



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



Autor: Luiz Henrique Butzke

Aproveitamento de tortas oriundas da produção de óleo de girassol e de algodão: revisão e pesquisa de mercado

Orientadora: Prof^a Dra. Júlia Ribeiro Sarkis
Coorientadora: Prof^a Dra. Débora Pez Jaeschke

Porto Alegre, novembro de 2021.

Autor: Luiz Henrique Butzke

Aproveitamento de tortas oriundas da produção de óleo de girassol e de algodão: revisão e pesquisa de mercado

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química

Orientadora: Prof^a Dra. Júlia Ribeiro Sarkis
Coorientadora: Dra. Débora Pez Jaeschke

Banca Examinadora:

Prof^a Dra. Jordana Corralo Spada
Prof^a Dra. Poliana Deyse Gurak

Porto Alegre
2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Luiz e Sandra, minhas irmãs, Bruna e Francine e meus sobrinhos, Maria Luiza, Felipe e Rafael pelo amor incondicional.

Sem eles, não teria chegado até aqui.

Ao meu namorado, Marcelo, que me acompanhou desde o início da graduação, pela compreensão nas longas horas de estudos.

Ao grupo do Só Química, pela parceria nos estudos, compartilhamento de materiais e ansiedades antes das provas.

A Júlia e a Débora por todo o apoio fornecido durante a elaboração desse trabalho.

A todos os amigos e pessoas incríveis que a UFRGS botou no meu caminho, tornando esses seis anos de graduação uma experiência indescritível.

Muito obrigado!

RESUMO

Proteínas são macronutrientes indispensáveis para a dieta humana. O contínuo crescimento da população mundial levará a uma necessidade de aumentar o fornecimento de proteínas. A proteína animal apresenta custos crescentes e oferta limitada, além de causar um significativo impacto ambiental. Proteínas vegetais podem ser uma alternativa na redução da dependência de proteínas animais. A recuperação de proteínas originárias de resíduos da indústria de alimentos é uma alternativa para reduzir o despejo de resíduos e adicionar valor de mercado a diferentes produtos. A produção de óleos, como o de girassol e o de algodão, gera uma alta quantidade de resíduos, chamados de tortas. Esses resíduos podem ser explorados como uma fonte de proteína vegetal. Para tal, as tortas devem passar por processos de extração e purificação, a fim de ser obter concentrados e isolados proteicos que podem ser utilizados na alimentação humana. Entretanto, devido à presença de componentes antinutricionais e tóxicos, as tortas são majoritariamente vendidas para utilização na alimentação animal. Pesquisas publicadas nos últimos anos mostram que existem processos de remoção do conteúdo antinutricional que pode tornar esse resíduo uma opção viável para inclusão nas dietas humanas. Esta monografia consiste em uma revisão da literatura sobre a composição das tortas de sementes de girassol e algodão, além dos seus processos de extração e purificação. Ademais, também foi feito um questionário com alguns produtores de óleo do país para entender qual o destino atual das tortas, e se há interesse no seu processamento para torná-las um produto de maior valor agregado, como isolados e concentrados proteicos. Todas as empresas consultadas relataram que o destino das tortas é a venda como ração animal. Além disso, a minoria das empresas relatou já ter realizado estudos para utilização das tortas como produtos alimentícios. Entretanto, a maioria disse ter interesse nesses estudos no futuro.

Palavras-chave: Proteínas. Oleaginosas. Algodão. Girassol. Tortas. Resíduos.

ABSTRACT

Proteins are macronutrients necessary for the human diet. The continued growth of the population leads to increase protein demand. Animal protein presents growing costs, limited offer and cause environmental impact. In this context, vegetable proteins may reduce human dependence on animal proteins and the recovery of proteins from residues is an alternative to reduce waste and add market value to these byproducts. Oil production, such as cottonseed and sunflower seed oil, generates a high amount of byproducts (cakes), that are considered a source of vegetable protein. For this purpose, they must be submitted to extraction and purification processes, to obtain protein concentrates and isolates. However, due to the presence of antinutritional and toxic components, cakes are usually sold as animal feed. Nevertheless, researchers have been shown that there are processes that effectively remove these toxic components, making this byproduct a viable option for human diets. The present work consists of a literature review regarding sunflower and cottonseed cakes composition, and their extraction and purification processes. Also, a market analysis was conducted with some of Brazil's major oil producers, to understand the current use of cakes, and if there is interest in studies to turn them into high-value products. All companies consulted reported that their cakes were sold as animal feed. In addition, few companies reported that studies aiming to turn the cakes into food products were previously conducted. However, most part of the companies reported that they were interest in such studies.

