Cássia Superbi. Caracterização físico-química da amêndoa e do óleo de baru submetido à extração sólido-líquido com solventes alternativos. **Brazilian Journal of Development**, [*S. l.*], v. 5, n. 11, p. 26548–26556, 2019. DOI: 10.34117/bjdv5n11-285.

SU, Dan; XIAO, Tianyu; GU, Dongyan; CAO, Yong; JIN, Yuan; ZHANG, Weinong; WU, Tao. Ultrasonic bleaching of rapeseed oil: Effects of bleaching conditions and underlying mechanisms. **Journal of Food Engineering**, [*S. l.*], v. 117, n. 1, p. 8–13, 2013. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2013.01.039.

TASAN, Murat; DEMIRCI, Mehmet. Total and individual tocopherol contents of sunflower oil at different steps of refining. **European Food Research and Technology**, [*S. l.*], v. 220, n. 3–4, p. 251–254, 2005. DOI: 10.1007/S00217-004-1045-8/METRICS. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-004-1045-8>. Acesso em: 18 maio. 2023.

TOMAZIN JÚNIOR, CELSO. **Extração de óleo de soja com etanol e transesterificação etílica na miscela**. 2008. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, Piracicaba, 2008. Acesso em: 3 abr. 2023.

TURATTI, Jane Menegaldo. Extração de óleos vegetais utilizando-se enzimas no pretratamento das sementes. Campinas, 2000. DOI: 10.47749/T/UNICAMP.2000.186746. Disponível em: [http://acervus.unicamp.br/index.asp?codigo\\_sophia=186746](http://acervus.unicamp.br/index.asp?codigo_sophia=186746). Acesso em: 26 maio. 2023.

UNITED STATES. Oilseeds Production Projected to Grow Faster Than Consumption, Stocks at Record High. **Oilseeds: World Markets and Trade**, [*S. l.*], 2023. Disponível em: <https://public.govdelivery.com/accounts/USDAFAS/subscriber/new>. Acesso em: 30 maio. 2023.

VITAL ÂTMAN, Blog. **O que é prensagem a frio?** 2013. Disponível em: <https://vitalatman.com.br/blog/o-que-e-prensagem-a-frio/>. Acesso em: 18 maio. 2023.

WANG, Bin; SUN, Shangde; YAO, Ning; CHU, Chenxin. A novel method for simultaneous degumming and deacidification of corn oil by miscella refining in one step. **LWT-Food Science and Technology**, [S. l.], v. 137, p. 110480, 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110480. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110480>. Acesso em: 5 jul. 2022.

XIANG, Man; WANG, Ling; YAN, Qiaojuan; JIANG, Zhengqiang; YANG, Shaoqing. High-level expression and characterization of a novel phospholipase C from *Thielavia terrestris* suitable for oil degumming. [S. l.], 2020. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.04.104. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.104>. Acesso em: 2 maio. 2023.

ZHOU, Jianjun; GULLÓN, Beatriz; WANG, Min; GULLÓN, Patricia; LORENZO, José M.; BARBA, Francisco J. The Application of Supercritical Fluids Technology to Recover Healthy Valuable Compounds from Marine and Agricultural Food Processing By-Products: A Review. **Processes** 2021, Vol. 9, Page 357, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 357, 2021. DOI: 10.3390/PR9020357. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-9717/9/2/357/htm>. Acesso em: 23 jul. 2022.