

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

Alex Gomes Souza
Edilene Santos de Souza
Edna Rosa de Oliveira

**ÓLEO DE FARELO DE ARROZ: CARACTERÍSTICAS,
MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA**

CAMPINAS/SP
2022

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

Alex Gomes Souza

Edilene Santos de Souza

Edna Rosa de Oliveira

**ÓLEO DE FARELO DE ARROZ: CARACTERÍSTICAS,
MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E APLICAÇÕES NA INDÚSTRIA**

Trabalho de Graduação apresentado por Alex Gomes Souza, Edilene Santos de Souza e Edna Rosa de Oliveira, como pré-requisito para a conclusão do Curso Superior de Tecnologia em Processos Químicos, da Faculdade de Tecnologia de Campinas, elaborado sob a orientação da Prof^a. Dr^a. Juliana Canto Duarte

CAMPINAS/SP

2022

FICHA CATALOGRÁFICA
CEETEPS - FATEC Campinas - Biblioteca

S729o

SOUZA, Alex Gomes

Óleo de farelo de arroz: características, métodos de extração e aplicações na indústria. Alex Gomes Souza, Edilene Santos de Souza e Edna Rosa de Oliveira. – Campinas, 2022.

45 p.; 30 cm.

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

Orientador: Profa. Dra. Juliana Canto Duarte.

1. Resíduo. 2. Óleo. 3. Farelo de arroz. 4. Y-orizanol. 5. Antioxidante.
I. Autor. II. Faculdade de Tecnologia de Campinas. III. Título.

CDD 664.7

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

TG PQ 22.1

**Alex Gomes Souza e Edna Rosa de Oliveira e Edilene Santos
de Souza**

**Óleo de farelo de arroz: características, métodos de extração e
aplicações na indústria**

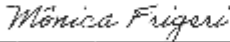
Trabalho de Graduação apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Processos Químicos, pelo CEETEPS / Faculdade de Tecnologia – Fatec Campinas.

Campinas, 6/24/2022.

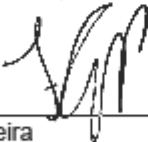
BANCA EXAMINADORA



Juliana Canto Duarte
Fatec Campinas



Mônica Frigeri
FATEC Campinas



Flávio Galvão Pereira
FATEC Campinas

RESUMO

O arroz é um dos grãos com maior crescimento na agricultura nos últimos anos, sendo o terceiro grão mais produzido e o segundo mais consumido no mundo. Seu cultivo é realizado há milênios e sua produção mundial anual nos anos de 2020 a 2021 foi estimada em 502,63 milhões de toneladas. A Ásia é a maior produtora de arroz do mundo, enquanto o Brasil ocupa a nona posição no setor. A indústria de beneficiamento de arroz gera uma parcela alta de subprodutos que ao ser descartado de maneira inadequada, torna-se sinônimo de poluição. O farelo de arroz é um subproduto gerado a partir do polimento do arroz descascado para produzir arroz branco e representa cerca de 8 a 11% do arroz beneficiado. Assim, todos os anos são gerados aproximadamente 40 milhões de toneladas de resíduos. No Brasil, apesar de abundante, o farelo de arroz apresenta baixo valor comercial (R\$ 1,15 o kg). Apesar do farelo de arroz oferecer elevado valor nutricional, sua utilização é limitada para a alimentação humana devido às suas características de conservação relacionadas à rancidez, condições sanitárias e possível contaminação do farelo com resíduos de casca e/ou amido, sendo parcialmente aplicado na extração do óleo e servindo de matéria-prima para ração animal e fertilizante orgânico. O óleo de farelo de arroz (OFA) é um importante substrato para as indústrias alimentares (óleo de cozinha, produto de carne e produto lácteo) e não alimentares (polímero, lubrificante, biocombustíveis, lipídios e cosmética) devido às suas características antioxidantes e presença de ácidos graxos. Atualmente, existem vários métodos de extração do OFA, os métodos não convencionais além de mais eficientes são mais sustentáveis que os métodos convencionais. O presente trabalho se apoiou na crescente busca por fontes alternativas de aplicação dos resíduos gerados pelas indústrias de beneficiamento do arroz e buscou, através de uma vasta revisão bibliográfica, caracterizar e descrever métodos de extração e aplicações do óleo de farelo de arroz nas indústrias, abrindo perspectivas econômicas de maior valorização e utilização OFA, agregando valor ao resíduo da cadeia produtiva do arroz, bem como colaborando com o enriquecimento de material de pesquisa.

Palavras-chave: resíduo; óleo, farelo de arroz, γ -orizanol, antioxidante.

ABSTRACT

Rice is one of the fastest growing grains in agriculture in recent years, being the third most produced and second most consumed grain in the world. Its cultivation has been carried out for millennia and its annual world production in the year 2020 to 2021 was estimated at 502.63 million tons. Asia is the largest producer of rice in the world, Brazil occupies the ninth position in the sector. The rice processing industry generates a high share of by-products that, when improperly discarded, becomes synonymous with pollution. Rice bran is a by-product generated from the polishing of husked rice to produce white rice and represents about 8 to 11% of processed rice. Thus, approximately 40 million tons of waste are generated every year. In Brazil, despite being abundant, rice bran has a low commercial value (R\$ 1.15 per kg). Although rice bran offers high nutritional value, its use is limited for human consumption due to its conservation characteristics related to rancidity, sanitary conditions and possible contamination of the bran with residues of husk and/or starch, being partially applied in the extraction of the oil. and serving as raw material for animal feed and organic fertilizer. Rice bran oil (OFA) is an important substrate for the food (cooking oil, meat product and dairy product) and non-food (polymer, lubricant, biofuels, structural lipids and cosmetics) industries due to its rich characteristics. in antioxidants and fatty acids. Currently, there are several methods of extracting OFA, the unconventional, in addition to being more efficient, are more sustainable than conventional methods. The present work was based on the growing search for alternative sources of application of waste generated by rice processing industries and sought through a vast bibliographic review to characterize, describe methods of extraction and applications of rice bran oil in industries, opening perspectives of greater valorization and use OFA, adding value to the residue of the rice production chain, as well as collaborating with the enrichment of research material.

Keywords: residue; oil, rice bran, γ -oryzanol, antioxidant.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus pela dádiva da vida.

A todos que nos apoiaram nesse momento muito importante, tanto no âmbito acadêmico, profissional como também pessoal.

Aos professores da FATEC CAMPINAS com quem tivemos a honra de cruzarmos nessa trajetória, que nos passaram todas as ferramentas acadêmicas que precisávamos para crescermos e alcançarmos nossos objetivos.

Obrigado a nossa orientadora Prof^a. Dr^a. Juliana Canto Duarte, por toda a diretriz dada à nossa pesquisa, pela paciência, pelos seus ensinamentos que foram de grande relevância para a realização deste trabalho.

Obrigado a todos nossos familiares e amigos, que estiveram conosco nos momentos bons e ruins.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo do processo produtivo do arroz.	16
Figura 2 - Produtos e subprodutos do grão de arroz.	18
Figura 3 - Fluxograma do processo de obtenção do óleo.	20
Figura 4 - Extração por Solvente.	22
Figura 5 - Extração por Prensagem Mecânica.....	24
Figura 6 - Extrator Soxhlet.....	25
Figura 7 - Extração com Fluido Supercrítico.	26
Figura 8 - Extração Assistida por Ultrassom.....	29
Figura 9 - Extração Assistida por Micro-ondas.....	30
Figura 10 - Extração Aquosa Assistida por Enzimas.	31

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Condições e parâmetros otimizados de OFA extraídos por vários métodos convencionais e não convencionais.....	39
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Componentes do óleo do farelo de arroz e suas respectivas porcentagens.	32
--	----

LISTA DE SÍMBOLOS

- °C - Grau Celsius
- AGL - Ácidos Graxos Livres
- AS - Água subcritica
- Al₂O₃ - Óxido de Alumínio
- Bar - Unidade Métrica de Pressão
- CaO - Óxido de Cálcio
- CO₂ - Dióxido de Carbono ou Gás Carbônico
- EAAE - Extração Aquosa Assistida por Enzimas
- EAM - Extração Assistida por Micro-ondas
- EAS - Extração com Água Subcrítica
- EAU - Extração Assistida por Ultrassom
- EFS - Extração com Fluido Supercrítico
- ES - Extração Soxhlet
- γ - Gama
- IV - Radiação Infravermelho
- K₂O - Óxido de Potássio
- LPI - Leite em Pó Integral
- mg/kg - Miligrama/Kilo
- MgO - Óxido de Magnésio
- MHz - Megahertz
- mV - Milésimo de Volt
- OFA - Óleo de Farelo de Arroz
- P₂O₅ - Pentóxido de Difósforo
- PIB - Produto Interno Bruto
- PLLA - Ácido Polilático
- PVC - Policloreto de Vinila
- UV - Radiação Ultravioleta
- W - Watt

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2	JUSTIFICATIVA	13
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo geral.....	14
1.3.2	Objetivos específicos	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1	SUSTENTABILIDADE	15
2.2	INDÚSTRIA DO BENEFICIAMENTO	15
2.3	ÓLEO DE FARELO DE ARROZ	18
2.4	OBTENÇÃO DO ÓLEO DE FARELO DE ARROZ	19
2.5	MÉTODOS CONVENCIONAIS DE EXTRAÇÃO	20
2.5.1	Extração por solvente.....	20
2.5.2	Extração por Prensagem Mecânica.....	22
2.6	MÉTODOS NÃO CONVENCIONAIS DE EXTRAÇÃO	24
2.6.1	Extração Soxhlet	24
2.6.2	Extração com fluido supercrítico	25
2.6.3	Extração com fluido subcrítico	26
2.6.4	Extração com água subcrítica	27
2.6.5	Extração Assistida por Ultrassom.....	28
2.6.6	Extração Assistida por Micro-ondas	29
2.6.7	Extração Aquosa Assistida por Enzimas	30
2.7	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO DE FARELO DE ARROZ	31
2.7.1	Composição química do óleo de farelo de arroz.....	32

2.8	APLICAÇÃO DO ÓLEO DE FARELO DE ARROZ	32
2.9	APLICAÇÕES ALIMENTARES.....	33
2.9.1	Aplicações em Alimentos	33
2.9.2	Produtos de panificação assados	33
2.9.3	Leite e produtos lácteos	34
2.9.4	Carne e produtos cárneos	34
2.9.5	Emulsificante	34
2.10	APLICAÇÕES NÃO ALIMENTARES	34
2.10.1	Lubrificante e biocombustível	35
2.10.2	Cosméticos	35
3	METODOLOGIA.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5	CONCLUSÃO.....	42
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Na busca por atender as preferências do consumidor do século XXI por produtos naturais, biodegradáveis e com menores danos ao meio ambiente, o setor agroindustrial tem encontrado nos resíduos uma alternativa de diversificação na produção de bioprodutos. Diversos segmentos têm ganhado visibilidade no mercado por buscar e adequar os seus processos produtivos com base em reduzir os recursos naturais e promover a sustentabilidade (ISAAC *et al*, 2016).