Keywords: Proteins. Oilseeds. Cotton. Sunflower. Cake. Residue.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição de sementes de algodão.	14
Figura 2 - Processo de conversão das sementes em concentrados ou isolados proteicos.....	16
Figura 3 - Molécula de gossipol.....	24
Figura 4 - Resposta à pergunta 1 do questionário (número de respostas; porcentagem correspondente).	32
Figura 5 - Resposta à pergunta 5 do questionário (número de respostas; porcentagem correspondente).	34
Figura 6 - Resposta à pergunta 6 do questionário (número de respostas; porcentagem correspondente)	35
Figura 7 – Resposta à pergunta 5.1 do questionário (número de respostas; porcentagem correspondente).	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de girassol no Brasil por estado.	11
Tabela 2 - Composição média de sementes de girassol	12
Tabela 3 - Produção de algodão no Brasil por estado	14
Tabela 4 - Composição química da torta de sementes de girassol.....	21
Tabela 5 - Unidades de processamento de óleos de algodão e girassol no Brasil ...	29
Tabela 6 - Questionário enviado aos produtores de óleo de girassol e algodão brasileiros.....	30

SUMÁRIO

1	Introdução.....	9
1.1	Objetivos	9
1.2	Metodologia e organização da monografia	10
2	Revisão Bibliográfica.....	11
2.1	Matérias primas	11
2.1.1	<i>Sementes de girassol</i>	<i>11</i>
2.1.2	<i>Sementes de algodão</i>	<i>13</i>
2.2	Tortas provenientes da produção de óleo	15
2.2.1	<i>Metodologias de obtenção de proteínas.....</i>	<i>16</i>
2.2.2	<i>Torta de sementes de girassol.....</i>	<i>20</i>
2.2.3	<i>Tortas de sementes de algodão.....</i>	<i>22</i>
2.2.4	<i>Aproveitamento de resíduos da produção de oleaginosas.....</i>	<i>27</i>
3	Pesquisa de mercado	28
4	Conclusão.....	365
5	Referências Bibliográficas	38

1 Introdução

O contínuo crescimento da população mundial levará a uma necessidade de aumentar o fornecimento de proteínas. A ONU (Organização das Nações Unidas) alerta para a escassez desse macronutriente em um futuro próximo. Além disso, percebe-se uma tendência de vegetarianismo e redução do consumo de proteínas de origem animal ao redor do mundo. Nesse cenário, proteínas de origem vegetal surgem como boas opções para substituírem esses produtos, pois custam menos que proteínas animais e possuem impacto ambiental reduzido.

Diversos resíduos industriais podem ser considerados fontes de proteína vegetal. Entre esses resíduos estão as tortas obtidas a partir da produção de óleo. Na maioria dos casos, esses resíduos são utilizados como alimentação animal ou descartados. Entretanto, eles contam com uma alta qualidade nutricional e alta quantidade de proteínas, o que os tornam interessantes para a utilização nas dietas humanas. O que limita o seu uso na dieta é a presença de componentes antinutricionais, como os compostos fenólicos.

O girassol está entre as cinco sementes mais produzidas no mundo. No Brasil, sua produção ainda é pequena quando comparada à soja. Contudo, ele é ideal para plantio em rotação com a soja, e por esse motivo, tem grande potencial de expansão no país. Já o algodão é amplamente produzido no Brasil. Ambas as sementes passam por processos de extração para a produção dos óleos de girassol e de algodão, gerando uma alta quantidade de tortas, que, atualmente, são destinadas ao consumo como ração animal, devido à presença de componentes antinutricionais. No entanto, existem processos específicos que podem reduzir a concentração desses componentes a níveis seguros para as dietas humanas.

1.1 Objetivos

O objetivo do presente trabalho é revisar e discutir a composição das tortas obtidas a partir da produção de girassol e algodão, entendendo quais são seus

componentes antinutricionais, e quais os processos utilizados para torná-las seguras para o consumo humano. Além disso, outro objetivo é realizar uma pesquisa de mercado para entender o destino dado a esse resíduo no Brasil.

Os objetivos específicos são:

- Estudar a composição das tortas originárias do processamento das sementes de algodão e girassol;
- Revisar os processos de extração das proteínas;
- Determinar qual o destino desses resíduos no Brasil;
- Entender como é feito o tratamento das tortas de girassol e algodão na indústria;
- Avaliar o interesse dos produtores nacionais em aproveitar esses subprodutos para a produção de concentrados e isolados proteicos para o consumo humano.

1.2 Metodologia e organização da monografia

Foi utilizada a base de dados Science Direct para coleta de material bibliográfico. Para seleção dos artigos foram buscadas publicações contendo as palavras “protein”, “meals”, “cakes”, “by-products”, “sunflower”, “cotton” e “oilseeds” presentes no título, resumo ou palavras-chave do artigo. O período de publicação avaliado foi a partir de 2015. Apenas publicações em inglês foram incluídas. Ao fazer a triagem, os artigos que envolviam a aplicação gastronômica dos produtos de girassol e algodão não foram incluídos. Nas sessões introdutórias desta monografia foram inclusos revisões e capítulos de livros, sem limitações para datas.

A monografia está organizada de forma que a primeira parte consiste na revisão bibliográfica, descrevendo as matérias primas, os métodos de extração e as estratégias de purificação das tortas encontradas na literatura, enquanto a segunda parte consiste nos resultados de um questionário enviado aos principais produtores de óleo do Brasil, com o intuito de entender as características e destinos das tortas obtidas em seus processos produtivos.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Matérias primas

2.1.1 Sementes de girassol

Sementes de girassol são uma das cinco sementes de oleaginosas mais produzidas no mundo, e possuem uma alta quantidade de óleo de boa qualidade (38% a 50%). A área cultivada no Brasil é de 62,3 mil hectares. Essa área é considerada pequena quando comparada a da soja, equivalente a 127,842 milhões de hectares, principal oleaginosa cultivada no país (DADOS ECONÔMICOS - PORTAL EMBRAPA, Ago/2021). Entretanto, o girassol é efetivamente utilizado em sucessão ou rotação com a soja, portanto, demonstra um enorme potencial de expansão no Brasil, principalmente na região do cerrado (CASTRO; LEITE, 2018).

