



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRO-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

JIDEANE MENEZES SANTOS

**ÓLEO DE SEMENTE DE ROMÃ (*Punica granatum L.*): MÉTODOS DE
EXTRAÇÃO E PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS**

São Cristóvão/SE

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRO-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

JIDEANE MENEZES SANTOS

**ÓLEO DE SEMENTE DE ROMÃ (*Punica granatum L.*): MÉTODOS DE
EXTRAÇÃO E PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos como requisito à obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Patrícia Beltrão Lessa Constant

São Cristóvão/SE

2021

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

S237o Santos, Jideane Menezes
Óleo de semente de romã (*Punica granatum L.*) : métodos de extração e perfil de ácidos graxos / Jideane Menezes Santos ; orientadora Patrícia Beltrão Lessa Constant. – São Cristóvão, SE, 2021.
54 f. : il.

Dissertação (mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)
– Universidade Federal de Sergipe, 2021.

1. Tecnologia de alimentos. 2. Romã. 3. Óleos vegetais. 4. Extração (Química). 5. Ácidos graxos. I. Constant, Patrícia Beltrão Lessa. II. Título.

CDU 665.3:582.766.1

JIDEANE MENEZES SANTOS

**ÓLEO DE SEMENTE DE ROMÃ (*Punica granatum L.*): MÉTODOS DE
EXTRAÇÃO E PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS**

Dissertação de mestrado
aprovada no Programa de Pós-
Graduação em Ciência e
Tecnologia de Alimentos em
29 de Outubro de 2021.

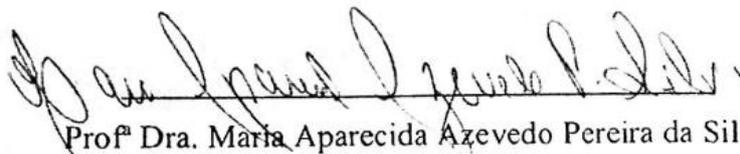
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Patrícia Beltrão Lessa Constant
SLAPE 1548928
DTA/UFS

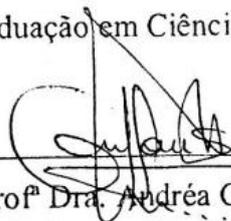
Profª Dra Patrícia Beltrão Lessa Constant

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos-UFS.



Profª Dra. Maria Aparecida Azevedo Pereira da Silva

Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos-UFS.



Profª Dra. Andréa Gomes da Silva
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB

São Cristóvão/SE

2021

Dedico este trabalho a Deus por todo amor e zelo depositado a mim, aos meus amados filhos Anna Beatriz e José Eduardo e ao meu esposo Eduardo pelo amor, companheirismo e apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu salvador, meu socorro bem presente na adversidade, minha pedra de ajuda, minha rocha eterna, meu redentor o qual me sustentou e tem me sustentado em todo o tempo.

A minha orientadora Prof^a. Dr^a. Patrícia Constant, pela confiança, paciência e orientação ao decorrer da realização deste trabalho.

Ao meu esposo Eduardo, por todo amor, compreensão, apoio e companheirismo e principalmente por ser o meu maior incentivador na minha jornada acadêmica.

Aos meus filhos Anna Beatriz e José Eduardo, meus tesouros, por me amarem e por me darem motivos diários para querer crescer e não desistir.

A minha mãe Jocelia e meu pai Jailton, pelo amor, cuidado, proteção, dedicação e por almejamem uma vida melhor para mim e meus irmãos.

Aos meus irmãos Jonatas e Jair, por depositarem em mim admiração. Amo vocês.

Aos meus amigos, pela torcida e por acreditarem no meu potencial mais do que eu mesma.

Aos meus companheiros de trabalhos acadêmicos, Aline Reis, Alysson Caetano, Jucenir dos Santos, Raissa Ingrid e Tuânia Soares pela parceria.

A Juliete Nogueira, por toda disposição, paciência e suporte. Sempre acessível em meus momentos de dúvidas.

A Prof^a. Dr^a. Ângela Borges, por me incentivar a cursar o mestrado e pela disponibilidade.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SANTOS, J. M. Óleo de Semente de Romã (*Punica granatum* L.): Métodos de Extração e Perfil de Ácidos Graxos [Dissertação]. São Cristóvão: Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Sergipe; 2021.

RESUMO

A romã (*Punica granatum* L.), considerada uma das frutas mais antigas, pertence à família Lythraceae e é originária da Ásia. Seu cultivo é amplamente estendido em muitos países tropicais e subtropicais. As suas propriedades nutracêuticas têm atraído a atenção de muitas pesquisas em especial as do óleo obtido das sementes, um resíduo gerado pelas indústrias processadoras de suco. Dessa forma, a presente revisão teve por intuito discorrer sobre o teor de ácidos graxos presentes no óleo de semente da romã bem como oferecer uma visão geral dos principais métodos de extração como os que envolvem o uso de solvente orgânico, prensagem a frio, assistidos por ultrassom e fluido supercrítico. Este estudo trata de uma revisão narrativa, cuja pesquisa foi realizada a partir de artigos científicos e trabalhos acadêmicos no Portal da Capes, nas bases de dados Science Direct, PubMed e Scopus e Google Acadêmico. Foram utilizados alguns descritores como: “pomegranate seed oil” AND “extraction”, “pomegranate seed oil” AND “fatty acids” e “pomegranate seed oil”. A seleção foi realizada considerando apenas trabalhos disponibilizados na íntegra e que tivessem sido publicados entre os anos de 2011 a 2021. De acordo com os estudos avaliados pôde-se verificar o alto teor do ácido púnico, isômero geométrico e posicional do ácido linolênico, o qual representou mais de 80% do total de ácidos graxos em alguns trabalhos. De acordo com a literatura a extração que emprega o uso de solventes orgânico é desvantajosa em relação a alguns aspectos como degradação térmica, alterações químicas e na qualidade do óleo extraído e problemas ambientais. As técnicas que utilizam o fluido supercrítico, ondas ultrassônicas e prensagem a frio são bem avaliadas nesses aspectos em comparação com a anterior.

Palavras-chaves: *Punica granatum* L. Ácido linolênico conjugado. Extração lipídica.

SANTOS, J. M. Pomegranate Seed Oil (*Punica granatum* L.): Extraction Methods and Fatty Acid Profile [Dissertação]. São Cristóvão: Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Sergipe; 2021.

ABSTRACT

The pomegranate (*Punica granatum* L.), considered one of the oldest fruits, belongs to the Lythraceae family and is originally from Asia. Its cultivation is widely spread in many tropical and subtropical countries. Its nutraceutical properties have attracted the attention of many researches, especially the oil obtained from seeds, a residue generated by the juice processing industries. Thus, this review aimed to discuss the content of fatty acids present in pomegranate seed oil as well as to provide an overview of the main extraction methods such as those involving the use of organic solvent, cold pressing, assisted by ultrasound and supercritical fluid. This study is a narrative review, whose research was carried out from scientific articles and academic works on the Capes Portal, in the Science Direct, PubMed and Scopus and Academic Google databases. Some descriptors were used, such as: “pomegranate seed oil” AND “extraction”, “pomegranate seed oil” AND “fatty acids” and “pomegranate seed oil”. The selection was made considering only works available in full and that had been published between the years 2011 to 2021. According to the evaluated studies, it was possible to verify the high content of punic acid, geometric and positional isomer of linolenic acid, which represented more than 80% of the total fatty acids in some works. According to the literature, extraction using organic solvents is disadvantageous in relation to some aspects such as thermal degradation, chemical and quality changes in the extracted oil and environmental problems. Techniques using supercritical fluid, ultrasonic waves and cold pressing are well evaluated in these aspects compared to the previous one.

Palavras-chaves: *Punica granatum* L. Conjugated linolenic acid. Lipid extraction.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. METODOLOGIA	13
3. DESENVOLVIMENTO	14
3.1. Romã (<i>Punica granatum</i> L.).....	14
3.2. Óleo de Semente de Romã.....	16
3.2.1. Perfil de Ácidos Graxos	17
3.2.2. Métodos de Extração de Óleo de Semente de Romã	23
3.2.2.1. Extração por Solvente Orgânico	24
3.2.2.2. Prensagem a Frio	26
3.2.2.3. Extração Assistida por Ultrassom.....	27
3.2.2.4. Extração com Fluido Supercrítico	28
3.2.2.5. Outras Técnicas de Extração	30
4. CONSIDERAÇÕES.....	44
REFERÊNCIAS	45

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Médias de massa fruto (MF), comprimento fruto (CF), diâmetro fruto (DF), espessura da casca (EC), rendimento da casca (RC), rendimento de sementes (RS) e rendimento de suco (RS) de romãs. Serra Talhada-PE.....	16
Tabela 2 - Composição dos principais ácidos graxos de óleo de semente romã (%).....	21
Tabela 3 – Métodos de extração de óleo de semente de romã.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Arbusto de romã	15
Figura 2 - Romã inteira e partida	16
Figura 3 - Estruturas químicas de diferentes ácidos graxos	18
Figura 4 - Ácidos linolênicos conjugados presentes em óleos de sementes de plantas.....	19
Figura 5 - Estrutura química do ácido púnico (C ₁₈ H ₃₀ O ₂).....	20
Figura 6 - Diferentes tipos de cultivares de romã	23
Figura 7 - Extração de óleo com extrator Soxhlet	25
Figura 8 - Extração pelo método Bligh e Dyer	25
Figura 9 - Prensa contínua para extração de óleo (a) e filtração do óleo em filtro-prensa (b)	26
Figura 10 - Banho ultrassônico: visão oblíqua do equipamento tampado e vertical do mesmo aberto.	27
Figura 11 - Sonicador ultrassônico tipo sonda	28
Figura 12 - Planta de extração de óleo essencial por fluido supercrítico	29
Figura 13 - Fluxograma da planta piloto para extração com fluido supercrítico	30
Figura 14 - Reator de microondas.....	31
Figura 15 - Diagrama esquemático do sistema de extração de hexano superaquecido.....	31

1. INTRODUÇÃO

A *Punica granatum*, popularmente conhecida como romã é uma fruta bastante antiga e apreciada em todo o mundo. Pertence a família Lythraceae e tem como provável origem o continente Asiático. Seu cultivo tem-se estendido para diversas partes do planeta por ser um arbusto adaptável, na maioria das vezes, a diversos climas (COSTA; SILVA; TORRES, 2019).

Dentre os produtos naturais, os óleos vegetais têm ganhado atenção ocasionada pelos seus potenciais biológicos (FERREIRA et al., 2016a). As sementes de romã, um precioso subproduto das indústrias, principalmente as que processam sucos, destacam-se em pesquisas relacionadas ao seu conteúdo lipídico visto que o óleo obtido desse resíduo agroindustrial apresenta um alto teor do ácido púnico, um isômero do ácido linolênico e que apresenta diversos atributos que podem agregar benefícios à saúde humana (MELO et al., 2016; YOSHIME et al., 2019).

Entre os ácidos graxos oriundos do óleo de semente de romã podem ser mencionados os ácidos oléico, linoléico, palmítico, esteárico, araquídico e gadoléico, além do ácido púnico já mencionado (GHORBANZADEH; REZAEI, 2017). O teor do ácido púnico, ácido majoritário no óleo, pode ultrapassar 80% nessa matriz lipídica de acordo com alguns estudos avaliados (NATOLINO; DA PORTO, 2019; DE OLIVEIRA SILVA et al., 2019; SANTOS et al., 2021a) a depender do cultivar analisado.

As técnicas de extração tratam-se de operações unitárias que visam separar as substâncias de interesses. Particularmente, a extração de óleos de diversas fontes alimentícias com é o caso das sementes de romã pode ser realizada de diferentes formas, seja por métodos químicos que empregam solventes orgânicos (hexano), métodos mecânicos que utilizam a pressão (prensagem), métodos que utilização ondas ultrassônicas (assistidos por ultrassom) e métodos que aplicam fluidos em seu estado supercrítico como o dióxido de carbono (CO₂).

Diante do exposto, a presente revisão tem por intuito discorrer sobre o teor de ácidos graxos, em especial o ácido púnico, presente no óleo de semente de romã bem como oferecer uma visão geral das principais técnicas de extração como as quem envolvem o uso de solventes orgânicos, prensagem, ultrassom e fluido supercrítico.

2. METODOLOGIA

Foi realizada uma revisão bibliográfica com foco nas diferentes técnicas de extração de óleo de semente de romã (*Punica granatum* L.) bem como a composição de ácidos graxos provenientes dessa matriz lipídica. Este estudo propõe uma revisão narrativa que de acordo com Casarin et al. (2020) é uma forma não sistematizada de revisar a literatura, a qual é importante para buscar atualizações a respeito de um determinado assunto dando ao revisor um suporte teórico em curto período, sendo útil na descrição do estado da arte de um assunto específico, sob o ponto de vista teórico ou contextual.