O setor agroindustrial tem sido responsável por aproximadamente 6% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro nos últimos anos, com alta demanda por grãos. De fato, as indústrias de beneficiamento têm produzido uma quantidade ainda maior de resíduos orgânicos, tornando necessária a busca por novas alternativas de aproveitamento desses resíduos (CNABRASIL, 2021).

O arroz é um grão milenar. Cientistas e historiadores relatam que o grão já era cultivado há cerca de 3000 anos a.C. Mundialmente existem cerca de 2000 variedades de arroz, sendo o arroz branco o mais consumido no Brasil e no mundo (Nova Arroz, 2021).

Para a alimentação humana, o mais consumido é o arroz branco ou polido, o qual é resultado de um beneficiamento (processo que adequa o produto ao consumo humano). Este processo consiste na retirada da casca e do farelo do grão, dando aspecto claro, para um cozimento mais rápido (WEBER, 2012).

Para Lorenzetti (2012) os principais resíduos gerados no processo de beneficiamento do arroz são casca, farelo e quirera (grãos de arroz quebrados). A casca tem sido aplicada como fonte de energia (queima direta) em usinas, já a principal aplicabilidade do farelo é servir como matéria-prima para produção de ração animal, fertilizante orgânico e também na extração de óleo.

De acordo com Coffman e Juliano (1987); Silva (2003), apud Limberger (2006) a quirera tem sua composição química semelhante ao do grão de arroz, podendo ser aplicada na indústria de alimentos.

O óleo de farelo de arroz (OFA) é rico em antioxidantes e amplamente consumido como óleo comestível em boa parte dos países asiáticos. Embora seja apontado como um dos óleos mais saudáveis do mundo, ainda não atingiu todo o seu potencial de produção. Seus principais produtores são: Índia, Japão, China, Tailândia e Vietnã (GARBA *et al*, 2019).

A Índia é o país que mais produz OFA no mundo, seguido de Japão, Tailândia e China. A produção global de OFA atingiu 1,2 milhões de toneladas, em 2014, sendo a Índia responsável por produzir cerca de 75% (900.000 toneladas) do total (GARBA *et al*, 2019).

O OFA pode ser extraído por métodos convencionais que utilizam principalmente solventes e técnicas de prensagem a frio e por métodos não convencionais como extração de CO₂ supercrítico, extração assistida por ultrassom, extração assistida por micro-ondas e extração aquosa assistida por enzimas (PUNIA *et al*, 2021).

A composição nutricional, as atividades biológicas e os benefícios do OFA para a saúde têm atraído a atenção dos consumidores para ampliar suas aplicações nas indústrias (PUNIA *et al*, 2021).

1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo a EMBRAPA (2021) o arroz é o segundo cereal mais cultivado e o principal alimento para mais da metade da população mundial, fazendo com que a geração de resíduo seja proporcional a essa demanda.

Para Lorenzetti (2012), os resíduos gerados na indústria de arroz, uma vez descartadas na natureza, podem causar desequilíbrios ambientais, devido sua absorção lenta, pela natureza.

Devido ao seu elevado valor nutricional, boa parte desse resíduo gerado é destinado para a produção de ração animal, fertilizantes e produção de óleo (PUNIA *et al*, 2021).

O OFA é um importante substrato para as indústrias alimentares e não alimentares devido às suas características antioxidantes e por ser rico em ácidos graxos (PUNIA *et al*, 2021).

Em busca de alternativas que visem o reaproveitamento de resíduos gerados pela indústria de beneficiamento do arroz e o conseqüente crescimento da comercialização do OFA esse trabalho demonstrou, a partir dos dados fornecidos pela literatura, que estudos sobre as características do OFA, os métodos de extração e as principais aplicações na indústria são de grande valia para pesquisadores e profissionais de diversas áreas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Em busca de alternativas com foco no reaproveitamento de resíduos gerados pelo beneficiamento do arroz promovendo benefícios ao meio ambiente evitando que tais resíduos sejam descartados de forma irresponsável, esse trabalho visou demonstrar, por meio de uma revisão bibliográfica, as características do óleo de farelo de arroz; os métodos de extração e as principais aplicações na indústria.

1.3.2 Objetivos específicos

- i. Apresentar as principais características do óleo de farelo de arroz;
- ii. Apresentar o histórico de produção de óleo de farelo de arroz no mundo;
- iii. Abordar a composição química do óleo de farelo de arroz;
- iv. Descrever os métodos convencionais e não convencionais de extração do óleo de farelo de arroz;
- v. Descrever as aplicações do óleo de farelo de arroz.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SUSTENTABILIDADE

De acordo com Embrapa Pantanal (2009), sustentabilidade é a forma inteligente de uso dos recursos, e para que uma sociedade seja definida como sustentável é necessário que ela consiga suprir as necessidades atuais da humanidade sem esgotar os recursos básicos, sem prejudicar as necessidades das futuras gerações.

Apesar do termo sustentabilidade ser comumente utilizado é necessário salientar que existem quatro tipos de sustentabilidades. A sustentabilidade ambiental, empresarial, social e econômica (MEIOSUSTENTAVEL *et al*, 2021).

- I. A sustentabilidade ambiental é o uso consciente dos recursos naturais para que não venha a faltar no futuro; (MEIOSUSTENTAVEL *et al*, 2021).
- II. A sustentabilidade empresarial é buscar por produtos inovadores que não agridam ou reduzam os impactos gerados ao meio ambiente, implicando positivamente ao seu público; (MEIOSUSTENTAVEL *et al*, 2021).
- III. A sustentabilidade social é um conjunto de ações com o objetivo de melhorar a qualidade de vida das pessoas, como acesso a serviços e o fim da desigualdade; (MEIOSUSTENTAVEL *et al*, 2021).
- IV. A sustentabilidade econômica é o desafio de gerar lucros e empregos de uma forma que não prejudique o meio ambiente, esse conceito de sustentabilidade está diretamente ligado a sustentabilidade empresarial (MEIOSUSTENTAVEL *et al*, 2021).

2.2 INDÚSTRIA DO BENEFICIAMENTO

O arroz é um produto agrícola muito importante na economia mundial, pois é consumido em vários países de todos os continentes (EMBRAPA, 2015).

É consumido por metade da população mundial, e no Brasil é um alimento básico na dieta da população juntamente com as leguminosas (SILVA *et al*, 2014).

Segundo Marques; Silveira e Silveira (2014), no Brasil, o arroz é considerado o alimento mais importante em termos de ingestão calórica, perdendo apenas para a tapioca em algumas regiões do Nordeste. Em termos de ingestão de proteínas, o arroz perde apenas para o feijão entre os grãos.

No campo do agronegócio, o arroz tem importância internacional, pois está presente em todo mundo e alimenta a população de todas as classes sociais. Aproximadamente 95% do arroz produzido é beneficiado e vendido no mercado interno, e outros 5% são fornecidos ao mercado externo (MARQUES; SILVEIRA; SILVEIRA, 2014).

Conforme Araujo (2003) apud Costa (2018), o beneficiamento de arroz é um setor importante no agronegócio. Este setor é o palco da cadeia que lida com produtos naturais sem alterar suas características essenciais. Entre os principais objetivos da etapa de beneficiamento, destacam-se: melhorar a apresentação física e visual do produto; evitar perdas; valor bruto; aumentar a vida útil do produto e atender às principais necessidades dos consumidores.

O arroz é composto basicamente de germe (embrião), endosperma e casca. O endosperma é rico em amido e fornece a maior parte da energia contida neste grão. O germe, por outro lado, é rico em lipídios e proteínas. Por fim, a casca, composta por palea e lema, protege o grão e é retirada no início do processamento do grão (WEBER, 2012).

Outras camadas estruturais compõem o grão de arroz: o tegumento que envolve as sementes e está presa ao pericarpo, que é a membrana mais externa em contato com o grão; a aleurona é a camada mais interna que entra em contato com o grão, a casca e o gérmen formam o farelo de arroz (WEBER, 2012).

A Figura 1 demonstra o Fluxo do processo produtivo do arroz.

Figura 1 - Fluxo do processo produtivo do arroz.



O arroz em casca é submetido à um tratamento após a colheita que consiste em um beneficiamento com limpeza e polimento dos grãos no qual se obtém uma quantidade de subprodutos da operação como a casca, farelo e quirera do arroz. A quantidade dos subprodutos depende do teor de umidade, idade e tipo de arroz. A casca é formada por um invólucro rígido que protege o grão e possui um alto conteúdo de sílica (WEBER, 2012).

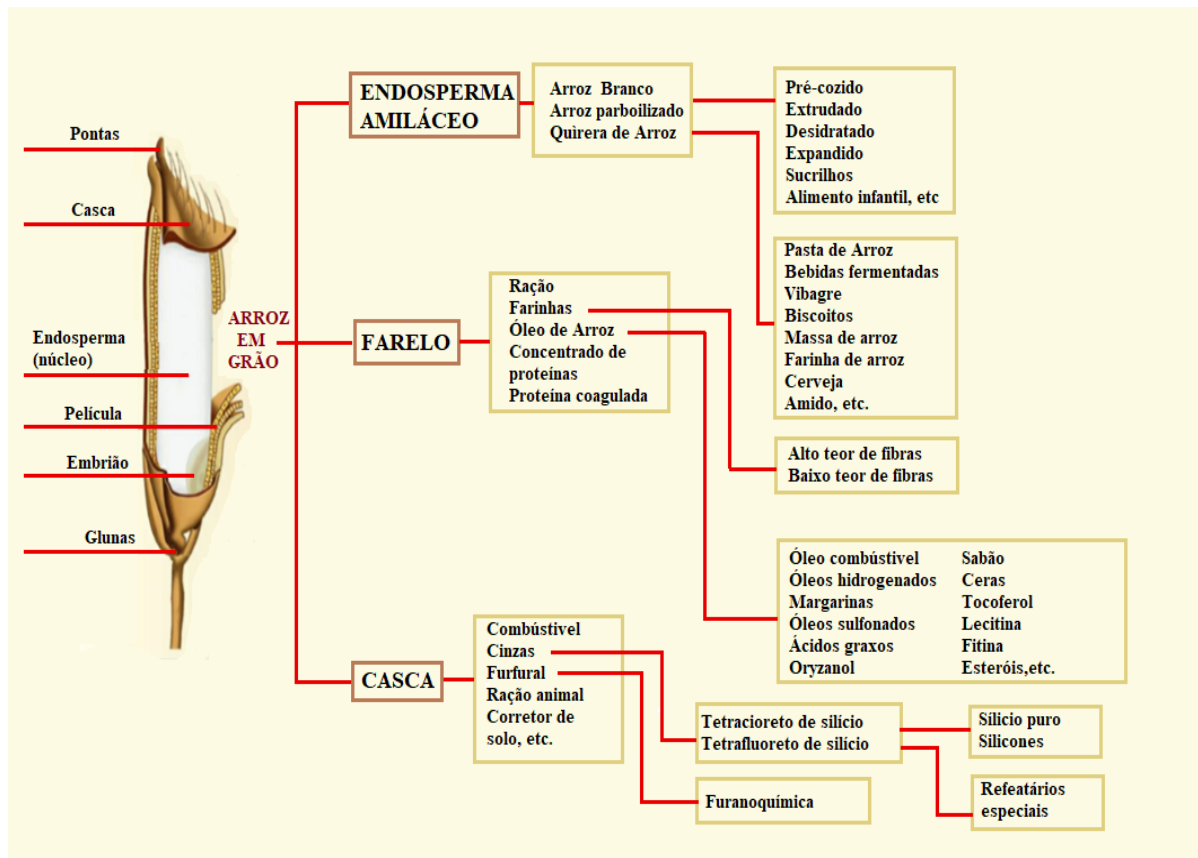
Para Della *et al* (2001) apud Sousa (2019), a casca de arroz tem o maior volume entre os subprodutos obtidos durante o processo de beneficiamento. Seu uso é bastante variado, mas o principal é a produção de energia. Com a queima da casca gera temperaturas de até 1000 °C, é utilizada para alimentar fornos secadores e autoclaves da própria indústria do arroz.