A Tabela 1 mostra os dados de cultivo do girassol no Brasil por estado, em diferentes safras. Percebemos que o Mato Grosso é o maior produtor de girassol do país, sendo responsável por mais de 85% da produção brasileira na safra 13/14.

Tabela 1 - Produção de girassol no Brasil por estado.

Estado	2013/14*	2014/15	2015/16	2016/17
MT	126,2	86,4	25,6	31,8
GO	4,2	7,4	14	16,6
MG	11,3	14,0	7,0	9,3
RS	3,3	1,2	3,3	3,3
Outros	0,7	0,4	1,6	1,3
Brasil	145,7	109,4	51,5	62,3

*milhares de hectares.

Fonte: (CASTRO; LEITE, 2018).

Existem três grupos principais de sementes de girassol: as utilizadas na produção de óleo; as de confeitaria (usadas como lanches ou comida de animal); e as usadas de forma ornamental. Contudo, mais de 90% da produção mundial é voltada para a produção de óleo. A composição das sementes pode variar com base em fatores genotípicos e fenotípicos (FICK; MILLER, 2015). GONZÁLEZ-PÉREZ (2003) reuniram a composição média de sementes com base em diferentes fontes; essa composição é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2- Composição média de sementes de girassol

Componente	Semente descascada (%)	Semente inteira (%)
Proteínas	20,4 – 40,0	10,0 – 27,1
Peptídios, amino ácidos e outros componentes nitrogenados não proteicos	1-13	-
Carboidratos	4-6	18-26
Lipídios totais	47-65	34-55
<i>Perfil de ácidos graxos</i>		-
Palmítico	5-7	-
Estearico	2-6	-
Eicosanoico	0,0-0,3	-
Oleico	15-37	-
Linoleico	51-73	-
Linolênico	<0,3	-
Tocoferol	0,07	
Carotenoides	0,01-0,02	
Vitamina B1	0,002	
Ácido Clorogênico	0,5-2,4	1,1-4,5
Ácido Quínico	0,12-0,25	
Ácido Cafeico	0,17-0,29	
Minerais	3-4	2-4
Potássio	0,67-0,75	
Fósforo	0,60-0,75	
Enxofre	0,26-0,32	
Magnésio	0,35-0,41	
Cálcio	0,08-0,10	
Sódio	0,02	

Fonte: (GONZÁLEZ-PÉREZ, 2003).

Como pode ser visto na Tabela 2, as proteínas são um dos principais componentes das sementes de girassol. Dentre as proteínas presentes nas sementes, pode-se destacar a presença de dois grandes grupos, de acordo com a classificação de Osborne: as globulinas, insolúveis em água; e as albuminas, solúveis em água. O conteúdo de globulina varia de 40 a 90%, enquanto o de albumina varia de 10 a 30% (GONZÁLEZ-PÉREZ; VEREIJKEN, 2007). Quanto à composição de aminoácidos, o girassol possui os requisitos para consumo humano da FAO (Food and Agriculture

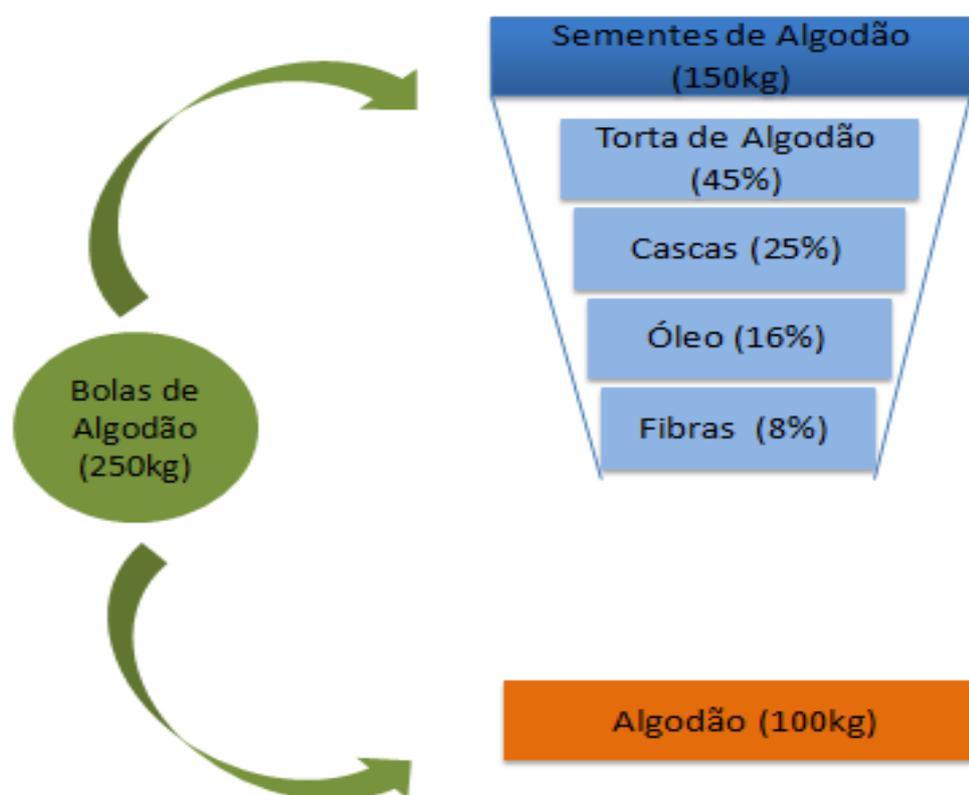
Organization), com exceção do baixo teor de lisina. Apesar da concentração de lisina nas sementes ser um fator negativo do ponto de vista nutricional, essa recomendação se refere ao consumo total em uma dieta balanceada. Portanto, a lisina pode ser complementada com outros alimentos da dieta (MALIK; SHARMA; SAINI, 2016).