A pesquisa foi realizada a partir de artigos científicos e trabalhos acadêmicos que tratassem principalmente da extração e perfil de ácidos graxos de óleo de semente de romã. Para tanto foram realizadas buscas do tipo avançadas no Portal da Capes e nas bases de dados Science Direct, PubMed e Scopus. Foram utilizados os seguintes descritores para a busca: “pomegranate seed oil” AND “extraction”, “pomegranate seed oil” AND “fatty acids” e “pomegranate seed oil”. A seleção foi realizada considerando apenas trabalhos disponibilizados na íntegra e que tivessem sido publicados entre os anos de 2011 a 2021. Alguns trabalhos também foram incluídos a partir de pesquisas no Google Acadêmico, com os seguintes descritores “extração de óleo de semente de romã e perfil de ácidos graxos”.

A busca no Portal da Capes resultou em um total de 768 trabalhos sendo 316 para os descritores “pomegranate seed oil” AND “extraction” e 452 para os descritores “pomegranate seed oil” AND “fatty acids”. Nessa busca foi especificado “é (exato)” para os descritores citados anteriormente. No Science Direct, PubMed e Scopus foi utilizado o descritor “pomegranate seed oil”, com filtro para “no título, no resumo e palavras-chave”, resultando em 91, 109 e 372 respectivamente. No Google acadêmico foram 416 resultados.

Para a seleção dos artigos foram usados critérios de inclusão e exclusão. Inicialmente foi realizada a leitura do título, em seguida a dos resumos e por último a leitura do texto completo. Trabalhos duplicados foram excluídos e selecionados aqueles que estudaram os temas propostos para a elaboração dessa revisão.

3. DESENVOLVIMENTO

3.1. Romã (*Punica granatum* L.)

A romã tem ganhado destaque devido as suas características organolépticas (múltiplas cores, sabor agridoce, semente macia) e suas propriedades nutraceuticas (ZHANG et al., 2020). Nas culturas asiáticas, a romã é empregada na medicina tradicional para o tratamento de diferentes doenças (SHABAN et al., 2017). Semelhantemente, as sementes da mesma foram usadas para o tratamento de diversos tipos de distúrbios, na medicina popular e na antiga Ayurveda (HUBER et al., 2017).

É considerada uma das frutas mais antigas e que carrega, tradicionalmente, registro medicinal e ayurvédica em virtude das diversas propriedades terapêuticas, antioxidantes, antiproliferativas, antimicrobianas, antiinflamatórias, protetoras cardiovasculares, antidiabéticas e antiobesidade que influenciam na saúde humana (SHAYGANNIA et al., 2016; MOLLAZADEH et al., 2017; STAWARSKA et al., 2020).

Pertence ao gênero *Punica* e nos últimos anos, a filogênese foi revisada pertencendo agora à família Lythraceae, antiga Punicaceae (ZAREI; SAHRAROO, 2018; FARIA; DE FARIA PEREIRA, 2019; STAWARSKA et al., 2020; ZHANG et al., 2020; TOPALOVIC' et al., 2021). Acredita-se que sua origem seja na Ásia (Irã) e no Mediterrâneo (FERREIRA et al., 2016b; ZAREI; SAHRAROO, 2018).

No Afeganistão, Irã, leste da Índia e China as frutas foram inseridas há cerca de um milênio para serem cultivadas pela primeira vez (VIYAR et al., 2017). Já na América latina foram trazidas no século 18 (COURSODON-BOYIDDLE et al., 2012). Os portugueses foram os responsáveis pela introdução da fruta no Brasil, se adaptando as condições para crescimento vegetativo, florescimento e frutificação de forma satisfatória, porém o seu consumo é muito restrito pela baixa produção (SCHVEITZER; FENILI, 2020).

Na região Nordeste, a maior parte da produção ainda é de pequenos pomares que na maioria das vezes são sem procedência de melhoramento genético, sendo comercializada principalmente nas feiras livres, contudo o cultivo tem tornado-se uma perspectiva promissora para expansão e uma possibilidade economicamente relevante para fruticultura local, em especial para as condições do semiárido (ATAÍDE et al., 2018).

A planta (Figura 1) é um arbusto ramoso ou árvoreta que pode atingir 1,5 a 5 metros de altura, ramos mais ou menos irregulares e espinhosos, com folhas simples e brilhantes, cartáceas, dispostas em grupos de 2 ou 3, de 4 a 8 cm de comprimento, contém flores solitárias, constituídas de corola vermelho-alaranjada e um cálice esverdeado, duro e coriáceo (SHAYGANNIA et al., 2016; SCHVEITZER; FENILI, 2020).

Figura 1 - Arbusto de romã



Fonte: <https://pxhere.com/pt/photo/1431015>

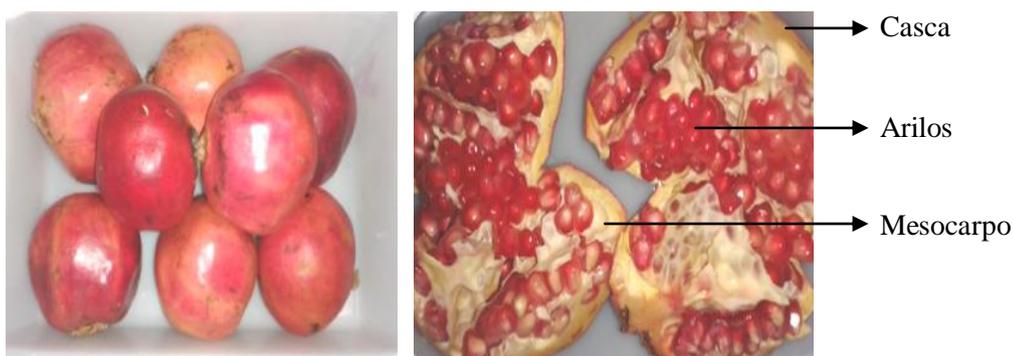
Embora possa se adaptar a diversas condições de climáticas e tipos de solos, a planta é sensível a solos de baixa drenagem tornando o crescimento e a qualidade da mesma prejudicada, assim o maior crescimento, desempenho e qualidade ocorrem em regiões com verões quentes e longos e os solos argilosos arenosos profundos (SHAYGANNIA et al., 2016). Por esse motivo que o cultivo das romãs se dá em regiões tropicais e subtropicais, pois a época de temperaturas elevadas ocorre no mesmo tempo do amadurecimento das frutas (ALCARAZ-MÁRMOL et al., 2017; GARCIA-PASTOR et al., 2020). Segundo Zarei e Sahraroo (2018) as árvores são moderadamente tolerantes a condições de clima e solo desfavoráveis, sendo popular em regiões áridas e semi-áridas com alta salinidade do solo e recursos hídricos limitados.

A romã pode ser apreciada como granada fresca, componente de saladas e sobremesas, na forma de sucos, licores, geléias, doces, condimentos, na fabricação de concentrados;

utilizada como aromatizante e corante na composição de outros produtos da indústria cosmética e têxtil (ATAÍDE et al., 2018; BADR et al., 2020).

A fruta (Figura 2) possui formato de granada, casca brilhante e coriácea, coroada por cálice e dividida, internamente, em suculentos cachos contendo muitos arilos envoltos de suco vermelho (SINGH et al., 2018; BADR et al., 2020).

Figura 2 - Romã inteira e partida



Fonte: Próprio autor

A Tabela 1 mostra algumas características físicas de romãs comercializadas em feira livre e agroecológica e supermercado em Serra Talhada, semiárido pernambucano, resultados da pesquisa de Ataíde et al. (2018).

Tabela 1- Médias de massa fruto (MF), comprimento fruto (CF), diâmetro fruto (DF), espessura da casca (EC), rendimento da casca (RC), rendimento de sementes (RS) e rendimento de suco (RS) de romãs. Serra Talhada-PE.

Tratamentos	MF (g)	CF (mm)	DF (mm)	EC (mm)	RC (%)	RS (%)	RS (%)
Feira Agroecológica	161,43 b	78,82 b	71,63 a	3,29 a	37,77 c	13,52 a	47,71 a
Supermercado	220,56 ab	76,60 b	77,82 a	3,02 a	38,47 bc	11,69 a	49,81 a
Feira Livre	232,70 a	102,10 a	77,10 a	4,04 a	48,23 a	14,93 a	36,84 a
CV(%)	16,84	6,48	6,07	19,80	19,67	19,67	23,22

Fonte: Ataíde et al. (2018)

3.2. Óleo de Semente de Romã

Os óleos podem ser classificados em essenciais (substâncias voláteis extraídas das plantas aromáticas, sendo consideradas matérias-primas importantes para as indústrias medicinais, cosméticas, farmacêuticas e de alimentos) e óleos fixos ou vegetais (são produtos

constituídos principalmente de glicerídeos de ácidos graxos de espécies vegetais e não são voláteis a temperatura ambiente) (LIN; ZHONG; SANTIAGO, 2018; BRUNO; ALMEIDA, 2021). As principais matérias-primas para a produção de óleos vegetais são as sementes, leguminosas, nozes e polpa de frutas (SIANO et al., 2015).

Apesar da riqueza de benefícios para a saúde proveniente do óleo vegetal de semente de romã, as sementes ainda são consideradas resíduos gerados pelas indústrias durante o processamento das frutas em suco e outros produtos (COMUNIAN et al., 2020; KASEKE; OPARA; FAWOLE, 2020), compreendendo de 6,63 a 20% de teor de óleo (SPILMONT et al., 2013; MOLLAZADEH et al., 2017; LEPIONKA et al., 2021; SAHAFI et al., 2021).

Ao óleo de semente de romã são atribuídas propriedades promotoras de saúde (anticancerígenas e cardiovasculares) e aplicabilidade industrial (produtos farmacêuticos e produção de cremes) (KHODDAMI; ROBERTS, 2015).

A composição do óleo de semente de romã consiste em vários compostos biologicamente ativos, por exemplo, compostos fenólicos (quercetina e ácidos fenólicos incluindo vanílico, 3,4-dihidroxifenilacético, síngico, ferúlico, m-cumárico e p-hidroxibenzóico), tocoferóis (α , γ e δ tocoferóis), carotenóides (β -caroteno) e fitoesteróis (campesterol, estigmasterol, sitosterol, Δ^5 -avenasterol e citrostadienol), fosfolipídios, tocotrienóis, triterpenos, ácidos graxos poliinsaturados em destaque o ácido púnico (ácido 9-cis, 11-trans, 13-cis, octadecatrienóico) (SHAYGANNIA et al., 2016; MOLLAZADEH et al., 2017; COMUNIAN et al., 2020; LEPIONKA et al., 2021; SAHAFI et al., 2021).

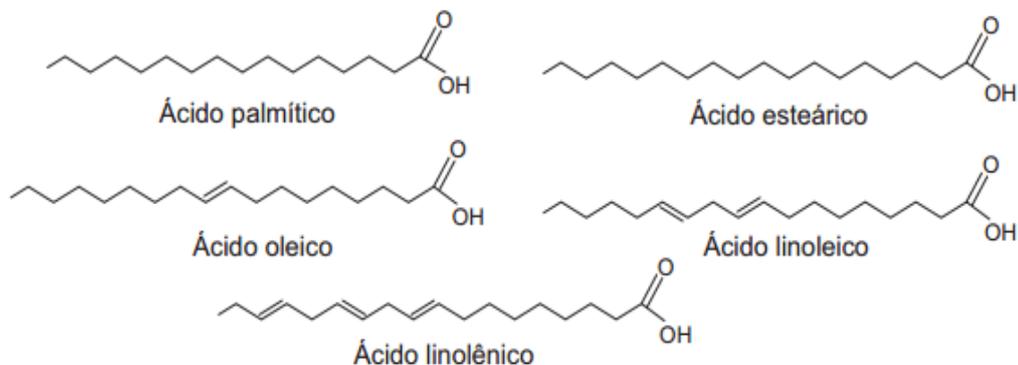
3.2.1. Perfil de Ácidos Graxos

Os ácidos graxos são os componentes principais dos lipídeos (óleos e gorduras), costumam ser classificados como saturados (ligações simples) e insaturados (apresentam uma ou mais ligações duplas), cerca de 99% dessas substâncias são encontrados na forma esterificada com glicerol (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2019).

Os ácidos graxos que apresentam ligações duplas em sua cadeia alifática são considerados insaturados e a configuração natural dessas ligações é a configuração *cis*, ou seja, os carbonos da cadeia estão do mesmo lado da ligação diferentemente da configuração *trans*, onde os carbonos estão em lados opostos (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2019).

As estruturas químicas a seguir (Figura 3) são de alguns ácidos graxos saturados e insaturados bastante conhecidos na literatura, o ácido palmítico (C16:0), o ácido esteárico (C18:0), o ácido oléico (C18:1), o ácido linoléico (C18:2) e ácido linolênico (C18:3).