A casca também pode ser utilizada no próprio processo de produção ou como matéria-prima na produção de outros materiais. Devido ao seu alto poder calorífico, custo praticamente zero, sua alta dureza, fibrosidade e abrasividade, leva a produtos com baixas propriedades nutricionais, boa resistência ao desgaste e muita cinza, fazendo com que parte desta casca seja utilizada na fabricação de blocos e painéis utilizados na construção civil, onde substitui a fibra de madeira (SOUSA, 2019; DELLA; KUHN; HOTZA, 2001).

O descarte inadequado de cinzas causa impactos negativos no meio ambiente, pois este coproduto é rico em sílica, e pode ser utilizado como principal componente de massas cerâmicas para a produção de refratários com excelentes propriedades, como alta resistência mecânica em temperaturas superiores aos dos tijolos de barro. Além dessa aplicação, a cinza tem como principal destino (mesmo que prejudicial ao ambiente) a aplicação ao solo ou disposição em aterros, pois além da sílica, possui outros compostos como K_2O , CaO , Al_2O_3 , MgO e P_2O_5 que podem causar mudanças nas características do solo e das águas (SOUSA, 2019; DELLA; KUHN; HOTZA, 2001).

A Figura 2 ilustra o grão do arroz e demonstra, seus produtos, subprodutos e as diversas possibilidades de utilizar o grão.

Figura 2 - Produtos e subprodutos do grão de arroz.



Fonte: Almanaque do arroz (2011).

2.3 ÓLEO DE FARELO DE ARROZ

O óleo de farelo de arroz (OFA) possui características únicas entre os óleos vegetais. Sua composição é rica em ácidos graxos, compostos fenólicos (γ -orizanol, ácido ferúlico) e vitamina E (tocoferol e tocotrienol). Tornou-se uma ótima opção de óleo de cozinha devido ao seu alto ponto de queima, sabor neutro e delicado (PUNIA *et al*, 2021).

O OFA é um subproduto gerado a partir do processo de beneficiamento do arroz. Sua produção é inferior ao seu potencial, devido a uma série de dificuldades encontradas no processamento, ocasionadas principalmente pela presença de lipases que aumentam o teor de ácidos graxos livres (AGL) após a extração do farelo, podendo alcançar 70% do peso do óleo, reduzindo o rendimento do óleo neutro e dificultando seu refinamento (SALUNKHE *et al*, 1991, apud JAHN, 2007).

O OFA apesar de não ter atingido seu potencial de produção em todo o mundo, é bastante popular em países asiáticos, tais como Japão, Índia, China, Coreia e Indonésia (GHOSH, 2007, apud NOGUEIRA, 2021).

A produção mundial estimada desse óleo foi de 1,76 milhões de toneladas no ano de 2017, sendo a Índia responsável por produzir mais da metade de toda a produção (GARBA; SINGANUSONG; ISAMIL, 2019, apud NOGUEIRA, 2021).

2.4 OBTENÇÃO DO ÓLEO DE FARELO DE ARROZ

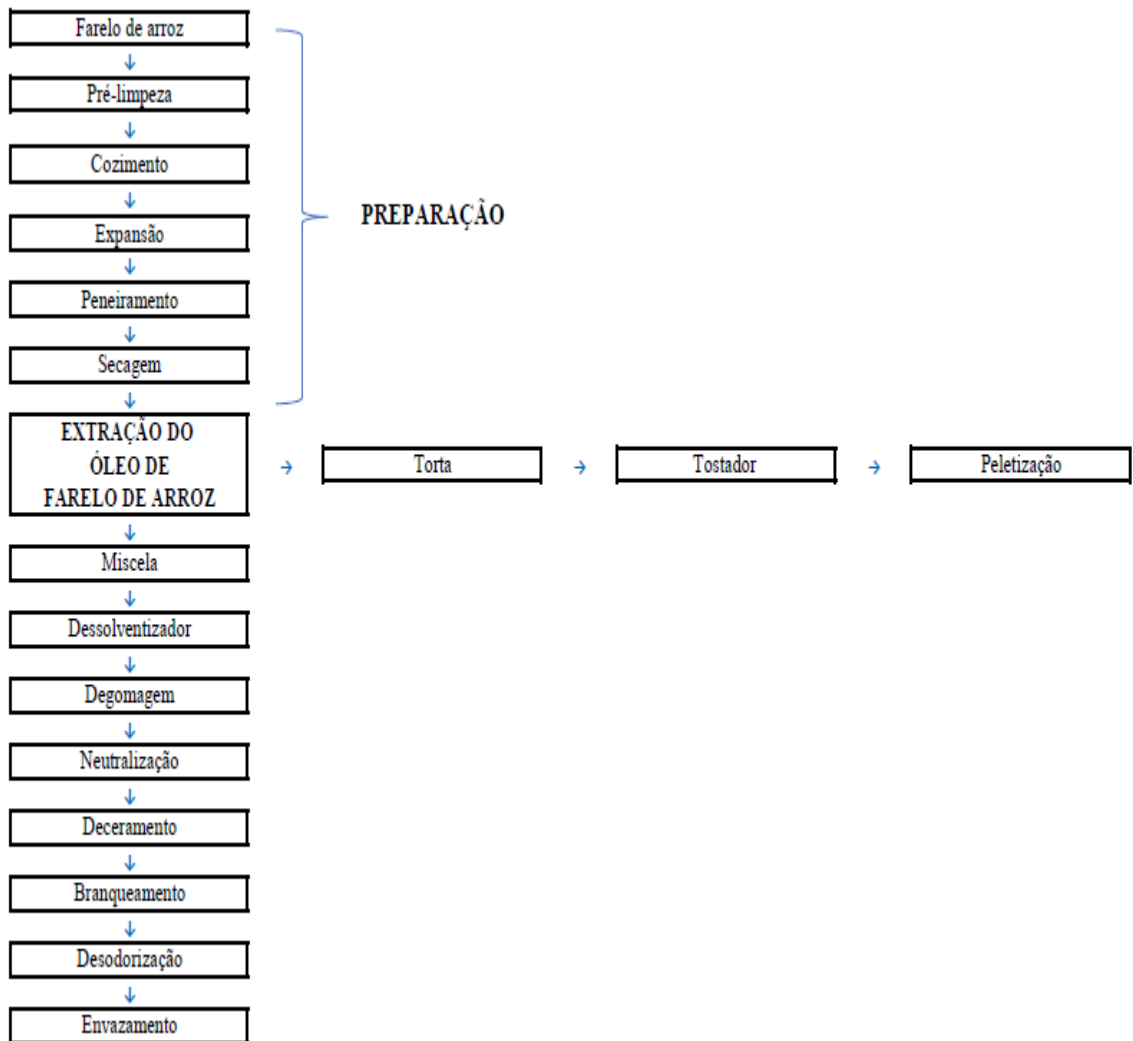
Para obtenção do óleo de arroz, o farelo passa por uma série de etapas de preparo, seguidas de extração e posterior neutralização. O farelo consiste em pré-limpeza, cozimento, sopro, peneiramento, secagem e outras etapas. A pré-limpeza é projetada para remover a sujeira mais grossa através de peneiras rotativas evitando materiais estranhos nos equipamentos (NAVARRO, 2007).

Na cocção, o farelo é aquecido com água e homogeneizado por meio de um misturador em cinco etapas de temperatura, entre 70 °C e 105 °C. Esse processo aumenta a umidade dos flocos, reduz a viscosidade e a tensão superficial e promove a inativação da enzima. Após o cozimento, o farelo entra na extrusora para o processo de expansão (NAVARRO, 2007).

Nesta etapa, o farelo é prensado gradativamente para formar uma massa que recebe jatos de vapor em vários pontos e, ao final do dispositivo, a massa é expandida através de um disco perfurado. A umidade após esse processo deve variar entre 15% e 20% para promover maior permeabilidade do farelo, aumentando assim o contato entre o farelo e o solvente, reduzindo a formação de poeira e reduzindo o consumo de vapor e solvente. Após a preparação, o farelo pode ser armazenado por vários dias sem alterar suas propriedades (NAVARRO, 2007).

A Figura 3 demonstra o fluxograma do processo de preparação do farelo de arroz para posterior extração do OFA.

Figura 3 - Fluxograma do processo de obtenção do óleo.



Fonte: NAVARRO (2007).

2.5 MÉTODOS CONVENCIONAIS DE EXTRAÇÃO

A extração do óleo de farelo de arroz pode ser feita por dois métodos convencionais: extração por solvente e técnicas de prensagem a frio (LIKES *et al*, 2020).

2.5.1 Extração por solvente

Os solventes são usados para recuperar o óleo de sementes com baixo teor de óleo ou de tortas de óleo pré-prensadas para obter alto teor de óleo (PUNIA *et al*, 2021, tradução nossa).

“As operações unitárias geralmente utilizadas na extração industrial com solvente envolvem extração, a destilação do solvente e a recuperação da fase líquida” (ORTHOEFER, 2005, apud JUCHEN, 2019).

A escolha do solvente na extração é de grande importância pois influencia na quantidade de compostos obtidos no extrato, o γ -orizanol e tocoferóis são exemplos desses compostos (OLIVEIRA *et al*, 2012, apud JUNCHEN, 2019).