Comparadas com outras fontes de proteína vegetal, as sementes de girassol possuem poucos componentes antinutricionais (GONZÁLEZ-PÉREZ; VEREIJKEN, 2007). No entanto, a presença de compostos como o ácido clorogênico, quínico e cafeico, mesmo em baixas quantidades, é um dos principais impeditivos para que sementes de girassol sejam usadas como fonte de proteínas.

2.1.2 Sementes de algodão

O algodão é uma planta cuja produção representa aproximadamente 2 a 3% da terra arável do mundo. É estimado que as fibras do algodão representem de 85 a 90% do seu valor, enquanto a semente e seus produtos (principalmente o óleo) sejam responsáveis pelo restante. Tipicamente, para cada 100 kg de fibra produzida, tem-se 150 kg de sementes. No geral, a semente é composta de, aproximadamente, 16% de óleo, 45% de torta, 25% de casca e 8% de algodão. A semente pode ser utilizada inteira como alimento para animais, ou pode ocorrer a extração do seu óleo, sendo o óleo de algodão um dos mais consumidos no mundo (CHENG et al., 2020). As sementes de algodão possuem maior concentração de globulinas, seguidas por albuminas e glutelinas (BALANDRÁN-QUINTANA *et al.*, 2019).

Figura 1 - Composição de sementes de algodão.



Fonte: autoria própria, adaptado de CHENG et al., (2020).

No Brasil, a região Centro-Oeste é a que tem a maior produção de algodão, seguida pela região Nordeste. A Tabela 3 mostra os dados de produção do algodão, por estado, em diversas safras (ALGODÃO NO BRASIL, Ago/2021). Percebemos que o MT é responsável por mais de 70% da produção do algodão brasileiro. A Bahia vem em seguida, sendo o segundo estado com maior produção.

Tabela 3 - Produção de algodão no Brasil por estado

Estado	2016/17	2017/18	2018/19	2019/20	2020/21
MT	627,80*	777,80	1.092,80	1.166,00	956,10
BA	201,60	263,70	332,00	313,70	269,20
GO	26,20	33,00	42,40	35,50	27,30
MS	28,60	30,40	37,00	32,00	24,40
MG	15,60	25,00	42,00	38,10	29,00

*Em milhares de hectares

Fonte: (ALGODÃO NO BRASIL, Ago/2021).

Quanto aos compostos antinutricionais, o gossipol é um composto polifenólico tóxico presente em plantas de algodão, principalmente nas sementes, com concentração de até 2,4% em base seca. A presença desse composto limita o uso do algodão e seus subprodutos na dieta de animais e também na alimentação humana. A presença dessa toxina em dietas traz diversos efeitos negativos no crescimento e desenvolvimento de animais. Entretanto, o algodão pode ser utilizado como alimento caso o conteúdo de gossipol seja reduzido a níveis seguros (KUMAR *et al.*, 2021a). Durante a extração de óleo das sementes de algodão, uma porção do gossipol livre se liga à lisina, reduzindo sua disponibilidade. A quantidade de gossipol livre dependerá da variedade de algodão, do método de extração de óleo e da proporção de casca para núcleo (MA *et al.*, 2018).

2.2 Tortas provenientes da produção de óleo

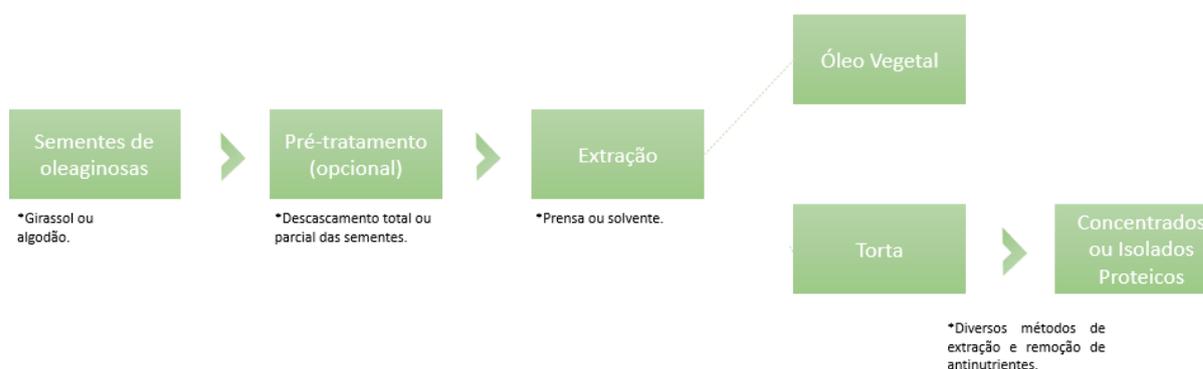
Proteínas são macronutrientes indispensáveis para dietas. Em um mundo em que a população cresce continuamente, um desafio é o consumo de proteínas de baixo custo e fácil fornecimento, que vão de encontro aos aspectos ambientais. As proteínas de origem animal apresentam custos crescentes e oferta limitada, além de estarem altamente associadas com mudanças climáticas, perda de biodiversidade e risco de doenças cardiovasculares. Assim, proteínas de origem vegetal podem ser uma alternativa para a redução da dependência de proteínas animais por humanos (SÁ; MORENO; CARCIOFI, 2020).