Figura 3 - Estruturas químicas de diferentes ácidos graxos



Fonte: <https://cantinhodoazeite.com.br>

Os ácidos palmítico e esteárico são considerados ácidos graxos saturados (SFA). O ácido oléico, também conhecido como ômega 9 apresenta apenas uma ligação dupla por isso é considerado ácido graxo monoinsaturado (MUFA), já o linoléico (ômega 6) e o linolênico (ômega 3) apresentam duas e três ligações duplas respectivamente por isso são considerados ácidos graxos poliinsaturados (PUFAs). Os três ácidos graxos insaturados mencionados anteriormente possuem configurações do tipo *cis*.

Os PUFAs são classificados de acordo com o número e a posição das ligações duplas na cadeia de carbono apresentando, em sua maioria, ligações duplas separadas por um grupo metileno (-CH₂-) (VERMONDEN et al., 2021).

- **Ácidos Linolênicos Conjugados**

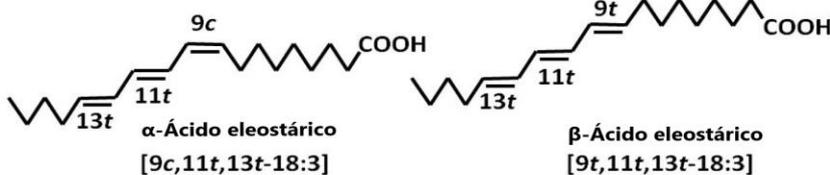
Ácidos linolênicos conjugados (CLnAs) é o termo comumente utilizado para os ácidos graxos isômeros geométricos e posicionais do ácido octadecatrienoico (C18:3) os quais apresentam três ligações duplas conjugadas (ligações simples e duplas alternadas) (BIALEK et al., 2017; HOLIC et al., 2018; NOURI et al., 2018).

Poucas sementes são capazes de produzir ácidos linolênicos conjugados ou ácidos octadecatrienóicos conjugados os quais são ácidos graxos incomuns e com estruturas químicas especiais (SBIHI; NEHDI; AL-RESAYES, 2014).

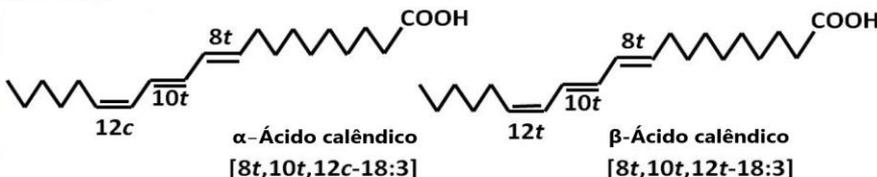
O interesse por esses ácidos graxos conjugados (CFA) tem aumentado em decorrência dos diversos resultados promissores de estudos em animais e humanos referentes às suas atividades biológicas, como propriedades antidiabéticas e anticancerígenas, anti-aterogênica, anti-obesidade, regulação do metabolismo lipídico e atividade antioxidante (BIAŁEK et al., 2016; BIAŁEK et al., 2017). A Figura 4 apresenta algumas plantas que possuem ácidos linolênicos conjugados na composição de suas sementes.

Figura 4 - Ácidos linolênicos conjugados presentes em óleos de sementes de plantas.

Cabaça amarga (>50%)



Calêndula de panela (>30%)



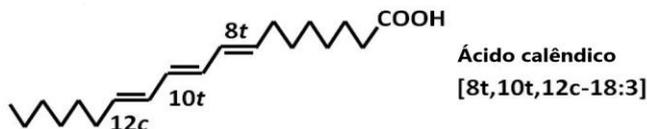
Romã (>70%)



Catalpa (>40%)



Calêndula (>55%)



Jacarandá (>35%)



Fonte: Adaptado de Tanaka et al. (2011)

- **Ácido Púnico**

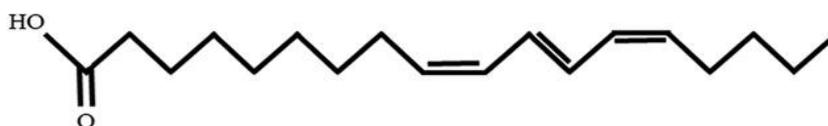
O ácido púnico (PA) é considerado um valioso nutracêutico presente no óleo de semente de romã de grande interesse visto que possui diversos benefícios à saúde (MANTERYYS et al., 2016; KHAJEBISHAK et al., 2019a). Esse isômero do ácido linolênico é o mais importante e dominante no óleo (MANTERYYS et al., 2016; NOURI et al., 2018; DRINIĆ et al., 2020).

Apesar da romã ser a principal fonte de ácido púnico, os óleos de sementes de algumas espécies da família Cucurbitaceae também apresentam o ácido graxo e incluem *Ecballium elaterium* (22%), *Fevillea trilobata* (30%) (HOLIC et al., 2018), *Trichosanthes kirilowii* (33,09 a 39,15%) (YANG et al., 2012) e *Trichosanthes anguina* (40,1%) (SAHA et al., 2012).

Alguns estudos mostram os efeitos promissores do ácido púnico como a sua influência na capacidade quimiopreventiva do câncer (TANAKA et al., 2011), a prevenção da perda óssea em camundongos com osteoporose através da estimulação e inibição osteoclástica e diminuição do estado inflamatório (SPILMONT et al., 2013), sua promissora relevância nutracêutica para o diabetes via expressão aumentada de GLUT-4 e secreção de adiponectina (ANUSREE et al., 2014), o uso potencial para o tratamento de glioma maligno (FERREIRA et al., 2016b), o efeito da suplementação na expressão do gene GLUT-4 e controle glicêmico em pessoas obesas com diabetes tipo 2 (KHAJEBISHAK et al., 2019b) e é altamente citotóxico e desencadeia morte celular ferroptótica em células de carcinoma (VERMONDEN et al., 2021).

A nomenclatura sistemática do ácido púnico é cis-9, trans-11, cis-13-octadecatrienóico (GUPTA et al., 2012; XU et al., 2020). Na prática o ácido púnico apresenta duas ligações duplas com configurações do tipo *cis* nos carbonos 9 e 13 e uma ligação dupla com configuração *trans* no carbono 11. Na Figura 5 pode-se observar a estrutura química do referido ácido graxo.

Figura 5 - Estrutura química do ácido púnico (C₁₈ H₃₀ O₂).



Fonte: Khajebishak et al. (2019a)

Os ácidos graxos com ligações duplas na configuração *cis* são mais curvados e possuem pontos de fusão menores em comparação com aqueles que apresentam a configuração *trans*, esses são mais lineares e apresentam pontos de fusão mais elevados (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2019). Dessa forma, o ácido graxo linolênico (*cis*-9, *cis*-12, *cis*-15-octadecatrienóico), embora tenha o mesmo número de insaturações que o seu isômero, o ácido púnico (*cis*-9, *trans*-11, *cis*-13-octadecatrienóico), possui maior curvatura e menor ponto de fusão em comparação com o mesmo.

Outros ácidos graxos fazem parte do conteúdo total do óleo de semente de romã, além do ácido púnico. Podem ser citados os ácidos oléico (C18:1), linoléico (C18:2), palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), araquídico (C20:0) e gadoléico (C20:1). A Tabela 2 exibe a composição desses ácidos graxos estudados por alguns autores. Os teores verificados foram dispostos em razão do método de extração empregado para a obtenção do óleo de semente de romã.

Tabela 2 - Composição dos principais ácidos graxos de óleo de semente romã (%).

Ácidos graxos	Extração por Solvente (Hexano)		
	Tian et al. (2013)	Ghorbanzadeh e Rezaei (2017)	Natolino e da Porto (2019)
Ácido palmítico (C16:0)	5,34 ± 0,22	3,91 ± 0,16	3,7 ± 0,1
Ácido esteárico (C18:0)	4,65 ± 0,21	2,61 ± 0,04	1,73 ± 0,02
Ácido oléico (C18:1)	10,08 ± 0,17	8,01 ± 0,12	4,2 ± 0,1
Ácido linoléico (C18:2)	14,89 ± 0,12	6,81 ± 0,11	6,1 ± 0,3
Ácido púnico (C18:3)	65,04 ± 0,08	77,23 ± 0,34	84,2 ± 0,4
Ácido araquídico (C20:0)	-	0,58 ± 0,00	-
Ácido gadoléico (C20:1)	-	0,86 ± 0,01	-

Ácidos graxos	Extração por Prensagem a Frio		
	Khoddami, Man e Roberts (2014)	Ghorbanzadeh e Rezaei (2017)	de Oliveira Silva et al. (2019)
Ácido palmítico (C16:0)	4,61 ± 0,23	4,00 ± 0,28	1,17 ± 0,03
Ácido esteárico (C18:0)	2,64 ± 0,06	2,40 ± 0,14	1,85 ± 0,11
Ácido oléico (C18:1)	7,62 ± 0,14	7,80 ± 0,14	4,15 ± 0,24
Ácido linoléico (C18:2)	8,20 ± 0,16	7,45 ± 0,35	3,84 ± 0,23
Ácido púnico (C18:3)	76,10 ± 0,62	77,05 ± 0,91	75,9 ± 3,09
Ácido araquídico (C20:0)	0,20 ± 0,02	0,50 ± 0,01	0,43 ± 0,17
Ácido gadoléico (C20:1)	0,65 ± 0,02	0,75 ± 0,07	0,65 ± 0,07

Tabela 2 (Continuação) - Composição dos principais ácidos graxos de óleo de semente romã (%).

Ácidos graxos	Extração por Fluido Supercrítico (CO ₂)		
	Tian et al. (2013)	de Oliveira Silva et al. (2019)	Natolino e da Porto (2019)
Ácido palmítico (C16:0)	5,58 ± 0,08	0,98 ± 0,10	3,3 ± 0,4
Ácido esteárico (C18:0)	4,23 ± 0,06	0,76 ± 0,03	1,49 ± 0,03
Ácido oléico (C18:1)	10,34 ± 0,05	1,58 ± 0,07	3,9 ± 0,2
Ácido linoléico (C18:2)	12,99 ± 0,06	3,43 ± 0,16	5,9 ± 0,2
Ácido púnico (C18:3)	66,88 ± 0,05	80,7 ± 1,45	85,4 ± 0,4
Ácido araquídico (C20:0)	-	0,21 ± 0,02	-
Ácido gadoléico (C20:1)	-	0,48 ± 0,02	-

Ácidos graxos	Extração Assistida por Ultrassom		
	Tian et al. (2013)	Kaseke, Opara e Fawole (2020)	Kaseke, Opara e Fawole (2021a)
Ácido palmítico (C16:0)	5,97 ± 0,05	5,66 ± 0,35	8,10 ± 0,38
Ácido esteárico (C18:0)	3,85 ± 0,07	2,34 ± 0,11	2,32 ± 0,07
Ácido oléico (C18:1)	9,45 ± 0,04	7,43 ± 0,30	10,17 ± 0,42
Ácido linoléico (C18:2)	12,87 ± 0,10	12,09 ± 1,25	15,95 ± 0,72
Ácido púnico (C18:3)	67,85 ± 0,04	70,51 ± 1,96	62,60 ± 0,83
Ácido araquídico (C20:0)	-	0,53 ± 0,02	0,73 ± 0,04
Ácido gadoléico (C20:1)	-	-	-

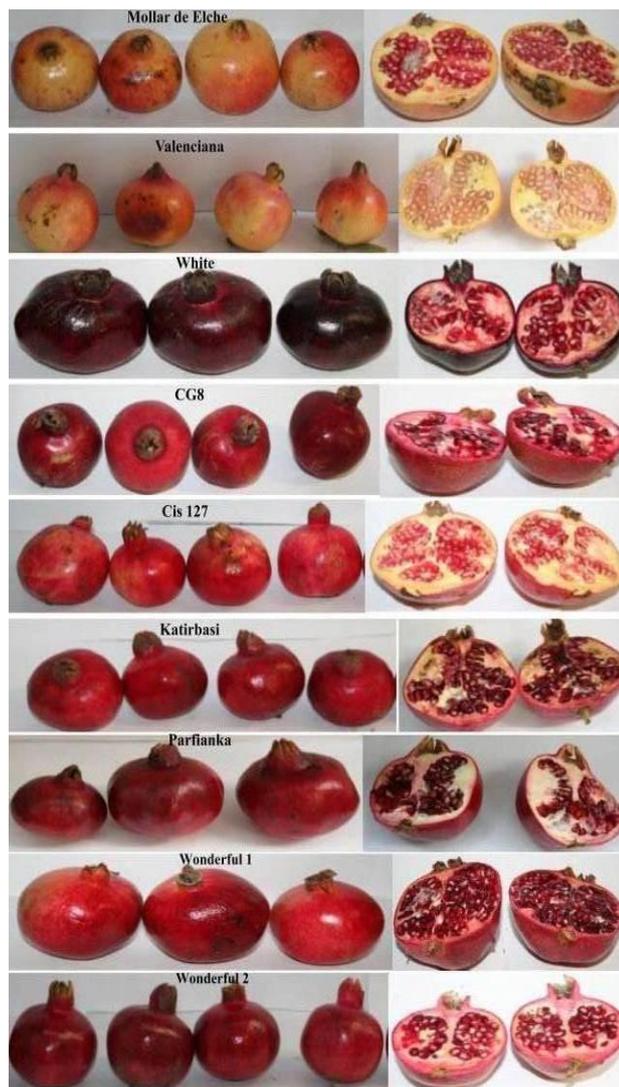
Analisando o percentual do ácido púnico obtido pelos estudos empregando diferentes métodos de extração do óleo de semente de romã (Tabela 2), a extração utilizando o solvente hexano apresentou teores variados (65,04%, 77,23% e 84,2%). Já na prensagem a frio pode-se observar, de forma geral, semelhanças nos teores 76,10%, 77,05% e 75,9%. Na extração com o fluido supercrítico (CO₂) nota-se os maiores valores (80,7% e 85,4%) embora haja um teor relativamente baixo (66,88%). Na extração assistida por ultrassom verifica-se os menores percentuais, de forma geral, para o ácido púnico (67,85%, 70,51% e 62,60%).