Segundo Lucas (2000) apud Punia *et al* (2021) por razões econômicas, o hexano de grau comercial é o solvente mais escolhido para realizar extração no mundo. É um excelente solvente de óleo em termos de solubilidade e facilidade de recuperação. Porém, o hexano tem muitas complicações: produz baixa qualidade de cor ao OFA e causa sérios problemas ambientais (poluição do ar) e outros riscos à saúde devido à sua toxicidade.

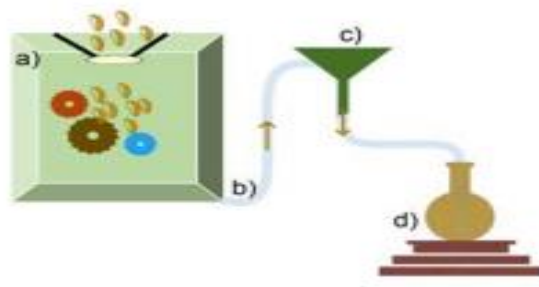
Em função de seu potencial risco à saúde, vários estudos têm sido realizados com o objetivo de substituir este solvente na extração do óleo de farelo de arroz por outros solventes mais seguros como etanol e isoprpanol que possam produzir óleo de boa qualidade (TIR *et al*, 2012, apud CAPELLINI, 2013).

A extração de OFA por solvente é mais utilizada devido a maiores rendimentos. No processo, inicialmente o farelo é lavado no extrator com um solvente, resultando em dois subprodutos: torrões de farelo desengordurados e óleo misturado, uma mistura de óleo e solvente. O óleo misturado entra no sistema de dessolvatação para remover o solvente (NAVARRO, 2007).

Após a dessolvatação, o óleo bruto é submetido à um processo de degomagem por aquecimento com agitação e adição de água (1 a 3%) e ácido fosfórico (0,01 a 0,05%) por 30 minutos para tornar os fosfolipídios presentes no óleo insolúveis e removidos por centrifugação. Após a degomagem, o óleo segue para o evaporador onde toda a água é eliminada, através da etapa de neutralização, que visa eliminar os AGL (NAVARRO, 2007).

A Figura 4 ilustra e demonstra o método de Extração por solvente. Sendo: a) Solvente escolhido junto com amostra vegetal (farelo de arroz); b) Destilação a vácuo para remoção do solvente; c) Câmara de condensação para obtenção óleo de farelo de arroz liquefeito; d) Óleo de farelo de arroz purificado por extração com solvente.

Figura 4 - Extração por Solvente.



Fonte: Punia *et al* (2021).

2.5.2 Extração por Prensagem Mecânica

Uma alternativa de extração do OFA livre de solvente, é o método de prensagem mecânica (prensagem a frio), o método não envolve tratamento térmico. É uma alternativa às práticas tradicionais e uma tecnologia promissora para extração de óleo, pois a mão de obra e os custos necessários são menores do que os métodos de extração com solvente. Outra vantagem da prensagem a frio inclui segurança, eficiência e simplicidade (PUNIA *et al*, 2021).

Os óleos extraídos por este método apresentam melhores propriedades nutricionais e um produto final livre de produtos químicos, o que tem aumentado o interesse em óleos vegetais prensados a frio (UQUICHE *et al*, 2008, apud PUNIA *et al*, 2021).

A prensagem a frio usa uma prensa de rosca mecânica, aquecimento suave e filtragem para obter o OFA. O pré-tratamento a baixa temperatura do farelo de arroz antes da prensagem a frio pode produzir OFA de alta qualidade (SRIKAE0 e PRADIT, 2011, apud PUNIA *et al*, 2021).

A combinação de tempo de cozimento curto e prensagem a frio é a mais eficaz e eficiente. A combinação de aquecimento ultrassônico de pré-tratamento e prensagem mecânica melhora a qualidade e a taxa de extração do OFA (PHAN *et al*, 2019, apud PUNIA *et al*, 2021).

Apesar de a prensa mecânica ter uma grande reputação por suas vantagens, ela também tem uma desvantagem significativa, incluindo ineficiência relativa, com 8% a 14% de óleo utilizável remanescente na torta (PUNIA *et al*, 2021).

Recentemente, houve um interesse crescente em instalações de óleo prensado a frio devido às melhores propriedades nutricionais do óleo, em comparação com o óleo obtido de outros processos de refino (GARBA; SINGANUSONG; ISAMIL, 2019, apud NOGUEIRA, 2021).

A prensagem mecânica pode ser de dois tipos: a prensa de parafuso e a prensa hidráulica. A prensa de parafuso também é chamada de *expeller*. É simples e fácil de manter e operar por trabalhadores semiqualeificados. Em comparação com uma prensa hidráulica, o movimento de uma prensa de parafuso é contínuo e produz um rendimento de óleo ligeiramente maior do que uma prensa hidráulica (GARBA; SINGANUSONG; ISAMIL, 2019, apud NOGUEIRA, 2021).

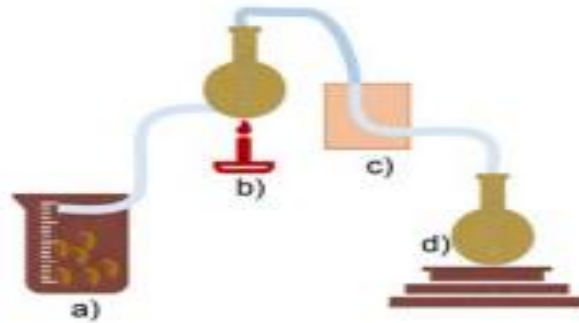
O método de prensa de parafuso envolve a prensagem contínua usando *expellers* (prensa de parafuso). *Expellers* consistem em um parafuso girando dentro de uma gaiola cilíndrica (barril). O material a ser prensado é alimentado entre o parafuso e o barril e, em seguida, impulsionado pelo parafuso rotativo em uma direção paralela ao eixo. O aumento gradual da pressão ajuda a liberar o óleo que sai da prensa pelas ranhuras na lateral do barril. A torta prensada residual então se move na direção do eixo para descarga (GARBA; SINGANUSONG; ISAMIL, 2019 apud NOGUEIRA, 2021).

Durante a extração do OFA usando o método de prensagem de parafuso, apenas cerca de 9 a 10% do teor total de óleo do farelo é extraído por prensagem. A extração mecânica de óleo de sementes oleíferas recuperou 80 a 85% do teor total de óleo das sementes (GARBA; SINGANUSONG; ISAMIL, 2019, apud NOGUEIRA., 2021).

Embora a prensagem mecânica resulte em óleo de alta qualidade, o rendimento é relativamente baixo e este método de extração é geralmente usado apenas para extração em pequena escala, produtos especiais ou como uma operação de pré-impressão em uma planta de extração de solvente em grande escala (GARBA; SINGANUSONG; ISAMIL, 2019, apud NOGUEIRA, 2021).

A Figura 5 ilustra e demonstra o método de Extração por Prensagem Mécânica. Sendo: a) Uma amostra de farelo de arroz é colocado em uma prensa mecânica; b) Mistura contendo óleo de farelo de arroz, fibras e outras impurezas; c) Filtrações usando filtros centrífugos/mecânicos; d) Óleo de farelo de arroz frio purificado.

Figura 5 - Extração por Prensagem Mecânica.



Fonte: Punia *et al* (2021).

2.6 MÉTODOS NÃO CONVENCIONAIS DE EXTRAÇÃO

Os métodos de extração têm se movido do convencional para as técnicas não convencionais como: extração Soxhlet (ES), extração com fluido supercrítico (EFS), extração assistida por ultrassom (EAU), extração assistida por micro-ondas (EAM), extração com água subcrítica (EAS) e extração aquosa assistida por enzimas (EAAE) (PUNIA *et al*, 2021).

2.6.1 Extração Soxhlet

A extração Soxhlet (ES) é um meio comum de extração de óleos vegetais. Este processo consiste em esmagar as sementes oleaginosas e depois colocá-las em um leito exposto diretamente ao solvente, extraíndo assim o óleo da matriz sólida para o líquido (DUTTA *et al*, 2015, apud GARBA *et al*, 2019).

O método de ES é empregado principalmente para fins de extrações em laboratórios, por esse motivo não há muitas referências na literatura sobre o uso deste método para extrair OFA em grandes quantidades (GARBA *et al*, 2019).

Segundo Al-Okbi *et al* (2014) apud Garba *et al* (2019) usando o método ES com heptano como solvente a 40-60°C, obteve-se um rendimento típico de 15-20% de OFA. Usando de éter de petróleo como solvente o rendimento foi de 18,4%.

Liu *et al* (2015), apud Garba *et al* (2019) relataram que ao usar hexano como solvente o rendimento de OFA foi cerca de $67,73 \pm 0,37\%$ por extração Soxhlet.

A Figura 6 mostra o equipamento utilizado no método de Extração Soxhlet.

Figura 6 - Extrator Soxhlet.



Fonte: Prolab (2022).

2.6.2 Extração com fluido supercrítico

A Extração com Fluido Supercrítico (EFS) é uma das alternativas mais viáveis para substituir os métodos de extração convencionais. Os fluidos supercríticos possuem características físico-químicas intermediárias às de um líquido e um gás, o que aumenta sua atuação como solvente. A densidade do fluido é relativamente alta o que possibilita o maior poder de solvatação enquanto seus valores de difusividade são elevados e proporcionam poder de penetração apreciável na matriz do soluto óleo (SANTOS, 2011, apud LIKES *et al*, 2020).

O processo de extração supercrítica permite a obtenção de produtos de alto valor agregado, a partir de fontes naturais, geralmente termossensíveis, para a fabricação de medicamentos, cosméticos e produtos alimentícios (JAHN, 2004)

A extração com fluídos supercríticos em escala industrial teve seu início na Alemanha, no final da década de 70 (Moore *et al*, 1994), com o processo de descafeinação do café. Isto foi resultado da evolução tecnológica, que exige um contínuo desenvolvimento dos processos de separação, muitas vezes provocando a substituição dos processos tradicionais. Os processos de extração supercrítica classificam-se neste ciclo evolutivo, destacando-se as seguintes características atuais muito importantes: considerada uma tecnologia limpa que não deixa resíduo, utiliza solventes não tóxicos, não altera as propriedades das matérias-primas e é utilizada para a extração de produtos de alta qualidade (JAHN, 2004).