Os métodos tradicionais para extrair óleo das sementes são a prensagem ou o uso de solventes, como o hexano. As tortas de sementes oleaginosas são o resíduo deste processo, e possuem uma alta concentração de proteínas. A Figura 2 a seguir mostra o processo de obtenção das tortas. Essas tortas são geralmente utilizadas como ração para animais devido à presença de compostos antinutricionais que dificultam a sua utilização na dieta humana (ARRUTIA *et al.*, 2020). A composição das tortas pode variar dependendo do tipo da semente, da sua qualidade inicial, dos métodos de pré-tratamento (descascamento, armazenamento), e do método de extração do óleo. Geralmente, as tortas originárias de sementes descascadas têm maior conteúdo proteico e menor quantidade de fibras, enquanto as tortas de sementes com casca necessitam de um fracionamento em porções ricas em fibras e

em proteínas. A utilização de tortas provenientes de processos em grande escala é prejudicada devido ao processo de recuperação do solvente, uma vez que a etapa de aquecimento favorece a agregação das proteínas e uma associação mais forte entre as fibras e carboidratos, afetando não só a capacidade de extração, como as propriedades funcionais das proteínas (POJIĆ; MIŠAN; TIWARI, 2018).

Com o intuito de remover componentes antinutricionais e gerar um material com maior concentração proteica (concentrados e isolados proteicos) às tortas, geralmente, são aplicados processos específicos para a extração de proteínas (POJIĆ; MIŠAN; TIWARI, 2018). Podem também ser realizados processos de extração dos componentes antinutricionais, fazendo com que as proteínas remanescentes tenham maior valor agregado (ZARDO *et al.*, 2017). De acordo com a legislação brasileira, concentrados proteicos são produtos com no mínimo 68% de proteína em matéria seca, e isolados proteicos são produtos com no mínimo 88% de proteína em base seca (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DA ALIMENTAÇÃO (SÃO PAULO, 1985). Os processos de extração de proteínas das tortas são abordados a seguir.

Figura 2 - Processo de conversão das sementes em concentrados ou isolados proteicos



Fonte: autoria própria.

2.2.1 Metodologias de obtenção de proteínas

As técnicas de obtenção de proteínas podem ser divididas em dois grandes grupos: metodologias de extração aquosa e metodologias secas de enriquecimento

proteico. Conforme será abordado a seguir, tecnologias emergentes vêm sendo estudadas para melhorar a eficiência de processos de extração de proteínas. Essas tecnologias alternativas têm como objetivo reduzir a necessidades de solventes e de altas temperaturas, além diminuir os tempos de processamento. Apesar das numerosas vantagens, a aplicação dessas tecnologias em nível industrial ainda é limitada. (POJIC; MIŠAN; TIWARI, 2018).

Metodologias aquosas tradicionais

A extração aquosa se refere ao processo em que a água é utilizada como meio de extração, sozinha ou em combinação com solventes ácidos, básicos ou salinos (ARRUTIA *et al.*, 2020). O processo usualmente inicia com a solubilização da proteína, em um meio com o pH distante do ponto isoelétrico, seguido pela precipitação, que ocorre em meio com pH próximo do seu ponto isoelétrico. Outra abordagem é a solubilização das proteínas usando soluções salinas, e após a solubilização, realizar a precipitação pela remoção do sal via ultrafiltração ou diafiltração (POJIC; MIŠAN; TIWARI, 2018).

Processos de extração em meios alcalinos resultam em alto rendimento proteico, uma vez que promovem a ruptura da parede celular e a solubilização das proteínas. Entretanto, esses métodos possuem algumas desvantagens: a exigência de demulsificação; a presença de contaminantes químicos no produto final, devido à extração de componentes não proteicos, que precipitam junto das proteínas e diminuem a qualidade do produto; e a perda da funcionalidade proteica (ARRUTIA *et al.*, 2020). No geral, a alteração do pH do meio leva à hidrólise parcial e desnaturação das proteínas, e suas propriedades funcionais – como solubilidade, viscosidade e emulsificação – são sensíveis ao pH. A extração convencional proteica em meio alcalino também leva à rápida oxidação dos compostos fenólicos - presentes nas tortas de diversas sementes – a quinonas, que se ligam covalentemente às proteínas (GONZÁLEZ-PÉREZ; VEREIJKEN, 2007).

Quando a extração é feita em condições levemente ácidas, algumas dessas desvantagens são evitadas. Entretanto, de forma geral, a extração ácida é menos eficiente que a básica em relação à concentração proteica. Isso se deve,

principalmente, devido ao menor grau de ruptura da parede celular, que diminui a taxa de difusão das proteínas para o meio (ARRUTIA *et al.*, 2020). A extração em meio levemente ácido e altas concentrações de NaCl mostra um melhor rendimento proteico quando comparada à extração ácida sem o sal (PICKARDT *et al.*, 2015).