Vale ressaltar que, embora tenham sido relacionadas às técnicas de extração, não seria conveniente, em primeiro momento, afirmar qual ou quais técnicas são mais relevantes e/ou mais eficazes para obter maiores teores de ácido púnico, pois o teor de ácidos graxos pode variar com o cultivar (ELFALLEH et al., 2011).

Fernandes et al. (2015) relataram em seu estudo sobre a caracterização dos principais constituintes presentes nos óleos de sementes de nove variedades de romã de origem européia, coletadas na Espanha, as diferenças no teor de ácido púnico em relação as variedades de

romã. Na pesquisa foram avaliadas os seguintes cultivares: CG8, Cis 127, Mollar de Elche, Parfianka, Katirbasi, Valenciana, White, Wonderful 1 e Wonderful 2. O cultivar Wonderful 2 apresentou o maior teor de ácido púnico no óleo (83,6%); entretanto, o cultivar Katirbasi apresentou a maior concentração do referido ácido nas sementes. Na Figura 6 tem-se os nove cultivares avaliados no estudo citado.

Figura 6 - Diferentes tipos de cultivares de romã



Fonte: Fernandes et al. (2015)

3.2.2. Métodos de Extração de Óleo de Semente de Romã

Diversos métodos de extração têm sido empregados para obter óleo de semente de romã. Entre as várias técnicas serão mencionadas as extrações com solvente, prensagem a

frio, fluido supercrítico, assistida por ultrassom, assistida por microondas, enzimática, aquosa e hexano superaquecido.

3.2.2.1. Extração por Solvente Orgânico

A extração utilizando solventes orgânicos para a obtenção de óleos de sementes é uma das técnicas mais empregadas para esse fim. É considerada uma técnica de extração convencional ou tradicional.

O hexano, um derivado de petróleo, é o solvente mais aplicado na indústria por algumas vantagens a principal delas é o seu baixo ponto de ebulição que contribui para minimizar a decomposição do óleo e sua característica de extrair quase a totalidade do óleo desejado (RAMALHO; SUAREZ, 2013; SILVA, 2013).

As principais desvantagens da extração são tempo relativamente alto associado, na maioria das vezes, a altas temperaturas, elevada utilização de solventes, extratos com traços de solvente e degradados termicamente com alterações químicas e na qualidade, além de problemas ambientais como perda do solvente e poluição (ROSA, 2017; GOULA et al., 2018; NATOLINO; DA PORTO, 2019).

A secagem e a moagem das sementes fazem necessárias, previamente, para aumentar o rendimento do processo de extração do óleo, durante essas etapas ocorre à ruptura das paredes das células do material tornando possível o contato do solvente com o soluto, ou seja, aumentando a área de contato dos mesmos (CUNHA et al., 2020).

O óleo pode ser solubilizado no solvente por duas maneiras: através da dissolução por simples contato entre as células vegetais destruídas durante a prensagem ou moagem, ou por intermédio da difusão, onde o óleo passa lentamente as paredes semipermeáveis das células intactas para o meio líquido (RAMALHO; SUAREZ, 2013).

A extração com solvente utilizando o extrator Soxhlet é a principal técnica utilizada como referência para comparação com outros métodos, sendo baseada na reutilização do solvente por meio de refluxo em um processo intermitente, contribuindo para a transferência do óleo da amostra para o solvente (CUNHA et al., 2020). A Figura 7 mostra um processo de extração de óleo utilizando o extrator Soxhlet.

Figura 7 - Extração de óleo com extrator Soxhlet



Fonte: Lorenzo et al. (2011)

Outro método que utiliza solvente para extração de óleo é a extração a frio proposta por Bligh e Dyer (Figura 8). Na extração ocorre a formação de um sistema bifásico baseado pela teoria líquido-líquido de três componentes (clorofórmio/metanol/água) em proporções diferentes e que possui a vantagem de extrair todas as classes de lipídeos sem a utilização de aquecimento e equipamentos sofisticados (RIPKE; PALEZI; NOBRE, 2016).

Figura 8 - Extração pelo método Bligh e Dyer



Fonte: Leite e Souza (2019)

3.2.2.2. Prensagem a Frio

O método de prensagem a frio é um muito utilizado na extração de óleo de sementes, proporciona um óleo de alta qualidade em decorrência de não utilizar tratamentos térmicos ou químicos, contudo o processo possui taxa de extração baixa além de consumir elevadas quantidades de energia, em grande parte dos casos (ĐURĐEVIĆ et al., 2017; LIN; ZHONG; SANTIAGO, 2018).

É um tipo de extração que utiliza a pressão para obtenção de óleo de diversas fontes. Destaca-se por ser um método simples, rápido e que pode ser combinado com outras técnicas de extração como as que fazem uso de solventes (processo misto de extração) (BENTO et al., 2017). A maior vantagem do método, quando utilizado sozinho, é a não necessidade de remoção de solvente, dessa forma, torna-se um processo ambientalmente correto em comparação com a extração com solventes orgânicos (KHODDAMI; MAN; ROBERTS, 2014).

Industrialmente, a extração por prensagem é realizada através das prensas contínuas tipo parafuso onde um eixo helicoidal gira num cesto formado por barras de aço retangulares espaçadas através de lâminas que variam sua espessura, a depender da semente empregada (SILVA, 2013). Na Figura 9 são mostrados uma prensa contínua e um filtro prensa para extração de óleos vegetais.

Figura 9 - Prensa contínua para extração de óleo (a) e filtragem do óleo em filtro-prensa (b)



Fonte: Ramalho e Suarez (2013)

Nesses equipamentos há a compressão e movimentos da matéria-prima para frente, na saída há um cone regulável (aumenta ou diminui a abertura para saída do material); ao final

da extração são obtidos dois materiais: a torta (parte sólida) e o óleo ou gordura na forma bruta, esses são encaminhados para a filtragem das partículas sólidas presentes num equipamento denominado filtro-prensa e posteriormente para etapas de purificação, já a torta é conduzida para a extração com solvente (RAMALHO; SUAREZ, 2013).

3.2.2.3. Extração Assistida por Ultrassom

A extração assistida por ultrassom tem tornado-se uma possibilidade promissora para obtenção de óleos em comparação com o método de extração convencional por solvente orgânico. É baseada na emissão de ondas ultrassônicas que causam mudanças físicas e químicas devido à variação de pressão, gerando a cavitação e microjatos nos líquidos; aquecimento, descamação da superfície, erosão e ruptura nos sólidos e instabilidade na superfície da interface de sistemas líquido-líquido e líquido-gás (GOULA, 2013; PEREIRA; SOARES DIAS; TERRA CREXI, 2017).

Tem como principais vantagens a simplicidade do equipamento, a economia do custo inicial, a possibilidade de usar diferentes solventes, a diminuição do tempo e o aumento do rendimento. Os equipamentos mais usados para os processos de extração são os banhos ultrassônicos (Figura 10) no qual são acoplados transdutores na base de um tanque de aço inoxidável conectados a um equipamento elétrico nas condições necessárias para excitação e os do tipo sonda (Figura 11) que transmitem a energia ultrassônica produzida por um transdutor através de uma sonda metálica ao meio (ROSA, 2017).

Figura 10 - Banho ultrassônico: visão oblíqua do equipamento tampado e vertical do mesmo aberto.



Fonte: próprio autor

Figura 11 - Sonicador ultrassônico tipo sonda



Fonte: <http://www.splabor.com.br>

3.2.2.4. Extração com Fluido Supercrítico

A extração com fluido supercrítico apresenta uma das técnicas limpas e eficientes que foram desenvolvidas nas últimas décadas (ĐURĐEVIĆ et al., 2017). Surgiu como uma alternativa para ser empregada em substituição aos solventes orgânicos e satisfazer as exigências das indústrias alimentícias e farmacêuticas por produtos ultra puros, pois apresenta características vantajosas como a obtenção de extratos de alto valor agregado e composição atrativa, isentos de solventes orgânicos, não degradados termicamente, além de contribuir com o meio ambiente por se tratar de uma tecnologia limpa e seletiva (COSTA, 2013).

Entretanto, em virtude dos onerosos custos da utilização dessa tecnologia, os produtos obtidos possuem valores elevados acarretando em baixa competitividade e limitações na aplicabilidade da tecnologia supercrítica (GOMES; BRITO, 2014)

Resumidamente, uma extração supercrítica consiste em duas etapas, a primeira delas é a extração, onde os compostos a serem extraídos são solubilizados no gás solvente (pode ser empregado vaso com ou sem agitação, colunas de pratos ou de recheio e outro tipo de extrator) e a segunda, a separação, constituída pela utilização de métodos adequados (mudança na pressão e/ou temperatura e uso de material separador auxiliar que pode adsorver ou absorver o produto) (COSTA, 2013).

Uma substância no estado supercrítico está numa fase intermediária entre o estado líquido e gasoso, dessa forma, engloba as melhores características das duas fases (GOMES; BRITO, 2014). As principais características de fluidos supercríticos são que apresentam alta difusividade, baixa viscosidade, baixa tensão superficial e pequenos acréscimos nas variáveis temperatura e pressão contribuem para elevadas mudanças na densidade (NATOLINO; DA PORTO, 2019).

Diversos fluidos podem ser utilizados como solventes em estado supercrítico podendo ser citados o dióxido de carbono, etano, etanol, etileno, propano, propileno, ciclohexano, benzeno, tolueno, clorotrifluormetano, triclorofluormetano, amônia e água (ROSA, 2017).

O fluido comumente empregado nas extrações supercríticas é o dióxido de carbono (CO_2), o qual é inerte, não tóxico, não inflamável, pode ser recuperado como um subproduto de muitos processos, permite a extração em temperatura mais baixa ($31,1\text{ }^\circ\text{C}$) e pressão crítica relativamente baixa (7,38 MPa), baixo custo e disponibilidade (ĐURĐEVIĆ et al., 2017; NATOLINO; DA PORTO, 2019). Na extração de óleo de semente de romã com dióxido de carbono o resultado é um produto altamente concentrado em ácido linolênico conjugado (CLnA), em compostos fenólicos e tocoferóis (DE OLIVEIRA SILVA et al., 2019).

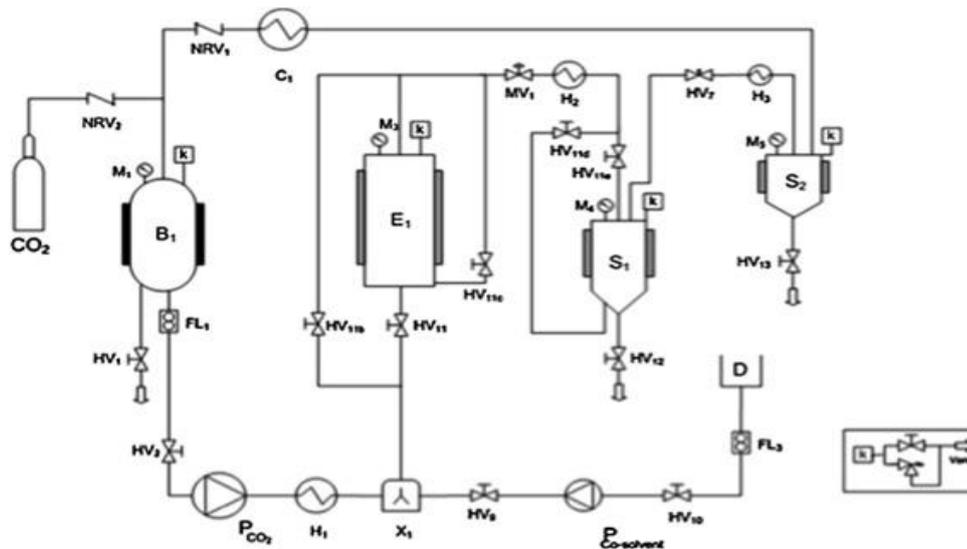
Na Figura 12 tem-se a ilustração de uma planta de extração de óleo essencial por fluido supercrítico. Em sequência, na Figura 13, o fluxograma da planta piloto também de extração empregando fluido supercrítico.