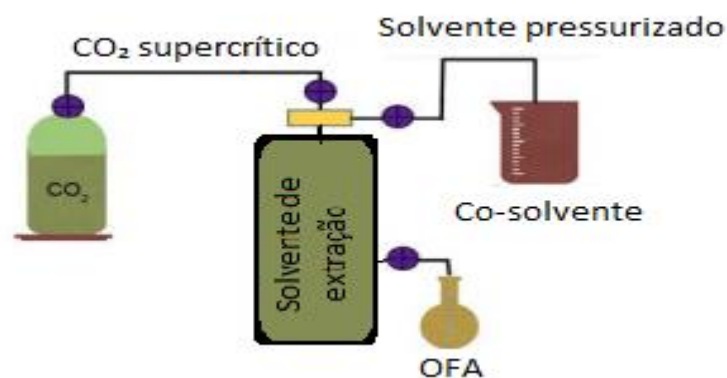
A EFS oferece uma série de benefícios, incluindo nenhum risco de contaminação por solventes, além de oferecer rotas para superar algumas das limitações dos sistemas convencionais de extração. Comparado com a extração com solventes orgânicos, a EFS é mais rápida e eficiente devido ao maior poder de penetração na matriz (GARBA; SINGANUSONG; ISAMIL, 2019).

Para aumentar a eficácia da extração, o CO₂ é adicionado com substâncias para melhorar a solubilidade e a taxa de extração (Santos *et al*, 2017). O CO₂ supercrítico (SC-CO₂) junto com ultrassom pode ser usado para melhorar a dinâmica da extração do OFA (GARBA; SINGANUSONG; ISAMIL, 2019).

O método de extração SC-CO₂ rende 7% a 9,60% de OFA. Precursores de γ -orizanol (campesterol, γ -sitosterol, estigmasterol e 4-metilenocicloartanol) foram identificados em OFA usando uma combinação dos métodos SC-CO₂ + ultrassom. Soares *et al*, (2018) investigaram os efeitos das razões SC-CO₂ e etanol (co-solvente) Juchen *et al* (2019) indicaram que a temperatura de 40 °C e pressão de 200 bar resultam em altos rendimentos gerais de óleo (25% a 48%) sem solvente residual em OFA (GARBA; SINGANUSONG; ISAMIL, 2019).

A Figura 7 ilustra e demonstra o esquema comumente utilizado no método de Extração com Fluido Supercrítico.

Figura 7 - Extração com Fluido Supercrítico.



Fonte: Punia *et al* (2021) (Tradução Nossa).

2.6.3 Extração com fluido subcrítico

Os fluidos subcríticos são conhecidos como solventes líquidos quentes ou como solventes líquidos pressurizados (LIANG *et al*, 2013, apud GARBA *et al*, 2019).

Esses fluidos são comprimidos abaixo de suas temperaturas críticas e se mantêm em estado líquido, e são usados acima de seu ponto de ebulição aumentando a pressão. A extração com o fluido subcrítico é um processo contínuo em contracorrente no qual o solvente é removido após a extração pela aplicação de vácuo a baixa temperatura (MIAO *et al*, 2013, apud GARBA *et al*, 2019).

A extração de OFA com o método EFS e SC-CO₂ funciona sob o mesmo princípio, porém o CO₂ subcrítico opera com temperatura abaixo de 31,1 °C e pressão de CO₂ de 72,9 bar (XUAN *et al*, 2018, apud PUNIA *et al*, 2021).

Nesse processo, o CO₂ é continuamente restaurado por meio de ebulição e posterior precipitação. Chia *et al* (2015) apud Punia *et al* (2021) compararam método SC-CO₂ e hexano para OFA e relataram que os rendimentos usando o CO₂ subcrítico e o hexano são de 13,0% -14,5% e 22,0% respectivamente.

Utilizando SC- CO₂, o OFA contém cerca de 10 vezes mais compostos de γ -orizanol e compostos tocol e tem níveis mais baixos de AGL e valores menores de peróxido em comparação com óleo extraído com hexano (PUNIA *et al*, 2021).

2.6.4 Extração com água subcrítica

A Extração com Água Subcrítica (EAS) comparada a outros métodos de extração do OFA oferece uma solução adequada, econômica e ambientalmente segura, pois aproveita as propriedades especiais da água subcrítica sob condições de alta temperatura (100 °C–374 °C) e pressão inferior a 5 MPa (GBASHI *et al*, 2017, apud PUNIA *et al*, 2021).

O princípio da EAS se baseia na estrutura molecular e nas propriedades termodinâmicas da água. A água sob pressão de 22,1 MPa e temperatura abaixo de 374 °C é conhecida como água subcrítica (AS) (ZHANG *et al*, 2020, apud PUNIA *et al*, 2021).

A EAS é a técnica quando se utiliza a água subcrítica (AS) para extração de compostos funcionais. O aumento da temperatura resulta em um aumento em sua pressão de vapor, transferência de massa e difusão, e diminui sua tensão superficial e viscosidade (Yoshida *et al*, 2013, apud GARBA *et al*, 2019).

A EAS altera a constante dielétrica (ϵ) da água, fazendo mudanças na pressão e temperatura. Um aumento simultâneo de temperatura e pressão, reduz a ϵ da água para 25 de um normal de 80 e essas mudanças ajudam a água a agir como solvente orgânico e facilitando a extração dos bioativos desejados com polaridade variável (GBASHI *et al*, 2017, apud PUNIA *et al*, 2021).

Na EAS a temperatura é um parâmetro e o fator mais importante e determinante, pois ela é usada para controlar a taxa de extração de analitos. Os parâmetros das temperaturas do solvente de extração como altas temperaturas devem estar adequado para extração de compostos sensíveis ao calor de óleo. Caso não esteja a a água subcrítica pode ser mais reativa e corrosiva em comparação com a água em condições ambientais (POURALI *et al*, 2009, apud PUNIA *et al*, 2021).

A energia fornecida pela AS interfere nas interações soluto-soluto e soluto-matriz, e resulta na diminuição da energia de ativação necessária para a dessorção. Para inativar a lipase e estabilizar o OFA, a EAS é considerado o método ecologicamente correto devido à sua natureza limpa, simples e não inflamável (PUNIA *et al*, 2021).

Pourali *et al* (2009), apud Punia *et al* (2021) relataram em suas análises uma decomposição completa da enzima lipase e um rendimento máximo de OFA de 249 mg/g o que equivale a 94% do óleo total de farelo de arroz, que é comparável à quantidade obtida por extração usando hexano como solvente.

2.6.5 Extração Assistida por Ultrassom

Recentemente, a Extração Assistida por Ultrassom (EAU) tem sido amplamente aplicada. O ultrassom é transmitido através de um meio como uma onda de pressão e provocando uma excitação induzindo a cavitação que aumenta a permeabilidade dos tecidos vegetais. As microfraturas e a ruptura das paredes celulares fornecem mais evidências para os efeitos mecânicos do ultrassom, facilitando assim a liberação de seu conteúdo (LIU *et al*, 2014, apud PUNIA *et al*, 2021).

A EAU oferece um alto rendimento de extração, alta reprodutibilidade, baixo uso de solventes, tempo de extração curto, baixo custo de operação, um impacto ambiental limitado e fácil adaptação a ambientes industriais, podendo ser usado em alta escala (VUONG *et al*, 2014, apud PUNIA *et al*, 2021).

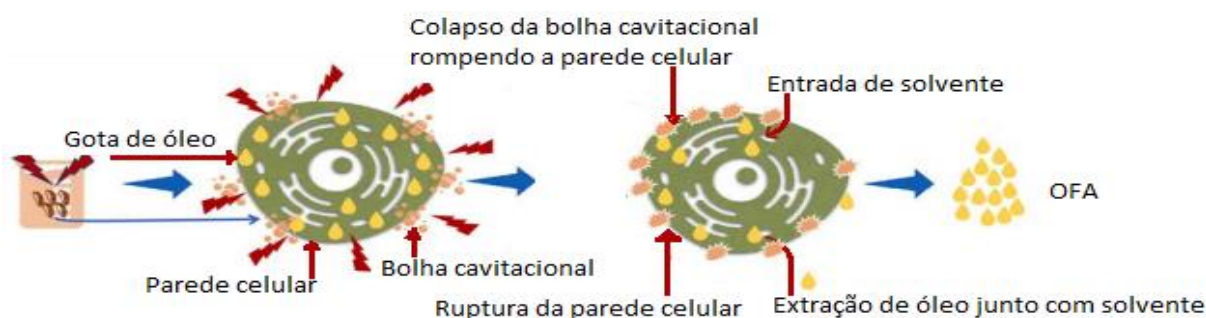
A EAU é usada principalmente para processar alimentos, incluindo secagens, extrações e emulsificações. A extração de OFA assistida por sonicação (2 MHz) resulta em valores de AGL e peróxido abaixo do nível de especificação industrial, bem como um aprimoramento nos compostos fenólicos (PADILLA *et al*, 2018, apud PUNIA *et al*, 2021).

Khoei e Chekin (2016), apud Punia *et al* (2021) empregaram o método de superfície de resposta para otimizar os parâmetros da EAU para obter o rendimento máximo de OFA.

O óleo extraído pela EAU tinha um teor mais baixo de AGL e componentes de conferem menos cor do que o óleo extraído com o solvente hexano. Ambos os métodos de extração fornecem uma porcentagem maior de OFA em comparação com o farelo de arroz cru.

A Figura 8 ilustra e demonstra o método de Extração Assistida por Ultrassom.

Figura 8 - Extração Assistida por Ultrassom.



Fonte: Punia *et al* (2021) (Tradução Nossa).

2.6.6 Extração Assistida por Micro-ondas

A Extração Assistida por Micro-ondas (EAM) serve como uma técnica verde sobre os métodos convencionais de extração de gorduras e óleos. Este método de extração de OFA tem ganhado popularidade devido ao seu menor tempo no processo, baixo consumo de energia e solvente, sendo uma alternativa promissora ao método convencional de extração por solvente. O baixo calor específico dos lipídios os torna suscetíveis a essa radiação, facilitando a sua solubilidade no extrator (PANDEY e SHRIVASTAVA, 2018, apud PUNIA *et al*, 2021).

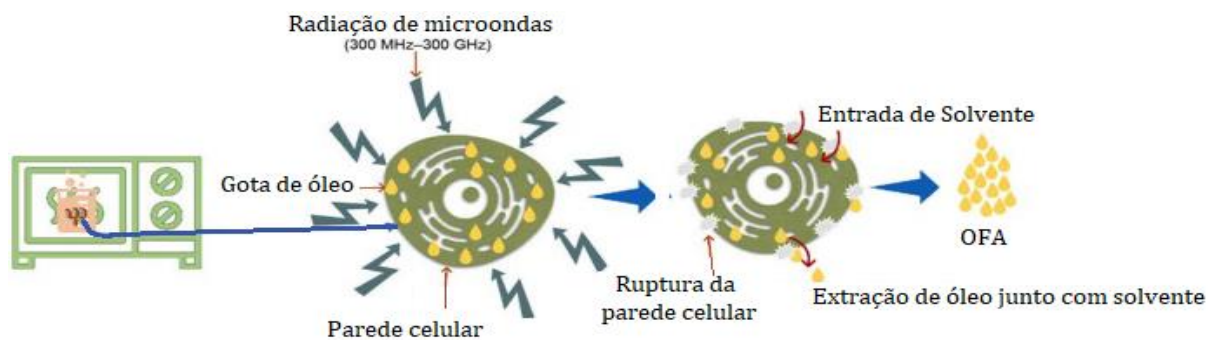
Kumar *et al* (2016), apud Punia *et al* (2021) compararam os métodos EAU e EAM e descobriram que ao usar o metanol como solvente foi possível extrair cerca de 96% de OFA e $(85,0 \pm 0,2)$ mg/kg de γ -orizanol. O óleo bruto e teores fenólicos do extrato metanólico (80%) extraído por micro-ondas são significativamente maiores do que aqueles obtidos pelos métodos de EAU e extraídos por solventes convencionais. O isopropanol acoplado ao EAM produz mais OFA que ao usar o hexano a 82 °C, 2,1 bar e 95 W com um tempo de extração de 30 min.