Metodologia assistida por enzimas

A aplicação de tratamento enzimático para auxiliar a extração proteica se mostra promissora, devido ao seu modo de ação altamente específico. Essa técnica é baseada na ruptura da parede celular, devido à ação de enzimas específicas. As enzimas são capazes de degradar moléculas de celulose, hemicelulose e/ou pectinas, sendo esses os principais componentes das paredes celulares de plantas. Além disso, parte das proteínas pode ser hidrolisada, aumentando a sua solubilidade. No entanto, esses métodos demandam tempos longos de processamento, altos custos operacionais e alto consumo de energia. Ademais, é necessário realizar ajustes cuidadosos nos parâmetros de processo, como ajuste do pH e da temperatura ótima para a atividade enzimática. Cabe ressaltar que, por não usar solventes tóxicos, essa metodologia pode ter um menor impacto ambiental quando comparado à extração básica/ácida e fornecer produtos de qualidade superior e mais adequados para o consumo humano (POJIĆ; MIŠAN; TIWARI, 2018).

Metodologias Secas

As metodologias secas são uma forma de enriquecimento proteico, que visam aumentar o teor de proteína de uma mistura, e acontecem após uma etapa de extração inicial, podendo ser extração aquosa ou por moagem. O peneiramento e/ou classificação aérea são técnicas de fracionamento de frações ricas em proteína e frações ricas em fibras muito cobertas na literatura. Elas utilizam as diferenças no tamanho das partículas para realizar a separação. BANJAC *et al.*, (2017), por exemplo, estudaram a classificação aérea para a obtenção de uma torta de girassol com alta concentração proteica. Essas técnicas resultam em frações que retêm a funcionalidade proteica, e se mostraram mais energeticamente eficientes em comparação aos processos aquosos. Seu principal ponto negativo são as impurezas formadas a partir de aglomerações de partículas, principalmente em tortas que possuem um residual de gordura (POJIĆ; MIŠAN; TIWARI, 2018). Além disso, as

metodologias secas que levam a maiores concentrações proteicas alcançam em torno de 50%, o que é baixo se comparado com a extração aquosa (ARRUTIA et al., 2020). Outra desvantagem das técnicas de extração secas é a ausência da remoção de antinutrientes, o que acontece em alguns procedimentos aquosos, por exemplo (ARRUTIA et al., 2020).

Uma nova tecnologia que busca evitar algumas dessas desvantagens é a separação eletrostática. Ela é realizada em dois passos: carregamento e separação das partículas em um campo elétrico. Resultados mostram que esse método leva a um enriquecimento proteico até 15% maior quando comparado com a classificação aérea (POJIĆ; MIŠAN; TIWARI, 2018). Barakat e colegas demonstraram a extração de proteínas a partir de torta de sementes de girassol pela separação eletrostática. O produto final teve concentração proteica de 48.9%, resultado mediano quando comparado a outras técnicas. Entretanto, as estruturas macromoleculares dos carboidratos e da lignina foram mantidas. Além disso, esse método não requer aquecimento externo, produtos químicos ou água, e não produz efluentes para reciclagem (BARAKAT; JÉRÔME; ROUAU, 2015).

Técnicas alternativas de extração

Ambas as metodologias, secas e aquosas, necessitam da ruptura das células para permitir a liberação de proteínas. Classicamente, essa ruptura acontece por métodos físicos, como a moagem, químicos, como a extração assistidas por enzimas, ou térmicos. Entretanto, devido à grande sensibilidade das proteínas ao calor e às desvantagens de uso de solventes, novas técnicas de processamento vêm surgindo demonstrando maior eficiência e menores tempos de processamento, custo e impacto ambiental. Dentre essas, destacam-se duas: a extração assistida por micro-ondas e a extração assistida por ultrassom (POJIĆ; MIŠAN; TIWARI, 2018).

A tecnologia de micro-ondas usa ondas eletromagnéticas na frequência de 300 MHz a 300 GHz. Durante esse processo, a radiação aquece a água das células, aumentando a sua pressão interna. Esse aumento promove a ruptura da célula, permitindo a liberação das moléculas de interesse de forma rápida e eficiente. Esse

processo leva à redução do tempo de extração, do consumo de solvente, e do gasto de energia (NÁTHIA-NEVES; ALONSO, 2021). Já a tecnologia de ultrassom usa ondas de som em frequências a partir de 20 kHz, induzindo o fenômeno de cavitação, que aumenta a porosidade da matriz pela indução de microfissuras e canais que melhoram a permeação de solvente dentro da matriz. Essa tecnologia, entretanto, pode levar a mudanças na estrutura da proteína, causar desnaturação e alterar suas propriedades funcionais (POJIC; MIŠAN; TIWARI, 2018).

2.2.2 Torta de sementes de girassol

A torta de sementes de girassol originada na extração de óleo é um material promissor devido a sua grande disponibilidade, alto conteúdo proteico, baixo conteúdo de componentes antinutricionais e ausência de componentes tóxicos. Entretanto, até o momento, esses coprodutos só foram utilizados em larga escala como alimentação animal de baixo valor. O conteúdo proteico das tortas foi reportado como 40% se as sementes sofrem extração mecânica do óleo, 50% quando sofrem extração por solvente, e de 53 a 66% quando a torta é obtida a partir de sementes sem casca (GONZÁLEZ-PÉREZ; VEREIJKEN, 2007).