Figura 12 - Planta de extração de óleo essencial por fluido supercrítico



Fonte: Patel et al. (2011)

Figura 13 - Fluxograma da planta piloto para extração com fluido supercrítico



Fonte: Natolino e da Porto (2019)

3.2.2.5. Outras Técnicas de Extração

- **Extração Assistida por Microondas**

A extração assistida por microondas é um processo que surgiu como mais um método promissor e alternativo de extração de compostos nos últimos anos. As pesquisas têm sido cada vez mais aprofundadas para a utilização dessa tecnologia no lugar das técnicas convencionais de extração de compostos naturais como pectina, óleo essencial e compostos fenólicos (ÇAVDAR et al., 2017).

Na extração assistida de óleos vegetais o uso de radiação de microondas oferece tempos de processamento reduzidos e economia de energia, pois a mesma é fornecida diretamente aos materiais por meio da interação molecular com o campo eletromagnético resultante da geração de calor em todo o material. A umidade restante das sementes, mesmo passando por uma prévia secagem, serve como foco para o aquecimento que promove uma pressão na membrana celular da semente (ĐURĐEVIĆ et al., 2017). Na Figura 14 tem-se um reator de microondas.

Figura 14 - Reator de microondas

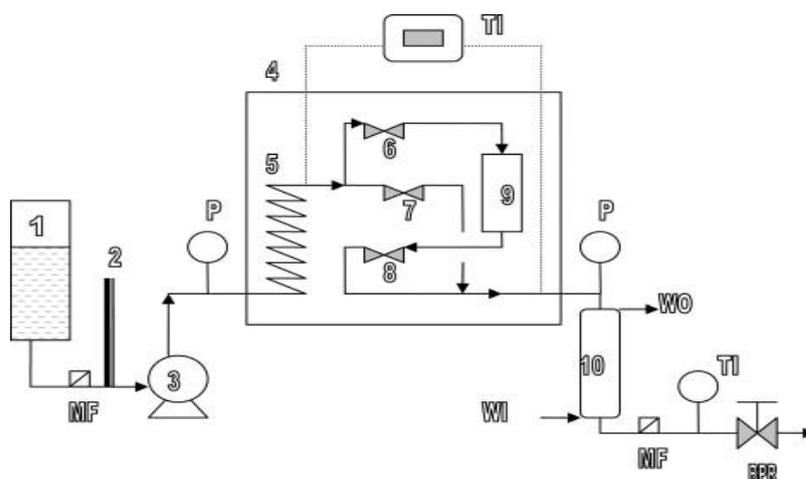


Fonte: <https://www.manualslib.com>

- **Extração com Solvente Superaquecido**

É um processo que combina temperatura e pressão com solventes para obter uma extração rápida e eficiente de diversos compostos, onde os solventes pressurizados permanecem no estado líquido, mesmo acima de seus pontos de ebulição à pressão atmosférica normal, permitindo a extração em alta temperatura (EIKANI; GOLMOHAMMADA; HOMAMI, 2012). A Figura 15 apresenta um fluxograma esquemático para a extração com solvente superaquecido.

Figura 15 - Diagrama esquemático do sistema de extração de hexano superaquecido



Fonte: Eikani, Golmohammada e Homami (2012)

Outras técnicas de extração de compostos, incluindo óleos, têm ganhado destaque como a extração alcoólica (DE OLIVEIRA SILVA et al., 2019), a extração aquosa (GHORBANZADEH; REZAEI, 2017), extração enzimática assistida por ultrassom (GOULA et al., 2018; SANTOS et al. 2021b), extração com fluido supercrítico com pré-tratamento de microondas (ĐURĐEVIĆ et al., 2017) e extração com ultrassom com pré-tratamento enzimático (KASEKE; OPARA; FAWOLE, 2021b).

A tabela 3 expõe alguns estudos onde o óleo de semente de romã foi extraído por diferentes técnicas de extração. São relatadas as condições operacionais do processo empregado e algumas observações quanto a rendimento e teor de ácidos graxos.

Tabela 3 – Métodos de extração de óleo de semente de romã

Tipo de Extração / Condições Utilizadas	Rendimento e Composição de Ácidos graxos	Referência
<p>• Preparo da amostra: Cultivar: Siahdaneh Shirazi. As sementes foram secas a 105 °C por 24 h com teor de umidade de 1,7% em peso (base seca). Para SHHE foram moídas e peneiradas (0,25 a 1,00 mm), para a SE foram somente trituradas e na CP as sementes foram utilizadas sem trituração.</p> <p>• Extração com Hexano Superaquecido (SHHE): Massa da amostra: 3 g; Temperatura: 80 °C a 120 °C; Tamanho da partícula: 0,25 a 1,00 mm; Fluxo: 0,5 a 2,0 mL/min; Pressão: 20 bar; Tempo: 20 minutos.</p>	<p>• Extração por Soxhlet (SE): Massa da amostra: 20 g; N-hexano: 200 mL; Tempo: 24 horas.</p> <p>• Prensagem a Frio (CP): Massa da amostra: 20 g; Tempo: 72 horas; Pressão: menor que 10 toneladas.</p>	<p>A temperatura ótima de extração, o tamanho médio de partícula e a taxa de fluxo foram selecionados em 80 °C, 0,25 mm e 1 mL/min, respectivamente.</p> <p>A SHHE mostrou uma maior eficiência de extração (22,18% em peso) em 2 h do que a SE (17,94% em peso) por 24 horas e CP (4,29% em peso) por 72 h.</p> <p>O perfil de ácidos graxos para SHHE foi mais semelhante ao obtido pela CP.</p>
<p>• Preparo da amostra: As sementes foram secas em secador de bandeja de ar circulante a 45 °C por 3 dias, moídas e peneiradas (60 mesh).</p>	<p>• Extração Assistida por Ultrassom (UAE): Potência ultrassônica: 140 a 180 W; Temperatura: 35 a 45 °C; Tempo: 20 a 40 min; Relação S/S: 9 a 11 mL/g.</p>	<p>Os rendimentos foram 25,11% para a UAE (condições otimizadas: 140 W, 40 °C, 36 minutos e 10 mL/g); 20,50% para a SE e 15,72% para SFE.</p> <p>Tian et al. (2013)</p>

Tabela 3 (Continua) – Métodos de extração de óleo de semente de romã

Tipo de Extração / Condições Utilizadas		Rendimento e Composição de Ácidos graxos	Referência
<ul style="list-style-type: none"> • Extração por Soxhlet (SE): Massa da amostra: 5 g; N-hexano: 150 mL; Tempo: 3 horas; Temperatura: 60 °C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Extração com Fluido Supercrítico (SFE): Massa da amostra: 250 g; Fluido empregado: CO₂; Pressão: 38 MPa; Temperatura: 47 °C; Fluxo: 21 L/h; Tempo: 2 horas. 	<p>O éter de petróleo foi o solvente mais eficaz para a extração de óleo, seguido por n-hexano, acetona, éter dietílico, acetato de etila e iso-propanol.</p> <p>As composições de ácidos graxos foram significativamente diferentes entre o óleo extraído por SE, SFE e UAE, com o ácido púnico (> 65%) sendo o mais dominante usando a UAE.</p>	Tian et al. (2013)
<ul style="list-style-type: none"> • Preparo da amostra: Cultivar: Wonderful. As sementes foram secas a 60 °C por 48 h e moídas (0,2, 1,0, 1,8, 2,6 e 3,4 mm). • Extração Convencional (CE): Massa da amostra: 5 g; Hexano: 20 mL; Agitação magnética; Tempo: 4 horas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Extração Assistida por Ultrassom (UAE) (condições otimizadas): Tamanho de partícula: 0,2 mm; Tempo: 20 minutos; Temperatura: 20 °C; Proporção solvente/sólido: 20/1; Nível de amplitude: 60%; Relação duração do pulso/intervalo do pulso: 5/15. 	<p>Rendimentos de 302,3 a 446,3 g de óleo/kg de sementes (em comparação com o método convencional).</p> <p>Nas condições ótimas o rendimento da extração foi de cerca de 60%.</p>	Goula (2013)

Tabela 3 (Continuando) – Métodos de extração de óleo de semente de romã

Tipo de Extração / Condições Utilizadas	Rendimento e Composição de Ácidos graxos	Referência
<ul style="list-style-type: none"> • Preparo da amostra: Cultivar: Torshe Malas e dois óleos comerciais do Irã e da Turquia. As sementes foram secas a 37 °C até atingir um teor de umidade constante. • Prensagem a Frio (CP): Um expulsor foi usado para extrair o óleo das sementes. 	<p>O uso do expulsor de prensa fria resultou na perda de 46% do óleo em comparação com o método de extração com éter.</p> <p>A análise de ácidos graxos indicou que todas as amostras de óleo tinham um ácido graxo dominante, o ácido púnico (75,23 a 78,23%), com os outros ácidos graxos proeminentes sendo os ácidos linoléico (6,63 a 8,68%) e oléico (7,12 a 8,04%).</p>	<p>Khoddami, Man e Roberts (2014)</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Preparo da amostra: Cultivar: Hicaznar. As sementes foram secas até um teor de umidade de 3,5% em estufa a vácuo a 35 °C por 3 horas, moídas e peneiradas através de malhas (0,125 a 0,450, 0,450 a 0,530 e 0,530 a 0,800 mm). • Extração Soxhlet (SE): Massa da amostra: 10 g; N-hexano: 220 mL; Temperatura: 110 °C; Tempo: 8 horas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Extração com Solvente Frio (CSE): Massa da amostra: 40 g; N-hexano: 400 mL; Agitação magnética; Tempo: 8 horas. Temperatura: 25 °C. • Extração Assistida por Microondas (MASE): Potência: 176 a 300 W; Tempo: 5 a 20 minutos; Tamanho de partícula: 0,1250, 800 mm; Solvente: n-hexano; Relação solvente e amostra: 2:1, 6:1 e 10:1, em massa. <p>O maior rendimento de extração previsto (35,19%) foi obtido usando potência de microondas de 220 W, tamanho de partícula na faixa de 0,125 a 0,450 mm e razão solvente para amostra de 10:1 em 5 minutos.</p> <p>A MASE resultou em maior rendimento de extração do que SE (34,70% em 8 h) ou CSE (17,50% em 8 h).</p>	<p>Çavdar et al. (2017)</p>

Tabela 3 (Continuando) – Métodos de extração de óleo de semente de romã

Tipo de Extração / Condições Utilizadas		Rendimento e Composição de Ácidos graxos	Referência
<p>• Preparo da amostra: As sementes foram pulverizadas com um moedor e passadas por uma peneira de 40 mesh.</p> <p>• Extração Aquosa (AqE): Relações A/S: 1,0 a 3,0 (mL/g); pH: 3,0 a 11,0; Temperatura: 10 a 70 °C; Tempo: 30 a 390 minutos; Taxa de agitação: 100 rpm; Centrifugação: 5000 × g por 10 minutos.</p>	<p>• Extração por Soxhlet (SE): Massa da amostra: 10 g; N-hexano: 250 mL; Temperatura: 68 °C; Tempo: 6 horas.</p> <p>• Prensagem a Frio (CP): Temperatura: 26 ± 2 °C; Fluxo: 6,25 kg/hora.</p> <p>• Prensagem a Quente (HP): Temperatura: 50 °C; Fluxo: 6,25 kg/hora.</p>	<p>A AqE resultou na recuperação máxima de óleo de 19,3% (p/p), obtida sob os seguintes valores críticos: relação água/sólido (2,2:1,0, mL/g), pH 5,0, temperatura de extração = 63 °C e tempo de extração = 375 min. Este rendimento é inferior ao obtido pela SE (26,8%, p/p) e maior do que os rendimentos da CP (7,0%, p/p) e HP (8,6%, w/w).</p> <p>A comparação das características dos óleos com base no método de extração revelou que o teor de ácidos graxos insaturados foi maior para o óleo obtido por extração aquosa: 81,40% (púnico), 6,14% (oléico), 5,89% (linoléico) e 0,84% (Gadoléico).</p>	Ghorbanzadeh e Rezaei (2017)
<p>• Preparo da amostra: As sementes foram secas ao ar em temperatura ambiente (4 a 6 dias), moídas e peneiradas (malhas de 0,2, 0,5 e 1 mm).</p>	<p>• Pré-tratamento com Microondas: Frequência: 2,450 MHz; Potência: 100, 250 e 600 W; Temperatura: 63 a 136 °C Tempo: 2 e 6 min.</p>	<p>Com o pré-tratamento com microondas os rendimentos aumentaram até 31% (SE) e até 26% (SFE).</p>	Đurđević et al. (2017)