Shukla e Pratap (2017) apud Punia *et al* (2021), relataram que OFA extraído com isopropanol, sob a mesmas condições experimentais, contém 2,256 mg/kg de γ -orizanol.

A EAM oferece um baixo risco e não há grandes problemas relacionados a segurança, pois a maioria das extrações são realizadas em condições atmosféricas. Porém a EAM possui algumas desvantagens e limitações, o uso de solvente apolares devem ser desencorajados, pois são absorventes pobres para aquecimento por micro-ondas (CHAN *et al*, 2011, apud PUNIA *et al*, 2019).

A Figura 9 ilustra e demonstra o método de Extração Assistida por Micro-ondas.

Figura 9 - Extração Assistida por Micro-ondas.



Fonte: Punia *et al* (2021) (Tradução Nossa).

2.6.7 Extração Aquosa Assistida por Enzimas

A extração aquosa assistida por enzimas (EAAE) é considerado um dos métodos de extração de OFA mais ecologicamente correto e capaz de produzir um óleo de qualidade superior (NANDI *et al*, 2015, apud GARBA *et al*, 2019).

As enzimas, neste processo de extração de OFA, ajudam a hidrolisar e quebrar os polissacarídeos estruturais que formam a parede celular, levando assim a liberação do óleo no sistema aquoso (HERNANDEZ *et al*, 2000; LOYPIMAI *et al*, 2015, apud GARBA *et al*, 2019).

A EAAE facilita a liberação de óleo em processos de extração aquosa, evitando o uso de solventes orgânicos. Este processo envolve a tratamento de materiais contendo óleo com enzimas que degradam a parede celular para extrair óleo e outros componentes sob condições de processamento mais suaves (HANMOUNGJAI *et al*, 2001, apud GARBA *et al*, 2019).

A EAAE requer um consumo de energia e solvente menor do que o método convencional de extração com solvente e resulta em um excelente produto que não requer

mais etapas de refinamento. As principais classes de enzimas exploradas para extração do OFA são celulase, pectinase e protease (ROSENTHAL *et al*, 1996; SENGUPTA e BHATTACHARYYA, 1996; MOREAU *et al*, 2007, apud PUNIA *et al*, 2021).

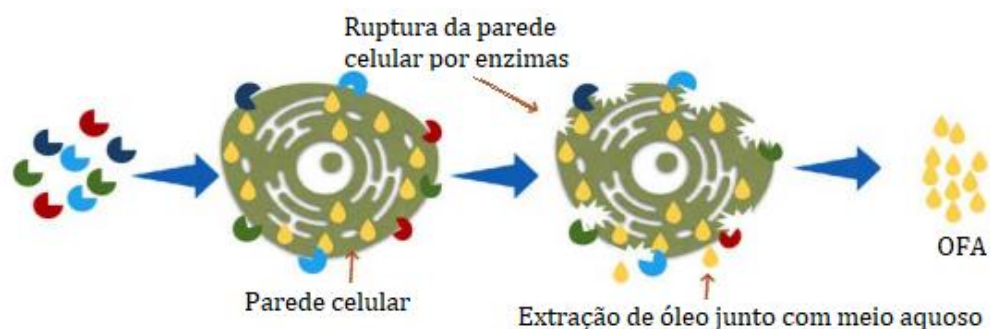
A amilase é utilizada para facilitar a extração do OFA, no entanto, esta abordagem produz apenas um aumento de 5% na recuperação do óleo (HERNANDEZ *et al*, 2000, apud PUNIA *et al*, 2021).

Apenas o uso de tratamento enzimático não resulta em altos rendimentos de OFA, para que o rendimento seja maior é necessário que o farelo do arroz tenha sido tratado com celulase e pectinase e depois extraído com hexano (SENGUPTA e BHATTACHARYYA, 1996, apud GARBA *et al*, 2019).

Para aumentar o rendimento de OFA extraído é necessário uma combinação de protease, amilase e celulase. Com essas combinações é possível recuperação de 76% a 78% de óleo daqueles que são normalmente obtidos com métodos de extrações convencionais (SHARMA *et al*, 2001, apud PUNIA *et al*, 2019).

A Figura 10 ilustra e demonstra o método de Extração Assistida por Enzimas.

Figura 10 - Extração Aquosa Assistida por Enzimas.



Fonte: Punia *et al* (2021) (Tradução Nossa).

2.7 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO ÓLEO DE FARELO DE ARROZ

O óleo de farelo de arroz é um óleo amarelo pálido e translúcido, leve, inodoro e com sabor suave de nozes (PUNIA *et al*, 2021).

2.7.1 Composição química do óleo de farelo de arroz

Atualmente, a produção mundial é de aproximadamente 100 mil toneladas de OFA, sendo 680 mil toneladas comestíveis e 220 mil toneladas não comestíveis. O óleo contém uma certa proporção de ácidos graxo saturados (ácido palmítico e esteárico), ácidos graxos monoinsaturados e poliinsaturados, que são ácido oleico, ácido linolênico, ácido fítico e beénico (PALI, 2013).

Sua composição química é muito semelhante ao amendoim, possui uma parte insaponificável, é rico em componentes como fitosterol, γ -orizanol e tocoferol. O γ -orizanol é uma classe de substância fenólica com forte efeito antioxidante. O teor em óleo de arroz chega a 2,9% m/m, representando mais de 70% da matéria insaponificável. Quimicamente, o γ -orizanol é composto de ésteres de ácido trans-ferúlico (ácido trans hidroxicinâmico) com fitosteróis (esteróis e álcoois triterpênicos). As quatro estruturas químicas principais são: 24-metileno-ciclo-artenilferulato, cicloartenilferulato, β -sitosterilferulato e campesterilferulato (PAUCAR-MENACHO *et al*, 2007).

Na tabela 1 abaixo Gustone *et al* (2007), demonstra os componentes extraídos do OFA e suas respectivas porcentagens.

Tabela 1 - Componentes do óleo do farelo de arroz e suas respectivas porcentagens.

Componentes	Porcentagem (%)
Lipídios saponificáveis	90 - 96
Triacilgliceróis	83 - 86
Graxas	3 - 4
Glicolipídio	6 - 7
Fosfolipídio	4 - 5
Lipídios insaponificáveis	4

Fonte: Adaptado de GUNSTONE *et al* (2007), apud PALI (2013).

2.8 APLICAÇÃO DO ÓLEO DE FARELO DE ARROZ

O óleo de farelo de arroz é ímpar entre os óleos vegetais, devido à sua composição única de ácidos graxos, compostos fenólicos (γ -orizanol, ácido ferúlico) e vitamina E

(tocoferol e tocotrienol). Tornou-se uma ótima opção de óleo de cozinha devido ao seu alto ponto de queima, sabor neutro e delicado (PALI, 2013).

Os constituintes presentes contribuem para propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antimicrobianas, antidiabéticas e anticancerígenas. A documentação científica sobre o ácido fítico indica seus efeitos benéficos na saúde humana, especialmente na prevenção de cálculos renais, câncer, diabetes, doença de Parkinson e efeito hipolipidêmico. Isso ajudou a tornar-se um importante substrato para aplicação em indústrias alimentícias (óleos de cozinha, barras de cereais, laticínios enriquecidos e produtos cárneos) não alimentícias (polímeros, lubrificantes, biocombustíveis, formulações cosméticas, nutracêuticas e farmacêuticas (shampo, condicionadores, emulsões para pele para tratamento de psoríase) (GARBA *et al*, 2019).

Compostos bioativos como tocoferóis, tocotrienóis, γ -orizanol e ácidos graxos insaturados tornam o OFA um excelente candidato para enriquecer alimentos. OFA fornece muitas funções de promoção da saúde e atua como um antioxidante, e aumenta a massa muscular e reduz os níveis de colesterol e colesterol sérico oxidado (GARBA *et al*, 2019)

2.9 APLICAÇÕES ALIMENTARES

2.9.1 Aplicações em Alimentos

Ótimo como óleo de cozinha pois tem um alto ponto de fumaça de 232 °C e um ponto de fulgor de 350 °C. Estas características tornam o OFA adequado para métodos de cozimento de alta temperatura. Produzido de forma sustentável, hipoalergênico pode ser usado como alternativa aos óleos de cozinha tradicionais para pessoas com alergias (PUNIA *et al*, 2021).

2.9.2 Produtos de panificação assados

Segundo Zhou *et al* (2011), apud Punia *et al* (2021) (tradução nossa) os lipídios fornecem textura, lubricidade, maciez, integridade estrutural e vida de prateleira aos produtos de panificação. As gorduras plásticas, normalmente produzidas por processos de hidrogenação parcial, são comumente utilizadas na indústria de panificação devido à capacidade cremosa dos lipídios.

2.9.3 Leite e produtos lácteos

De acordo Nnua *et al* (2000) apud Punia *et al* (2021) a absorção de umidade e a auto-oxidação são as principais causas de deterioração do leite em pó integral (LPI) durante o processamento e armazenamento. A auto-oxidação é devida à presença de ácidos monocarboxílicos e poliinsaturados na gordura do leite. A oxidação da gordura do leite ocorre por meio de uma reação em cadeia de radicais livres, e os antioxidantes participam da reação e estabilizam esses radicais livres para evitar a deterioração do leite. Adicionar 0,1% (OFA) melhora significativamente a estabilidade oxidativa.

2.9.4 Carne e produtos cárneos

Para Yum *et al* (2018) apud Punia *et al* (2021) a linguiça é formulada com 30% de gordura animal adicionada para conferir propriedades emulsificantes e gelificantes ao produto cárneo. Comer alto teor de gorduras animais é associado ao aumento do risco de obesidade, doenças cardiovasculares e pressão alta. A composição leva a um aumento na oferta do OFA desengordurado. O OFA é um ingrediente natural que atende à demanda do consumidor por produtos cárneos saudáveis.