A composição da torta de girassol dependerá de diversos fatores, como a variedade da semente e o método de extração de óleo. A porcentagem de cada nutriente pode variar ainda, por exemplo, pela quantidade de cascas e sementes descascadas utilizadas no processo. Características genótípicas e fenotípicas também servem como fator de diferenciação. Proteínas e fibras são os principais componentes, o conteúdo lipídico é menor que 3% quando extração por solvente é aplicada, e de mais de 5% quando é realizada a extração mecânica. Compostos fenólicos, principalmente ácidos clorogênicos, representam entre 2 a 6% do conteúdo da torta. A Tabela 3 mostra a composição de tortas de semente de girassol baseada em diferentes fontes encontradas na literatura. Apesar de, na maioria dos casos, diferentes artigos reportarem valores similares, em algumas circunstâncias há muitas disparidades (ARRUTIA *et al.*, 2020).

Tabela 4 - Composição química da torta de sementes de girassol

	ORLIAC <i>et al.</i> , (2003)	SODINI; CANELLA, (2002)	SALGADO <i>et al.</i> , (2012a)
Água	10,0	10,0	11,0
Proteínas brutas	34,40	60,75	31,70
Lipídeos	1,0	1,47	0,90
Cinzas	7,6	7,25	8,0
Fibra bruta	-	4,33	33,50
Fenóis	5,70	2,59	2,70

Fonte: (ARRUTIA *et al.*, 2020).

Diferentemente de outras sementes, como a de canola, e grãos, como o de soja, as sementes de girassol contêm pequenas taxas de componentes antinutricionais. Os principais componentes indesejados dessas sementes são os componentes fenólicos, na taxa de 1-4 g/100 g. Os componentes fenólicos da semente de girassol são o ácido clorogênico, o ácido cafeico e o ácido quínico. A presença desses componentes é um dos motivos pelo qual a torta é pouco utilizada na alimentação humana, visto que reduzem a digestibilidade e adicionam uma cor escura à torta (MALIK; SHARMA; SAINI, 2016). Compostos fenólicos, além de proporcionarem uma coloração escura, também reduzem a bioacessibilidade de alguns aminoácidos essenciais. Isso acontece em meio alcalino, devido à oxidação de polifenóis a quinonas, que reagem com alguns grupos da estrutura da proteína, formando grupos cromogênicos em que o aminoácido fica nutricionalmente indisponível (TRANCHINO; COSTANTINO; SODINI, 1983). Os compostos fenólicos podem interagir com proteínas de duas formas: não-covalentemente, por ligações de hidrogênio, ligações iônicas ou interações hidrofóbicas; e covalentemente, pela oxidação de quinonas, que reagem com grupos das proteínas, como as aminas. Essas interações levam à redução na solubilidade, digestibilidade, tempo de armazenamento e estabilidade das tortas, além de conceder a elas uma coloração escura (GONZÁLEZ-PÉREZ; VEREIJKEN, 2007). Além disso, a remoção de polifenóis faz com que a torta de sementes de girassol tenha melhores propriedades estruturais. Os polifenóis interagem com as proteínas durante o processo de extração em pH alcalino,

o que faz com que a estrutura da proteína se desestabilize (MALIK; SHARMA; SAINI, 2016).

Conforme mencionado anteriormente, as proteínas podem ser extraídas das tortas usando as diferentes metodologias abordadas. Entretanto, outra abordagem possível é a extração dos compostos fenólicos das tortas tornando-as mais atrativas, tanto para o consumo humano, quanto animal. Nesse contexto, numerosas abordagens já foram estudadas para obter um produto livre de ácidos fenólicos. Estratégias comuns são a extração com misturas de solventes orgânicos e/ou água para reduzir o conteúdo fenólico antes da extração alcalina, a exclusão do oxigênio usando vácuo ou gases inertes, e o uso de antioxidantes durante a extração a alcalina. O uso de solventes orgânicos pode levar a desnaturação das proteínas, além de representar altos custos para a recuperação de solvente e medidas de segurança. A pré-extração dos fenóis com água, e posterior extração alcalina também foi amplamente estudada, entretanto, se provou insuficiente (PICKARDT *et al.*, 2015).

Uma nova abordagem, que consiste na extração em meio levemente ácido (pH ~ 6) e alta concentração de sal (1.6-2.1 mol/L de solvente), se mostrou eficiente em produzir proteínas de cor clara a partir de sementes de girassol. O uso do NaCl compensou as condições subótimas de pH em termos de rendimento proteico, enquanto a coloração verde foi evitada. Esse procedimento ainda permite a remoção dos ácidos fenólicos por adsorção (PICKARDT *et al.*, 2009). Este processo foi posteriormente testado com sucesso em planta piloto, resultando em isolados proteicos com propriedades funcionais promissoras, particularmente como agentes emulsificadores. Entretanto, os tempos e condições de processo devem ser estudados com maior cuidado, para evitar ao máximo a desnaturação em excesso (PICKARDT *et al.*, 2015).