Tabela 3 (Continuando) – Métodos de extração de óleo de semente de romã

Tipo de Extração / Condições Utilizadas		Rendimento e Composição de Ácidos graxos	Referência
<ul style="list-style-type: none"> Extração com Fluido Supercrítico (SFE): Massa da amostra: 10 g; Fluido empregado: CO₂; Pressão: 37,9 MPa; Temperatura: 47 °C; Fluxo: 0,3 kg/h; Tempo: 8,3 horas. 	<ul style="list-style-type: none"> Extração por Soxhlet (SE): Massa da amostra: 20 g; N-hexano: 250 mL; Tempo: 8 horas. 	<p>O maior rendimento de óleo para a SE foi de 36,3% nas seguintes condições de pré-tratamento de microondas: 6 min e potência de 600 W. Já para a SFE foi de 27,2% nas seguintes condições de pré-tratamento de microondas: 250 W e 6 min.</p>	Đurđević et al. (2017)
<ul style="list-style-type: none"> Preparo da amostra: Variedade mista. As sementes limpas foram secas ao sol e trituradas por 20 segundos. Extração com diferentes Solventes: Solventes: hexano, éter de petróleo, clorofórmio, clorofórmio:metanol (2:1 v/v) e etanol; Proporção amostra e solvente: 1:5; Temperatura: 28 a 30 °C; Agitação: 460 rpm. 	<ul style="list-style-type: none"> Extração por Soxhlet (SE) – Efeito do tempo e da temperatura: Temperaturas: 28 a 30, 40, 50 e 60 °C; Tempo: 5, 10, 15 e 30 min e 1, 2, 4 e 8 h. Extração por Soxhlet (SE) – Efeito do Tamanho da Partícula: Tamanho da partícula: 1600 - 118 µm; Malhas: 14GG (1600 mm), 16GG (1320 mm), 20GG (1000 mm), 45WM (0,400 mm), 9XXX (0,150 mm), 11XXX (0,118 mm); Tempo: 8 h. 	<p>A fração de pó de semente de romã (9XXX) forneceu o maior rendimento de óleo de semente de romã do que as outras, rendendo 39% (p/v) de óleo extraído à temperatura ambiente (28 - 30 °C, 8 h).</p>	Aruna, Manohar e Singh (2018)
<ul style="list-style-type: none"> Preparo da amostra: As sementes foram liofilizadas por 48 horas, moídas e peneiradas (< 30 mesh). 	<ul style="list-style-type: none"> Extração Alcoólica (AE): Solvente: álcool anidro; Proporção de solvente e amostra: 6:1 (v/p); Agitação orbital: 100 rpm; Temperatura: 75 °C; Tempo: 2 h. 	<p>Os óleos da CP e da SFE apresentaram maiores teores de ácido linolênico conjugado.</p>	de Oliveira Silva et al. (2019)

Tabela 3 (Continuando) – Métodos de extração de óleo de semente de romã

Tipo de Extração / Condições Utilizadas	Rendimento e Composição de Ácidos graxos	Referência
<ul style="list-style-type: none"> • Extração com Fluido Supercrítico (SFE): Fluido empregado: CO₂; Massa da amostra: 20 g; Temperatura: 40 °C; Pressão: 200 bar; Fluxo: 2 mL/min. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prensagem por Expulsão (CP): Prensagem das sementes liofilizadas e moídas em prensa de expulsão. 	de Oliveira Silva et al. (2019)
<ul style="list-style-type: none"> • Preparo da amostra: As sementes foram secas à temperatura ambiente com umidade final de 7,3 ± 0,2% (p/p), moídas e as partículas classificadas em tamanhos variados (< 0,5; 0,8 a 1,0; 1,0 a 1,25; 1,25 a 1,50; 1,50 a 1,75; 1,75 a 2,0; > 2,0 mm). • Extração por Soxhlet (SE): Massa da amostra: 15 g; N-hexano: 200 mL; Temperatura: 70 °C; Tempo: 6 horas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Extração com Fluido Supercrítico (SFE): Massa da amostra: 100 g; Fluido empregado: CO₂; Fluxo: 8 kg/h; Tempo: 180 minutos; Pressão: 240, 280 e 320 bar; Temperatura: 40, 50 e 60 °C. 	<p>Natolino e da Porto (2019).</p> <p>A eficiência da SFE (0,18 ± 0,01 g óleo/g sólido insolúvel) foi semelhante a SE (0,19 ± 0,01 g óleo/g sólido insolúvel).</p> <p>A SFE foi mais rápida (2 horas) do que a SE (8 horas), para atingir o rendimento de extração assintótica.</p> <p>O teor de ácido púnico (85,4 ± 0,4%) obtido pela SFE apresentou diferença significativa em comparação com a SE (84,2 ± 0,4%).</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Preparo da amostra: Cultivares: Wonderful, Herskawitz, Acco. As sementes foram secas em estufa a 55 ± 2 °C por 24 h. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pré-tratamento com microondas: 30 g da amostra (< 1 mm) foram expostas à irradiação de microondas a 2.450 MHz e 261 W por 102 segundos. 	Kaseke, Opara e Fawole (2020)

Tabela 3 (Continuando) – Métodos de extração de óleo de semente de romã

Tipo de Extração / Condições Utilizadas	Rendimento e Composição de Ácidos graxos	Referência
<ul style="list-style-type: none"> Extração Assistida por Ultrassom (UAE): Massa da amostra: 20 g; Solvente: 100 mL de etanol; Potência do ultrassom: 700 W; Temperatura: 40 ± 5 °C; Tempo: 40 minutos. 	<p>O pré-tratamento com microondas aumentou significativamente o rendimento de óleo entre 10% e 14%. 'Acco' exibiu rendimento de óleo significativamente maior (17,10%) (dw) do que 'Wonderful' (15,77%) (dw) e 'Herskawitz' (13,10%) (dw) após o pré-tratamento de microondas nas sementes.</p>	<p>Kaseke, Opara e Fawole (2020)</p>
<ul style="list-style-type: none"> Preparo da amostra: 3 variedades de romã tunisianas: Jebali, Testouri e Gabsi. As sementes foram secas ao ar natural para obter um teor de umidade constante (7,97 a 8,30%) e moídas em um pó fino. 	<ul style="list-style-type: none"> Extração Assistida por Ultrassom (UAE): Massa da amostra: 10 g; Solvente: 100 mL de éter de petróleo; Potência do ultrassom: 130 W; Frequência: 20 kHz; Temperatura: 40 °C; Tempo: 30 minutos <p>Os rendimentos foram 14,24%, 16,12% e 20,94% para as variedades Gabsi, Jebali e Testouri respectivamente.</p> <p>A composição dos ácidos graxos foi: 4,96%, 4,73% e 7,03% (oléico), 5,56%, 5,66% e 4,62% (linoléico) e 83,23%, 81,53% e 86,41% (púnico) respectivamente para as variedades Jebali, Testouri e Gabsi.</p>	<p>Khemakhem et al. (2021)</p>

Tabela 3 (Conclusão) – Métodos de extração de óleo de semente de romã

Tipo de Extração / Condições Utilizadas		Rendimento e Composição de Ácidos graxos	Referência
<ul style="list-style-type: none"> Preparo da amostra: As sementes foram secas a 40 °C até atingir umidade aproximada de 10%, moídas e armazenadas à temperatura ambiente (25 °C). 	<ul style="list-style-type: none"> Prensagem a Frio Prensagem em prensa hidráulica sob 50 toneladas por 2 horas. 	<p>A composição dos ácidos graxos foi: 3,33 a 4,30% (oléico), 4,07 a 4,28% (linoléico) e 85,1 a 86,98% (púnico).</p>	Santos et al. (2021a)
<ul style="list-style-type: none"> Preparo da amostra: As sementes foram secas a 40 °C até atingir umidade aproximada de 10%, moídas e armazenadas à temperatura ambiente (25 °C). Extração Soxhlet (ES): Massa: 5 g; Solvente: n-hexano; Volume de solvente: 100 mL; Temperatura: 90 °C; Tempo: 6 horas. 	<ul style="list-style-type: none"> Extração Enzimática Assistida por Ultrassom (EEAU): Frequência ultrassônica: 40 kHz; Potência ultrassônica: 135 watts; Enzima: Flavourzyme™ (complexo de protease/peptidase fúngica); Tempo: 10 a 60 minutos; Volume da enzima: 3 a 30 µL; Razão água/semente: 2,6 a 19,4 mL/g. Temperatura: 50 °C; pH: 6. 	<p>O rendimento para a ES foi de 10,39 g de óleo/100 g de sementes de romã e 13,59% (m/m) para a EEAU nas condições otimizadas (16,5 µL de enzima, razão água/semente de 19,4 mL/g e 10 minutos).</p> <p>A recuperação de óleo para a EEAU foi de 130,8%, quando comparada com a extração convencional com hexano.</p> <p>As produtividades foram equivalentes à 815,4 g/kg.h e 17,3 g/kg.h para a EEAU e ES respectivamente.</p>	Santos et al. (2021b)

Eikani, Golmohammada e Homami (2012) avaliaram os efeitos de algumas condições operacionais na eficiência da extração de óleo de semente de romã pelo método com hexano superaquecido. O perfil de ácidos graxos do óleo obtido com hexano superaquecido foi comparado com a extração por Soxhlet e prensagem a frio.

Tian et al. (2013) caracterizaram a eficácia de vários solventes usados na extração de óleo de semente de romã. Otimizaram os parâmetros críticos da extração assistida por ultrassom usando a metodologia de superfície de resposta e compararam o rendimento do óleo e a composição de ácidos graxos obtidos pela extração assistida por ultrassom com a extração com fluido supercrítico e Soxhlet.

Goula (2013) determinou os parâmetros cinéticos que descrevem o mecanismo de extração por ultrassom de óleo de semente de romã e os efeitos de vários parâmetros no rendimento e na cinética de extração.

Khoddami, Man e Roberts (2014) analisaram as propriedades físicas (comportamento térmico, viscosidade, cor e sabor) e propriedades químicas (fenólicos totais, estabilidade de oxidação, valor de insaturação e conteúdo de ácido graxo) de óleos extraídos por prensagem a frio do cultivar Torshe Malas e dois outros óleos comerciais de romã.

Çavdar et al. (2017) otimizaram os efeitos do tempo de extração, razão solvente/sólido, tamanho de partícula e potência do microondas no rendimento de óleo de semente de romã da extração assistida com microondas (MASE) e compararam o rendimento e os parâmetros de qualidade como propriedades físicas, químicas e bioativas do óleo obtido por MASE e extração por solvente a frio.

Ghorbanzadeh e Rezaei (2017) desenvolveram um método de extração aquosa para obtenção de óleo de sementes de romã. Otimizaram o processo de extração de óleo de semente de romã usando a metodologia de superfície de resposta para estudar os efeitos do tempo, temperatura, pH e proporção água/sólido no rendimento de óleo de semente de romã. Os índices de qualidade e composição de ácidos graxos do óleo obtido pelo método de extração aquosa foram comparados com os dos óleos extraídos por prensagem a quente, prensagem a frio e extração por Soxhlet.

Durđević et al. (2017) avaliaram os efeitos do pré-tratamento com microondas no Soxhlet, bem como a eficiência de extração com fluido supercrítico de óleo de semente de

romã e compararam a composição qualitativa e quantitativa de ácidos graxos no óleo obtido tendo em mente o uso potencial do óleo no tratamento de doenças cardiovasculares, certos tipos de câncer e diabetes mellitus tipo II.

Aruna, Manohar e Singh (2018) compararam a eficiência de diferentes métodos de extração de óleo de semente de romã e transferência de massa detalhada e estudos termodinâmicos foram apresentados para a extração do óleo pelo método de solvente (hexano). A contribuição dos ácidos graxos individuais para a variabilidade total dos componentes principais foi estudada com base no método de análise de componentes principais (PCA).

De Oliveira Silva et al. (2019) investigaram a influência de diferentes técnicas de extração (prensagem por expulsão, extração com álcool e extração com CO₂ supercrítico) na composição química, capacidade antioxidante e estabilidade oxidativa do óleo de semente de romã e determinaram, por meio de planejamento experimental, melhores condições de extração de CO₂ supercrítico com co-solvente polar adicionado para obter óleo de semente de romã concentrado em compostos bioativos naturais.

Natolino e da Porto (2019) estudaram a cinética de extração de óleo de semente de romã em diferentes condições de pressão e temperatura utilizando o modelo de células quebradas e intactas, avaliaram a solubilidade do óleo em CO₂ supercrítico e compararam a composição do óleo extraído por fluido supercrítico com o obtido por Soxhlet em termos de perfil de ácidos graxos e estabilidade à oxidação.

Kaseke, Opara e Fawole (2020) investigaram o efeito do pré-tratamento de sementes por microondas sobre a qualidade e capacidade antioxidante do óleo de semente de romã extraído pelo método assistido por ultrassom de três cultivares de romã.

Khemakhem et al. (2021) utilizaram a extração assistida por ultrassom para obter óleos de semente de romã de três cultivares da Tunísia. Caracterizaram os principais componentes dos óleos de sementes, incluindo sua composição de ácidos graxos e perfis de esteróis, e compararam seus parâmetros de qualidade e estabilidade. Além disso, compostos fenólicos foram extraídos dos resíduos das sementes remanescentes. Foram investigados a caracterização química, as propriedades antioxidantes e o perfil fenólico dos extratos.