2.9.5 Emulsificante

Para Lehri *et al* (2020), apud Punia *et al* (2021) (tradução nossa) a lecitina de farelo de arroz, subproduto da OFA, é uma mistura de fosfolipídios e uma nova opção de emulsificante. Devido às suas propriedades emulsificantes, a lecitina tem potencial para formar nanoemulsões devido à sua textura em alimentos.

2.10 APLICAÇÕES NÃO ALIMENTARES

De acordo com Vieira *et al* (2014), citado por Punia *et al* (2021), (tradução nossa) polímeros biodegradáveis (bioplásticos) são degradáveis, facilmente despolimerizáveis e oferecem uma alternativa interessante aos polímeros derivados do petróleo. Entre eles, o ácido polilático (PLLA) é amplamente utilizado para fins de embalagem. Para melhorar a ductilidade dos materiais PLLA, diferentes estratégias têm sido empregadas, a saber: mistura

de polímeros, copolimerização como aditivos poliméricos para melhorar sua flexibilidade e processabilidade, manter a integridade do filme e evitar poros e rachaduras. A preparação de plastificantes naturais à base de OFA apresenta características interessantes em relação aos plastificantes utilizados comercialmente, sintetizaram plastificantes naturais à base de OFA e polióis e sua aplicação preliminar em policloreto de vinila (PVC).

Para Righetti *et al* (2019), apud Punia *et al* (2021) (tradução nossa) os resultados mostraram que a adição do plastificante OFA ao filme de PVC aumentou significativamente o alongamento à ruptura (371,2%) em relação ao filme de PVC puro. As altas propriedades plastificantes dos filmes de PVC à base de OFA se devem ao alto ponto de fulgor do OFA. Pensa-se que baixas concentrações de OFA adicionadas ao PLLA como plastificante facilitam a preparação mais rápida de materiais de PLLA e aceleram o crescimento de cristais de PLLA em baixas temperaturas de cristalização. A boa compatibilidade, baixa toxicidade e estrutura química da OFA com outras resinas o tornam adequado para o desenvolvimento de materiais poliméricos com excelentes propriedades.

2.10.1 Lubrificante e biocombustível

Em concordância com Ju e Vali (2005), apud Punia *et al* (2021), a biodegradabilidade, renovabilidade, baixa toxicidade e excelentes propriedades lubrificantes dos óleos vegetais são as principais razões para o uso de óleos vegetais nas próximas formulações de biolubrificantes. Os óleos vegetais geralmente têm alto ponto de fulgor, alto índice de viscosidade, alta lubricidade e baixa perda por evaporação. As propriedades físico-químicas e térmicas do OFA são superiores a outros óleos vegetais devido às boas propriedades térmicas e tribológicas.

2.10.2 Cosméticos

As nanoemulsões de OFA melhoram a hidratação da pele e a estabilidade do estado físico e, portanto, são úteis em formulações cosméticas antienvelhecimento e protetores solares (BERNARDI *et al*, 2011; MUKHOPADHYAY e SIEBENMORGEN, 2017, apud PUNIA *et al*, 2021).

Para Sari *et al* (2020) apud Punia *et al* (2021) as nanoemulsões à base de OFA proporcionam proteção da pele contra a radiação UV (ultravioleta) e IV (infravermelho) e doenças da pele, nomeadamente dermatite atópica e psoríase, usaram óleo de coco ou palma

em combinação com OFA para preparar nanoemulsões de óleo em água e relataram sua estabilidade para uso em formulações cosméticas antienvhecimento e protetores solares. A nanoemulsão contendo OFA apresenta boa estabilidade com valor de potencial zeta < -30 mV.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido em nível de pesquisa bibliográfica e documental.

A pesquisa bibliográfica procura explicar e discutir um tema com base em referências teóricas publicadas em livros, revistas, periódicos e outros. Busca também, conhecer e analisar conteúdos científicos sobre determinado tema (MARTINS, 2001).

Segundo Gil (2009), a pesquisa documental se baseia na análise de conteúdo de diversos formatos de documento ou de um determinado tipo específico, tais como fuchas, mapas, cartas entre outros, com o objetivo de desenvolver respostas quantitativas ou qualitativas acerca de um fenômeno específico.

A pesquisa bibliográfica foi utilizada para descrever com ênfase as informações sobre a aplicabilidade do óleo de farelo de arroz em vários segmentos. Este projeto foi realizado com base em pesquisas sobre o tema. Consultas foram feitas na Web a partir da plataforma Google Scholar, artigos científicos públicos nacionais e internacionais, livros digitais, bem como material impresso. Em seguida, as fontes foram catalogadas e inseridas em uma planilha e classificadas de acordo com a área de abordagem do tema. Após essa etapa, os artigos foram lidos, e dentre eles alguns foram selecionados de acordo com a relevância ao tema e incluídos na revisão bibliográfica. Na sequência (produção do trabalho) os assuntos mais importantes sobre o tema foram incorporados e discutidos no trabalho final. Tendo como o objetivo a contribuição científica, esperando aprofundar-se e trazer mais conhecimento sobre a utilização, extração e benefícios que óleo de farelo de arroz.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O OFA ganhou popularidade em diversos países como Japão, Índia, Coréia, China e Indonésia devido aos seus consideráveis benefícios à saúde. Demonstrou também ser um excelente óleo de cozinha, com cor suave, sabor delicado e alto ponto de fumaça (PALI *et al*, 2009).

As qualidades nutricionais do OFA e efeitos na saúde também foram estabelecidas. O OFA é considerado único entre os óleos vegetais comestíveis devido aos ácidos graxos presente, rica composição em composto fenólico (γ -orizanol, ácido ferúlico) e vitamina E (tocoferol e tocotrienol). Estes constituintes contribuem para propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antimicrobianas, antidiabéticas e anticancerígenas (PUNIA *et al*, 2021).

Tantas propriedades únicas fizeram com que o OFA ganhasse maior visibilidade como substrato importante para ser aplicado em indústrias alimentícias (óleo de cozinha, laticínios e produtos cárneos) e não alimentícias (polímeros, lubrificante, biocombustível, lipídio estrutural e cosmético) (PUNIA *et al*, 2021).

O processo de extração do OFA é desafiador e nos últimos anos houve um crescente interesse de pesquisa em OFA e processamento para se obter óleo de boa qualidade com uma baixa perda de refino (PUNIA *et al*, 2021).

O Quadro 1 abaixo demonstra diferentes métodos de extração, em diferentes condições e resultados obtidos nas extrações Soxhlet (ES), extração de CO₂ supercrítico (SC-CO₂), extração de microondas (EAM), extração assistida por ultrassom (EAU), água subcrítica (AS) e CO₂ subcrítico (S-CO₂).

Quadro 1 - Condições e parâmetros otimizados de OFA extraídos por vários métodos convencionais e não convencionais.

MÉTODO	FATOR / PARÂMETRO DE	CONDIÇÃO OTIMIZADA	RESULTADO	REFERÊNCIA
Extração Soxhlet	Temperatura	65°C	Extração por solvente hexano é mais eficaz	Amarasinge e Gangodavilage, 2004
	Solvente	Hexano		
EAM	Tempo	30, 60, 90, 120s por etapa	EAM é uma abordagem promissora para extração do OFA, aumentando o rendimento, qualidade superior e reduzindo o tempo de processo	Pandey e Shrivastava, 2018
	Potência	300, 500, 700 e 900 W		
	Solvente	Hexano		
	Relação sólido-líquido	1:1		
	Tempo	60 min	O metanol é o solvente mais eficiente na extração do γ -orizanol	Kumar <i>et al</i> , 2016
	Potência	800 W		
	Solvente	Éter de petróleo, hexano e metanol		
	Relação sólido-líquido	1:3		
EAU	Tempo	60 min	O tratamento por ultrassom aumenta significamente a capacidade de extração do γ -orizanol em comparação com o método convencional de extração	Kumar <i>et al</i> , 2016
	Potência	—		
	Solvente	Éter de petróleo, hexano e metanol		
	Frequência	24 kHz		
	Temperatura	38 °C		
	Relação sólido-líquido	1:3		
CO ₂ supercrítico	Tempo	30 min	O SC-CO ₂ se concentra em minimizar os custos operacionais e maximizar os rendimentos do óleo	Juchen <i>et al</i> , 2019
	Pressão	100,150 ou 200 bar		
	Temperatura	40°C, 60°C ou		
	Solvente	Etanol		
	Tempo	40-80 min	A ultrasonicação SC-CO ₂ é uma tecnologia promissora a ser empregada para a extração decompostos bioativos no OFA	Soares <i>et al</i> , 2018
	Potência	160–320 W		
	Solvente	Hexano		
	Frequência	20 kHz		
Tempo de ultrassom	10–20 min			
Água subcrítica	Temperatura	180°C – 240°C	Esta técnica é ambientalmente amigável para inativar a lipase e estabilizar o OFA	Pourali <i>et al</i> , 2009
	Solvente	Água deionizada		
	Relação sólido-líquido	1:6		
CO ₂ subcrítico	Temperatura	27°C-29°C	10 vezes mais compostos de orizanol e tocol, níveis mais baixos de AGL e peróxido comparados com os métodos convencionais	Chia <i>et al</i> , 2015
	Pressão	68-70 bar		
	Solvente	Água deionizada		
	Relação sólido-líquido	01:24		
EAM, Extração assistida por microndas; EAU, Extração assistida por ultrassom;				
SC-CO ₂ , CO ₂ supercrítico; OFA, Óleo de farelo de arroz; AGL, Ácidos graxos livres.				

Fonte: Punia *et al* (2021) (Tradução Nossa).

Com base no Quadro 1 é possível verificar que a ES é mais eficaz quando usado hexano como solvente (AMARASINGE e GANGODAVILAGE, 2004, apud PUNIA *et al*, 2021).

A extração com solvente usando hexano é o método convencional mais utilizado para extração comercial, porém, a utilização do hexano no método convencional apresenta alguns inconvenientes devido à sua toxicidade, inflamabilidade e necessidade de uma temperatura elevada que, por deterioração oxidativa, pode resultar na presença de componentes indesejáveis no OFA, como por exemplo, a rancidez e sabor indesejado (GARBA *et al*, 2019).

Esse foi um dos fatores que levou vários pesquisadores a trabalharem para explorar técnicas alternativas e não convencionais para a extração do OFA. Os métodos não convencionais de extração do OFA acabam por se tornar mais eficientes e ecologicamente corretos do que métodos convencionais de extração (GARBA *et al*, 2019).

Os avanços nos métodos de extração do OFA usando estratégias de extração inovadoras como CO₂ super/subcrítico, H₂O assistido por micro-ondas, H₂O subcrítico, extração aquosa assistida por enzimas e métodos de extração aquosa assistida por ultrassom provaram melhorar significativamente os rendimentos, juntamente com perfil nutricional da OFA (PUNIA *et al*, 2021).