Santos et al. (2021a) avaliaram, por Cromatografia Gasosa/Espectrometria de Massas (CG/EM), o perfil de ácidos graxos, em especial o ácido púnico, oriundos de óleos de semente de romã obtidos por prensagem a frio e compararam com os resultados obtidos por outros autores que também empregaram a técnica de extração por prensagem.

Santos et al. (2021b) otimizaram a extração enzimática assistida por ultrassom de óleo de semente de romã (*Punica granatum* L.) a partir da metodologia de superfície de resposta (MSR) utilizado um delineamento composto central rotacional (DCCR) e verificaram os efeitos do tempo, volume de enzima e a razão água/semente em relação ao teor de óleo, além da comparação dos resultados obtidos com a extração convencional (Soxhlet).

4. CONSIDERAÇÕES

A extração do óleo de semente de romã é uma alternativa sustentável de promover o reaproveitamento desses resíduos provenientes das indústrias processadoras de suco. O óleo apresenta um alto teor do ácido púnico, um isômero do ácido linolênico, o qual tem sido pesquisado em decorrência dos seus benefícios a saúde. É importante ressaltar que dentre os vegetais que apresentam o referido ácido graxo em sua composição, a semente da *Punica granatum* destaca-se no elevado teor em comparação com as demais matérias-primas.

Com relação aos métodos de extração novas possibilidades têm sido aplicadas para a obtenção de óleo visando eliminar, na maioria das vezes, o uso dos solventes orgânicos como é o caso do hexano, bastante utilizado nas extrações convencionais. Essas técnicas envolvem principalmente o uso de fluidos em seu estado supercrítico, como o CO₂ e assistidos por ultrassom. São técnicas que não deixam resíduos no óleo extraído contribuindo para as características de qualidade dos mesmos. A prensagem a frio, embora seja considerada um método convencional, também tem essa característica favorável.

Outras técnicas também tem se apresentado promissoras para obtenção de óleos de semente de romã como a assistida por microondas, aquosa, alcoólica, enzimática assistida por ultrassom, fluido supercrítico com pré-tratamento por microondas e extração com ultrassom e pré-tratamento enzimático.

REFERÊNCIAS

- ALCARAZ-MÁRMOL, F.; NUNCIO-JÁUREGUI, N.; GARCÍA-SÁNCHEZ, F.; MARTÍNEZ-NICOLÁS, J. J.; HERNÁNDEZ, F. Characterization of twenty pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Spain: aptitudes for fresh consumption and processing. **Scientia Horticulturae**, v. 219, p. 152-160, 2017.
- ANUSREE, S. S.; PRIYANKA, A.; NISHA, V. M.; DAS, A. A.; RAGHU, K. G. An in vitro study reveals the nutraceutical potential of punicic acid relevant to diabetes via enhanced GLUT4 expression and adiponectin secretion. **Food & Function**, v. 5, n. 10, p. 2590-2601, 2014.
- ARUNA, P.; MANOHAR, B.; SINGH, R. P. Processing of pomegranate seed waste and mass transfer studies of extraction of pomegranate seed oil. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 5, e13609, 2018.
- ATAÍDE, E. M.; SILVA, M. S.; BASTOS, D. C.; SOUZA, J. M. A. Qualidade pós-colheita de romã comercializada no semiárido pernambucano. **Agrarian Academy**, v. 5, n. 9, p. 429, 2018.
- BADR, N. A.; ALI, H. S.; ABDEL-RAZEK, A. G.; SHEHATA, M. G.; ALBARIDI, N. A. Bioactive components of pomegranate oil and their influence on mycotoxin secretion. **Toxins**, v. 12, n. 12, p. 748, 2020.
- BENTO, J. A. C.; SILVA, M. O. M.; SILVA, N. P.; GONÇALVES, M. A. B.; EVANGELISTA, A. W. P.; MOURA, C. J. DE; NOGUEIRA, R. G. Avaliação das metodologias de prensagem a frio, soxhlet e bligh dyer, na extração do óleo de pinhão manso. **Revista Processos Químicos**, v. 11, n. 21, p. 47-50, 2017.
- BIAŁEK, A.; JELIŃSKA, M.; TOKARZ, A.; PERGÓŁ, A.; PINKIEWICZ, K. Influence of pomegranate seed oil and bitter melon aqueous extract on polyunsaturated fatty acids and their lipoxygenase metabolites concentration in serum of rats. **Prostaglandins and Other Lipid Mediators**, v. 126, p. 29-37, 2016.
- BIAŁEK, A.; STAWARSKA, A.; BODECKA, J.; BIAŁEK, M.; TOKARZ, A. Pomegranate seed oil influences the fatty acids profile and reduces the activity of desaturases in livers of sprague-dawley rats. **Prostaglandins and Other Lipid Mediators**, v. 131, p. 9-16, 2017.

BRUNO, C. M. A.; ALMEIDA, M. R. Óleos essenciais e vegetais: matérias-primas para fabricação de bioprodutos nas aulas de química orgânica experimental. **Química Nova**, v. 44, n. 7, p. 899-907, 2021.

CASARIN, S. T.; PORTO, A. R.; GABATZ, R. I. B.; BONOW, C. A.; RIBEIRO, J. P.; MOTA, M. S. Tipos de revisão de literatura: considerações das editoras do Journal of Nursing and Health. **Journal of Nursing and Health**, v. 10, n. 5, e20104031, 2020.

ÇAVDAR, H. K.; YANIK, D. K.; GÖK, U.; GÖĞÜŞ, F. Optimisation of microwave-assisted extraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil and evaluation of its physicochemical and bioactive properties. **Food Technology and Biotechnology**, v. 55, n. 1, p. 86-94, 2017.

COMUNIAN, T. A.; ROSCHEL, G. G.; DA SILVA ANTHERO, A. G.; DE CASTRO, I. A.; HUBINGER, M. D. Influence of heated, unheated whey protein isolate and its combination with modified starch on improvement of encapsulated pomegranate seed oil oxidative stability. **Food Chemistry**, v. 326, p. 126995, 2020.

COSTA, J. F. A. **Avaliação da influência da natureza da matriz sólida sobre a extração supercrítica de óleos vegetais**. 2013. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Belém, PA. 2013.

COSTA, A. M. M.; SILVA, L. O.; TORRES, A. G. Chemical composition of commercial cold-pressed pomegranate (*Punica granatum*) seed oil from Turkey and Israel, and the use of bioactive compounds for samples' origin preliminary discrimination. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 75, p. 8–16, 2019.

COURSODON-BOYIDDLE, C. F.; SNARRENBERG, C. L.; ADKINS-RIECK, C. K.; BASSAGANYA-RIERA, J.; HONTECILLAS, R.; LAWRENCE, P.; BRENNAN, J. T.; JOUNI, Z. E.; DVORAK, B. Pomegranate seed oil reduces intestinal damage in a rat model of necrotizing enterocolitis. **American Journal of Physiology Gastrointestinal and Liver Physiology**, v. 303, n. 6, p. 744-51, 2012.

CUNHA, L. M. S.; PIRES, R. F.; SANTOS, K. G. DOS; DANTAS, S. C. Comparação do rendimento por diferentes métodos de extração do óleo da polpa de pequi. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 7, p. e342973876, 2020.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R **Química de Alimentos de Fennema**. 5. ed. Porto Alegre: Editora Artmed, 2019. 1104 p.

DE OLIVEIRA SILVA, L.; RANQUINE, L. G.; MONTEIRO, M.; TORRES, A. G. Pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil enriched with conjugated linolenic acid (cLnA), phenolic compounds and tocopherols: Improved extraction of a specialty oil by supercritical CO₂. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 147, p. 126-137, 2019.

DRINIĆ, Z.; MUDRIĆ, J.; ZDUNIĆ, G.; BIGOVIĆ, D.; MENKOVIĆ, N.; ŠAVIKIN, K. Effect of pomegranate peel extract on the oxidative stability of pomegranate seed oil. **Food Chemistry**, v. 333, p. 127501, 2020.

ĐURĐEVIĆ, S.; MILOVANOVIĆ, S.; ŠAVIKIN, K.; RISTIĆ, M.; MENKOVIĆ, N.; PLJEVLJAKUŠIĆ, D.; PETROVIĆ, S.; BOGDANOVIĆ, A. Improvement of supercritical CO₂ and n-hexane extraction of wild growing pomegranate seed oil by microwave pretreatment. **Industrial Crops and Products**, v. 104, p. 21-27, 2017.

EIKANI, M. H.; GOLMOHAMMADA, F.; HOMAMI, S. S. Extraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil using superheated hexane. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 1, p. 32-36, 2012.

ELFALLEH, W.; YING, M.; NASRI, N.; SHENG-HUA, H.; GUASMI, F.; FERCHICHI, A. Fatty acids from tunisian and chinese pomegranate (*Punica granatum* L.) seeds. **International journal of food sciences and nutrition**, v. 62, n. 3, p. 200-206, 2011.

FARIA, M. T.; DE FARIA PEREIRA, S. M. Avaliação da atividade antioxidante e características físico-químicas de polpa de romã (*Punica Granatum*, L.). **Revista Científica da FMC**, v. 14, n. 2, p. 1-8, 2019.

FERNANDES, L.; PEREIRA, J. A.; LOPÉZ-CORTÉS, I.; SALAZAR, D. M.; RAMALHOSA, E.; CASAL, S. Fatty acid, vitamin e and sterols composition of seed oils from nine different pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars grown in Spain. **Journal of food composition and analysis**, v. 39, p. 13-22, 2015.

FERREIRA, L. M.; SARI, M. H. M.; CERVI, V. F.; GEHRCKE, M.; BARBIERI, A. V.; ZBOROWSKI, V. A.; BECK, R. C. R.; NOGUEIRA, C. W.; CRUZ, L. Pomegranate seed oil

nanoemulsions improve the photostability and in vivo antinociceptive effect of a non-steroidal anti-inflammatory drug. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 144, p. 214-221, 2016a.

FERREIRA, L. M.; GEHRCKE, M.; CERVI, V. F.; BITENCOURT, P. E. R.; DA SILVEIRA, E. F.; AZAMBUJA, J. H.; RAMOS, A. P.; NASCIMENTO, K.; MORETTO, M. B.; BRAGANHOL, E.; SAGRILLO, M. R.; CRUZ, L. Pomegranate seed oil nanoemulsions with selective antiglioma activity: optimization and evaluation of cytotoxicity, genotoxicity and oxidative effects on mononuclear cells. **Pharmaceutical Biology**, v. 54, n. 12, p. 2968-2977, 2016b.

GARCIA-PASTOR, M. E.; GIMENEZ, M. J.; VALVERDE, J. M.; GUILLEN, F.; CASTILLO, S.; MARTINEZ-ROMERO, D.; SERRANO, M.; VALERO, D.; ZAPATA, P. J. Preharvest application of oxalic acid improved pomegranate fruit yield, quality, and bioactive compounds at harvest in a concentration-dependent manner. **Agronomy**, v. 10, n. 10, p. 1522, 2020.

GHORBANZADEH, R.; REZAEI, K. Optimization of an aqueous extraction process for pomegranate seed oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 94, n. 12, p. 1491-1501, 2017.

GOMES, H. A. R.; BRITO, A. B. N. Fluidos supercríticos na indústria química: o processo de desasfaltação a propano. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014, Florianópolis. **Anais...**, Florianópolis: COBEQ, 2014, n. 19349, p. 1 – 7.

GOULA, A. M. Ultrasound-assisted extraction of pomegranate seed oil – kinetic modeling. **Journal of Food Engineering**, v. 117, n. 4, p. 492-498, 2013.

GOULA, A. M.; PAPTAEODOROU, A.; KARASAVVA, S.; KADERIDES, K. Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction of oil from pomegranate seeds. **Waste and Biomass Valorization**, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2018.

GUPTA, S. S.; GHOSH, S.; MAITI, P.; GHOSH, M. Microencapsulation of conjugated linolenic acid-rich pomegranate seed oil by an emulsion method. **Food Science and Technology International**, v. 18, n. 6, p. 549-58, 2012.

HOLIC, R.; XU, Y.; CALDO, K. M. P.; SINGER, S. D.; FIELD, C. J.; WESELAKE, R. J.; CHEN, G. Bioactivity and biotechnological production of puniic acid. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 102, n. 8, p. 3537-3549, 2018.

HUBER, R.; GMINSKI, R.; TANG, T.; WEINERT, T.; SCHULZ, S.; LINKE-CORDES, M.; MARTIN, I.; FISCHER, H. Pomegranate (*Punica granatum*) seed oil for treating menopausal symptoms: an individually controlled cohort study. **Alternative therapies in health and medicine**, v. 23, n. 2, p. 28-34, 2017.

KASEKE, T.; OPARA, U. L.; FAWOLE, O. A. Effect of microwave pretreatment of seeds on the quality and antioxidant capacity of pomegranate seed oil. **Foods**, v. 9, n. 9, p. 1287, 2020.

KASEKE, T.; OPARA, U. L.; FAWOLE, O. A. Blending of sunflower oil with pomegranate seed oil from blanched seeds: impact on functionality, oxidative stability, and antioxidant properties. **Processes**, v. 9, n. 4, p. 635, 2021a.