A EAM é um método de extração do OFA que oferece uma abordagem mais promissora, pois demonstrou um aumento no rendimento do óleo comparado a outros processos, com uma qualidade superior, por um tempo menor no processo (PANDEY E SHRIVASTAVA, 2018, apud PUNIA *et al*, 2021).

O uso do metanol como solvente no método EAM foi mais eficiente na extração do γ -orizanol (KUMAR *et al*, 2016, apud PUNIA *et al*, 2021).

O método EAU, demonstrou que o tratamento por ultrassom aumenta significadamente a capacidade de extração do γ -orizanol em comparação com os métodos convencionais de extração do OFA (KUMAR *et al*, 2016, apud PUNIA *et al*, 2021).

A extração realizada pelo método do CO₂ supercrítico utilizando etanol como solvente, demonstrou que os custos operacionais reduziram e foi possível maximizar os rendimentos do OFA (JUCHEN *et al*, 2019, apud PUNIA *et al*, 2021).

Ao realizar a extração usando hexano como solventes o método do CO₂ supercrítico demonstrou que a ultrasonicação SC-CO₂ é uma tecnologia promissora a ser empregada para a extração de compostos bioativos no OFA (SOARES *et al*, 2018, apud PUNIA *et al*, 2021)

A extração de OFA pelo método de água subcrítica é a técnica mais eficaz para inativar a lipase e estabilizar o OFA sem prejudicar o meio ambiente (POURALI et al, 2009, apud PUNIA *et al*, 2021).

Utilizando o método de extração CO₂ subcrítico foi possível obter 10 vezes mais compostos de orizanol e tocol, níveis mais baixos de AGL e peróxido comparados com os métodos convencionais (CHIA *et al*, 2015, apud PUNIA *et al*, 2021)

Os métodos não convencionais de extração de OFA mostrarão ser mais eficientes e ecológicamente amigáveis do que os métodos convencionais de extração descritos. Métodos como CO₂ super/subcrítico, H₂O subcrítico assistido por micro-ondas e métodos de extração aquosa assistida por ultrassom, ajudam a tornar o OFA um substrato importante para as indústrias (PUNIA *et al*, 2021).

Com essa revisão foi possível obter informações abrangentes sobre os métodos de extração do OFA, suas principais características químicas, aplicações existentes e seus benefícios para a saúde.

5 CONCLUSÃO

O OFA é uma fonte balanceada de ácidos graxos e de rico em γ -orizanol, tocoferol, tocotrienol e possui melhor estabilidade oxidativa que outros óleos comestíveis. (PALI, 2013).

Este trabalho destacou a extração e funcionalização do OFA para aplicações alimentícias e não alimentícias. Seu uso é diretamente compatível com suas propriedades funcionais e estruturais, que podem ser alteradas diretamente pelo seu processo de extração. Desenvolvimentos científicos recentes estabeleceram a tecnologia de extração OFA para atender à crescente necessidade de melhoria do processo, com foco particular na velocidade de operação, repetibilidade e previsibilidade do produto.

A revisão bibliográfica realizada no presente trabalho mostrou que o estudo do OFA, suas características, aplicações e principais métodos de extração, são importantes para contribuir com futuros pesquisadores que se interessem pela área, que buscam otimizar os métodos já existentes e na descoberta de novas tecnologias para extração e novas aplicabilidades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARASINGHE; GANGODAVILAGE N C. 2004. **Rice bran oil extraction in Sri Lanka: Data for process equipment design**. Food Bioprod Process, 82(1): 54-59.

CANALRURAL. **Arroz: usda prevê safra mundial 2020/21 em 502,63 mi t de beneficiado**. [S. l.], 10 jul. 2020. Disponível em: <https://www.canalrural.com.br/radar/arroz-usda-preve-safra-mundial-2020-21-em-50263-mi-t-de-beneficiado/>. Acesso em: 13 abr. 2021.

CAPELLINI, Maria. **Extração de óleo de farelo de arroz utilizando solventes alcoólicos: avaliação de alterações na fração proteicas e na composição do óleo**, 2013. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia de Alimentos) - Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

CHIA S L; BOO H C; MUHAMAD K; SULAIMAN R; UMANAN F; CHONG G H. 2015. **Effect of subcritical carbon dioxide extraction and bran stabilization methods on rice bran oil**. J Am Oil Chem Soc, 92(3): 393-402OS

CBRASIL. **PIB do agronegócio tem crescimento recorde de 24,31% em 2020**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/noticias/pib-do-agronegocio-tem-crescimento-recorde-de-24-31-em-2020>. Acesso em: 18 maio 2021.

COSTA, Leonardo da cunha. **Levantamento e análise das agroindústrias e do setor de beneficiamento de arroz em santo antônio da patrulha. universidade federal do rio grande escola de química e alimentos engenharia agroindustrial agroquímica**, [s.l.],2018. Disponível em: https://sistemas.furg.br/sistemas/sab/arquivos/conteudo_digital/d92bfa28b50ae8a3d93aae3db30c4993.pdf. Acesso em: 13 mar. 2022.

EMBRAPA. **AGROINDÚSTRIA**. [S. l.], 2021. Disponível em:
<https://www.embrapa.br/grandes-contribuicoes-para-a-agricultura-brasileira/agroindustria>.
Acesso em: 3 maio 2021.

EMBRAPA (Pantanal). Instituição. **Sustentabilidade - o que é bom saber**. Embrapa Pantanal (CPAP): Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 2 p.

EMBRAPA. **Arroz e feijão. Dados de conjuntura da produção de arroz (oryza sativa l.) no brasil** (1985-2015). Disponível em:
<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>. Acesso em: 06 abril. 2022.

GARBA, U.; SINGANUSONG, R.; JIAMYANGYEUN, S; THONGSOOK, T. **Extraction and utilisation of rice brain oil**. Lá revista italiana Delle sostanze grasse, [S. l.], v. XVCI, p. 161-170, 3 set. 2019.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2009.

ISAAC, Gustavo Elias Arten. **O desenvolvimento sustentável do setor cosmético e o comportamento do consumidor frente aos cosméticos sustentáveis**. 2016. Dissertação de mestrado (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável.) - Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino – FAE, [S. l.], 2016.

JAHN, Gabriela. **Extração supercrítica do óleo de farelo de arroz e obtenção de frações enriquecidas em γ -orizanol**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

JUCHEN, Patricia. **Extração do óleo de farelo de arroz parboilizado utilizando dióxido de carbono supercrítico e etanol**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

KUMAR P; YADAV; D KUMAR P; PANESAR P S; BUNKAR D S; MISHRA D; CHOPRA H K. 2016. **Comparative study on conventional, ultrasonication and microwave assisted extraction of ð-oryzanol from rice bran.** j food sci technol, 53(4): 2047-2053

LIKES, Ana; VIEIRA, Gabriela; LIBARDON, Maria; ABAIDE, Ederson; ZABOT, Giovani; TRES, Marcus. **Extração de óleo de farelo de arroz utilizando co2 supercrítico.** XXVIII Seminário de Iniciação Científica, [S. l.], p. 1-5, 20 out. 2020.

LIMBERGER, Valéria. **Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos.** 2006. Dissertação de mestrado (Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Maria RS, [S. l.], 2006.

LORENZETT, Daniel Benitti. **Gestão de resíduos e a indústria de beneficiamento de arroz. gestão de resíduos,** [s. l.], 2012.

MARQUES, A. B. R., SILVEIRA, G. S. da, & SILVEIRA, C. V. da. (2015). **Efeito da taxa de câmbio sobre a exportação de arroz: uma análise por meio de modelo econométrico dinâmico.** anais do enic, (6). Recuperado de <https://anaisonline.uems.br/index.php/enic/article/view/2207>. Acesso em: 13 mar. 2022

MARTINS, G.A. & PINTO, R.L. **Manual para elaboração de trabalhos acadêmicos.** São Paulo: Atlas, 2001.

NAYIK GA, MAJID I, GULL A, MUZAFFAR K (2015) **Óleo de farelo de arroz, o futuro óleo comestível da Índia: uma mini revisão.** J Rice Res 3: 151.

NAVARRO, Fabiana *et al.* **Estudo da solução de solventes na desacidificação do óleo de farelo de arroz: extração líquido-líquido.** Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos, [S. l.], p. 1-6, 15 fev. 2007

NOGUEIRA, Nathan. **Produção de micropartículas de óleo de farelo de arroz (*Oryza sativa* L.) por atomização com aproveitamento do potencial tecnológico de coprodutos do cereal. 2021.** Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2021.

PALI, Vikas. **Rice bran oil- unique gift of nature:** a review. Agricultural research communication centre, [s. l.], p. 288-294, 17 mar. 2013.

PANDEY R, Shrivastava S L. 2018. **Comparative evaluation of rice bran oil obtained with two-step microwave assisted extraction and conventional solvent extraction.** J Food Eng, 218: 106-114.

PAUCAR-MENACHO, Luz; SILVA, Leomar; SANT'ANA, Anderson; GONÇALVEZ, Lireny. **Refino de óleo de farelo de arroz (*Oryza sativa* L.) em condições brandas para preservação do γ -orizanol. Preservação de γ -orizanol em óleo de arroz.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, p. 45-53, 14 ago. 2007.

POURALI O, ASGHARI F S, YOSHIDA H. 2009. **Simultaneous rice bran oil stabilization and extraction using sub-critical water medium.** J Food Eng, 95(3): 510-516.

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, [S. l.], p. 217-232, 28 mar. 2021.

SILVA, O. F. da; WANDER, A. E. **O arroz no Brasil:** evidências do censo agropecuário 2006 e anos posteriores. Santo Antônio de Goiás: Embrapa.Arroz e Feijão, 2014. 58 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 299).

SOARES J F, Prá V D; BARRALES F M, dos Santos P, KUHN R C, REZENDE C A, MARTINEZ J, MAZUTTI M A. 2018. **Extraction of rice bran oil using supercritical CO2 combined with ultrasound**. Braz J Chem Eng, 35(2): 785-794.

SOARES, Juliana. **Avaliação de diferentes processos de extração do óleo de farelo de arroz na obte**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Santa Maria, [S. l.], 2015.

SOUSA, Jade Vieira. **Industrialização e gestão de resíduos de arroz no brasil**. 2019. trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Uberlândia, [S. l.], 2019.

MEIOSUSTENTAVEL. **Sustentabilidade**: [S. l.], 27 jul. 2021. Disponível em: <https://meiosustentavel.com.br/esg/>. Acesso em: 21 out. 2021.

WEBER, Jéssica Muniz. **Arroz: Características químicas, culinárias e nutricionais das diferentes variedades consumidas no brasil**. 2012. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado em nutrição) - Universidade de Brasília faculdade de ciências da saúde, [s. l.], 2012.