KASEKE, T.; OPARA, U. L.; FAWOLE, O. A. Effects of enzymatic pretreatment of seeds on the physicochemical properties, bioactive compounds, and antioxidant activity of pomegranate seed oil. **Molecules**, v. 26, n. 15, p. 4575, 2021b.

KHAJEBISHAK, Y.; PAYAHOO, L.; ALIVAND, M.; ALIPOUR, B. Puniic acid: a potential compound of pomegranate seed oil in type 2 diabetes mellitus management. **Journal of Cellular Physiology**, v. 234, n. 3, p. 2112-2120, 2019a.

KHAJEBISHAK, Y.; PAYAHOO, L.; ALIVAND, M.; HAMISHEHKAR, H.; MOBASSERI, M.; EBRAHIMZADEH, V.; ALIPOUR, M.; ALIPOUR, B. Effect of pomegranate seed oil supplementation on the GLUT-4 gene expression and glycemic control in obese people with type 2 diabetes: a randomized controlled clinical trial. **Journal of Cellular Physiology**, v. 234, n. 11, p. 19621-19628, 2019b.

KHEMAKHEM, M.; ZARROUG, Y.; JABOU, K.; SELMI, S.; BOUZOUITA, N. Physicochemical characterization of oil, antioxidant potential, and phenolic profile of seeds isolated from Tunisian pomegranate (*Punica granatum* L.) cultivars. **Journal of Food Science**, v. 86, n. 3, p. 852-859, 2021.

KHODDAMI, A.; MAN, Y. B. C.; ROBERTS, T. H. Physico-chemical properties and fatty acid profile of seed oils from pomegranate (*Punica granatum L.*) extracted by cold pressing. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 116, n. 5, p. 553-562, 2014.

KHODDAMI, A.; ROBERTS, T. H. Pomegranate oil as a valuable pharmaceutical and nutraceutical. **Lipid Technology**, v. 27, n. 2, p. 40-42, 2015.

LEITE, R. C. S.; SOUZA, M. A. F. Análise e comparação de métodos de extração do óleo de inajá (*maximiliana maripa*) com solvente orgânico. In: 59º Congresso Brasileiro de Química, 2019, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: CBQ, 2019, n. 746.

LEPIONKA, T.; BIAŁEK, M.; CZAUDERNA, M.; BIAŁEK, A. Pomegranate seed oil and bitter melon extract supplemented in diet influence the lipid profile and intensity of peroxidation in livers of SPRD rats exposed to a chemical carcinogen. **Prostaglandins Other Lipid Mediat**, v. 152, p. 106495, 2021.

LIN, T. K.; ZHONG, L.; SANTIAGO, J. L. Anti-inflammatory and skin barrier repair effects of topical application of some plant oils. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 19, n. 1, p. 70, 2018.

LORENZO; J. G. F.; COSTA, M. H.; OLIVEIRA, C. S.; LIRA, B. F.; ATHAYDE-FILHO, P. F.; BARBOSA-FILHO, J. M. Extração do óleo da semente de algaroba para a produção de biodiesel, uma abordagem de educação ambiental. In: 9º Simpósio Brasileiro de Educação Química, 2011, Natal. **Anais...**, Natal: SIMPEQUI, 2011, n. 11.

MANTERYS, A.; FRANCZYK-ZAROW, M.; CZYZYNSKA-CICHON, I.; DRAHUN, A.; KUS, E.; SZYMCZYK, B.; KOSTOGRYS, R. B. Haematological parameters, serum lipid profile, liver function and fatty acid profile of broiler chickens fed on diets supplemented with pomegranate seed oil and linseed oil. **British Poultry Science**, v. 57, n. 6, p. 771-779, 2016.

MELO, I. L. P. DE; CARVALHO, E. B. T. de; SILVA, A. M. de O. e; YOSHIME, L. T.; SATTTLER, J. A. G.; PAVAN, R. T.; MANCINI-FILHO, J. Characterization of constituents, quality and stability of pomegranate seed oil (*Punica granatum L.*). **Food Science and Technology**, v. 36, n. 1, p. 132-139, 2016.

MOLLAZADEH, H.; BOROUSHAKI, M. T.; SOUKHTANLOO, M.; AFSHARI, A. R.; VAHEDI, M. M. Effects of pomegranate seed oil on oxidant/antioxidant balance in heart and

kidney homogenates and mitochondria of diabetic rats and high glucose-treated H9c2 cell line. **Avicenna Journal of Phytomedicine**, v. 7, n. 4, p. 317-333, 2017.

NATOLINO, A.; DA PORTO, C. Supercritical carbon dioxide extraction of pomegranate (*Punica granatum* L.) seed oil: kinetic modelling and solubility evaluation. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 151, p. 30-39, 2019.

NOURI, H.; SHOJAEIAN, K.; JALILVAND, G.; KOHRAM, H. Effect of feeding pomegranate seed oil as a source of conjugated linolenic acid on Arabian stallion semen quality in cooled and postthawed condition. **Reproduction in Domestic Animals**, v. 53, n. 5, p. 1075-1084, 2018.

PATEL, P. N.; PATEL, K. M.; CHAUDHARY, D. S.; PARMAR, K. G.; PATEL, H. A.; KANSAGRA, C. D.; SEN, D. J. Extraction of herbal aroma oils from solid surface. **Pharmacie Globale**, v. 2, n. 9, 2011.

PEREIRA, M.; SOARES DIAS, C.; TERRA CREXI, V. Influência da temperatura de extração por ultrassom na qualidade do óleo de bagaço de azeitonas. In: 9º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão da UNIPAMPA, 2017, Santana do Livramento. **Anais...** Santana do Livramento: SIEPE, v. 9, n. 2, 2017.

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. A química dos óleos e gorduras e seus processos de extração e refino. **Revista Virtual Química**, v. 5, n. 1, p. 2-15, 2013.

RIPKE, V. P.; PALEZI, S. C.; NOBRE, L. R. Estudo da oxidação lipídica em óleos de sementes de chia obtidos por diferentes métodos de extração. **Unoesc & Ciência - ACET**, v. 7, n. 1, p. 69-76, 2016.

ROSA, D. P. **Extração de óleo de sementes de laranja por métodos não convencionais - estudo comparativo da extração por ultrassom e com fluido supercrítico**. Tese de doutorado. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. São José do Rio Preto, SP. 2017.

SAHA, S. S.; CHAKRABORTY, A.; GHOSH, S.; GHOSH, M. Comparative study of hypocholesterolemic and hypolipidemic effects of conjugated linolenic acid isomers against induced biochemical perturbations and aberration in erythrocyte membrane fluidity. **European Journal of Nutrition**, v. 51, n. 4, p. 483-495, 2012.

- SAHAFI, S. M.; GOLI, S. A. H.; KADIVAR, M.; VARSHOSAZ, J.; SHIRVANI, A. Pomegranate seed oil nanoemulsion enriched by α -tocopherol; the effect of environmental stresses and long-term storage on its physicochemical properties and oxidation stability. **Food Chemistry**, v. 345, p. 128759, 2021.
- SANTOS, J. M.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N.; CONSTANT, P. B. L. Perfil de ácidos graxos de óleo de semente de romã (*Punica granatum* L.) por prensagem a frio. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, v. 11, n. 2, p.1043-1048, 2021a.
- SANTOS, J. M.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N.; CONSTANT, P. B. L. Otimização da extração enzimática assistida por ultrassom de óleo de semente de romã (*Punica granatum* L.). In: **Ciência e Tecnologia de Alimentos: Pesquisas e Avanços**. Jardim do Seridó: Agron Food Academy, 2021b, p. 199-209.
- SBIHI, H. M.; NEHDI, I. A.; AL-RESAYES, S. I. Characterization of White Mahlab (*Prunus mahaleb* L.) Seed oil: a rich source of α -eleostearic acid. **Journal of food science**, v. 79, n. 5, p. C795-C801, 2014.
- SCHVEITZER, B.; FENILI, C. L. Potencial nutricional de frutos de romã. In: SILVA-MATOS, R. R. S.; ALBANO-MACHADO, F. G.; LOPES, P. R. C. (Ed). **Cultivo de plantas frutíferas**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2020, p. 1-7.
- SHABAN, N. Z.; TALAAT, I. M.; ELRASHIDY, F. H.; HEGAZY, A. Y.; SULTAN, A. S. Therapeutic role of *Punica granatum* (pomegranate) seed oil extract on bone turnover and resorption induced in ovariectomized rats. **The journal of nutrition, health & aging**, v. 21, n. 10, p. 1299-1306, 2017.
- SHAYGANNIA, E.; BAHMANI, M.; ZAMANZAD, B.; RAFIEIAN-KOPAEI, M. A. Review study on *Punica granatum* L. **Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine**, v. 21, n. 3, p. 221-227, 2016.
- SIANO, F.; STRACCIA, M. C.; PAOLUCCI, M.; FASULO, G.; BOSCAINO, F.; VOLPE, M. G. Physico-chemical properties and fatty acid composition of pomegranate, cherry and pumpkin seed oils. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 5 p. 1730-1735, 2015.

SILVA, N. K. **Extração de óleos vegetais a partir de coprodutos gerados na produção de vinhos e de suco de romã.** 2013. 106 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2013.

SINGH, B.; SINGH, J. P.; KAUR, A.; SINGH, N. Phenolic compounds as beneficial phytochemicals in pomegranate (*Punica granatum L.*) peel: a review. **Food Chemistry**, v. 261, p. 75-86, 2018.

SPILMONT, M.; LÉOTOING, L.; DAVICCO, M. J.; LEBECQUE, P.; MERCIER, S.; MIOT-NOIRAULT, E.; PILET, P.; RIOS, L.; WITTRANT, Y.; COXAM, V. Pomegranate seed oil prevents bone loss in a mice model of osteoporosis, through osteoblastic stimulation, osteoclastic inhibition and decreased inflammatory status. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 24, n. 11, p. 1840-1848, 2013.

STAWARSKA, A.; LEPIONKA, T.; BIAŁEK, A.; GAWRYJOŁEK, M.; BOBROWSKA-KORCZAK, B. Pomegranate seed oil and bitter melon extract affect fatty acids composition and metabolism in hepatic tissue in rats. **Molecules**, v. 25, n. 22, p. 5232, 2020.

TANAKA, T.; HOSOKAWA, M.; YASUI, Y.; ISHIGAMORI, R.; MIYASHITA, K. Cancer chemopreventive ability of conjugated linolenic acids. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 12, n. 11, p. 7495-7509, 2011.

TIAN, Y.; XU, Z.; ZHENG, B.; MARTIN LO, Y. Optimization of ultrasonic-assisted extraction of pomegranate (*Punica granatum L.*) seed oil. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 20, n. 1, p. 202-208, 2013.

TOPALOVIĆ, A.; KNEŽEVIĆ, M.; IVANOVIĆ, L.; GAČNIK, S.; MIKULIĆ-PETKOVSEK, M. Phytochemical screening of wild pomegranate (*Punica granatum L.*) juices from the market. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 100, p. 103933, 2021.

VERMONDEN, P.; VANCOPPENOLLE, M.; DIERGE, E.; MIGNOLET, E.; CUVELIER, G.; KNOOPS, B.; PAGE, M.; DEBIER, C.; FERON, O.; LARONDELLE, Y. Punicic acid triggers ferroptotic cell death in carcinoma cells. **Nutrients**, v. 13, n. 8, p. 2751, 2021.

VIYAR, A. H.; QADRI, R.; IQBAL, A.; NISAR, N.; KHAN, I.; BASHIR, M.; SHAH, F. Evaluation of unexplored pomegranate cultivars for physicochemical characteristics and antioxidant activity. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, p. 2973–2979, 2017.

XU, Y.; MIETKIEWSKA, E.; SHAH, S.; WESELAKE, R. J.; CHEN, G. Punicic acid production in *Brassica napus*. **Metabolic Engineering**, v. 62, p. 20-29, 2020.

YANG, J.; ZHOU, C.; YUAN, G.; LI, D. Effects of geographical origin on the conjugated linolenic acid of *trichosanthes kirilowii maxim* seed oil. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 89, n. 3, p. 401-407, 2012.

YOSHIME, L. T.; MELO, I. L. P. DE; SATTLER, J. A. G.; TORRES, R. P.; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and the antioxidant capacities of seed oils from pomegranate (*Punica granatum* L.) and bitter melon (*Momordica charantia* L.). **Food Science and Technology**, v. 39, n. 2, p. 571-580, 2019.

ZAREI, A.; SAHRAROO, A. Molecular characterization of pomegranate (*Punica granatum* L.) accessions from fars province of Iran using microsatellite markers. **Horticulture, Environment, and Biotechnology**, v. 59, p. 239–249, 2018.

ZHANG, X.; ZHAO, Y.; REN, Y.; WANG, Y.; YUAN, Z. Fruit breeding in regard to color and seed hardness: a genomic view from pomegranate. **Agronomy**, v. 10, n. 7, p. 991, 2020.