Alguns estudos focam em obter um isolado proteico com a remoção completa dos compostos fenólicos. No entanto, o baixo rendimento proteico e o uso de muita água e químicos torna a remoção completa menos adequada para aplicações em alta escala. JIA *et al.*, (2021) estudaram a taxa de remoção de compostos fenólicos e a perda proteica pela lavagem – aquosa e com etanol - utilizando diferentes temperaturas, pHs e concentração de etanol. Descobriu-se que o efeito de alterar as

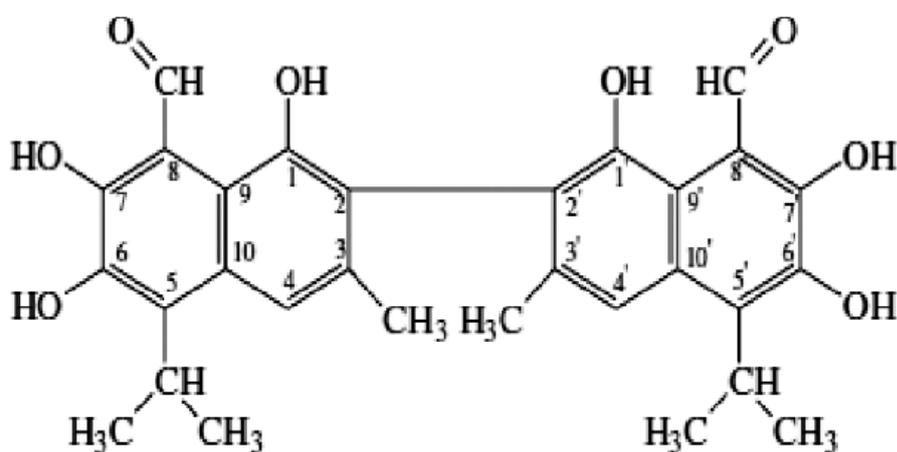
condições do processo foi maior na perda proteica do que na remoção de compostos fenólicos. Dessa forma, os autores concluíram que as condições de processo não devem reduzir o conteúdo de proteínas nos extratos. Resultados dos experimentos mostram que a remoção de compostos fenólicos pode chegar a 75% com perda proteica menor que 15% usando apenas três passos. Utilizando um procedimento de múltiplos passos, simulações mostram que a remoção dos compostos fenólicos chega a 95%, com perda proteica menor que 3%. Além disso, as propriedades funcionais dos concentrados resultantes foram pouco alteradas com o uso de solventes concentrados em etanol (JIA *et al.*, 2021). Já em outro estudo, foram produzidos em planta piloto concentrados proteicos com diferentes níveis de compostos fenólicos, partindo de torta de girassol residual. A presença de resquícios dos compostos fenólicos afetou apenas a coloração e as propriedades antioxidantes dos produtos, e gerou produtos com boa estabilidade e digestibilidade em alta escala, o que sugere que tal prática pode ser escalada para nível comercial (SALGADO *et al.*, 2012b).

2.2.3 Tortas de sementes de algodão

A torta de sementes de algodão é um subproduto agroindustrial da indústria de óleo com alto conteúdo proteico e alto potencial para ser usado como fonte de proteínas. Entretanto, devido à alta concentração de gossipol, que é um composto antinutricional, conforme mencionado anteriormente, a torta é majoritariamente utilizada como alimento para animais. Após a extração do óleo, a torta possui de 45 a 55% de proteína, com uma composição de aminoácidos balanceada. No entanto, a presença de gossipol faz com que a torta seja prejudicial ao consumo humano, tornando-a inutilizável. O gossipol é um composto polifenólico produzido nas glândulas de sementes, folhas e flores, e serve como um mecanismo natural de defesa contra insetos e pestes, além de ser tóxico para a maioria dos animais monogástricos. Existem dois tipos de gossipol presentes nas sementes de algodão: o gossipol livre e o gossipol ligado. O gossipol livre é mais prejudicial à saúde, podendo levar a toxicidade e aos efeitos de esterilidade em animais e humanos. O gossipol ligado, apesar de não ser tóxico, reduz a biodisponibilidade e valor nutritivo da lisina, um aminoácido essencial, por meio da ligação com o amino grupo épsilon da lisina, além de reduzir a digestibilidade da torta (KUMAR *et al.*, 2021b). O gossipol causa danos ao coração e ao fígado tanto de animais como de humanos, podendo, também, causar

anemia (RATHORE *et al.*, 2020). De acordo com a FDA (Food and Drug Administration), proteínas de algodão podem ser consideradas comestíveis se contiverem menos de 0,045% de gossipol livre e 0,8% de gossipol ligado. Portanto, a redução de gossipol das sementes de algodão é importante para seu uso como uma fonte alternativa de proteínas (MA *et al.*, 2018).

Figura 3 - Molécula de gossipol



Fonte: www.researchgate.net

Vários esforços foram feitos para desenvolver variedades de algodão sem glândulas, que possuem conteúdo de gossipol muito baixo. Entretanto, variedades sem glândulas não são tão populares devido a sua menor resistência a insetos e pestes. Além disso, observou-se que a semente necessita de isolamento para prevenir o cruzamento com o algodão com glândula, o que eleva os custos de produção (RATHORE *et al.*, 2020).

Como a produção de algodão sem glândula se mostrou inviável, pesquisadores buscaram os tradicionais meios físicos para reduzir a quantidade de gossipol em vários produtos de proteína de algodão. Como o gossipol fica contido em diversas glândulas de pigmentos, métodos como a classificação aérea e o ciclone líquido podem ser utilizados para remover essas glândulas. GARDNER; SR; HLE, (1976) reportou que o ciclone líquido é capaz de produzir uma farinha de sementes de algodão contendo 0,04% de gossipol e mais de 65% de proteína. Esse método foi aplicado comercialmente em uma planta no Texas, que posteriormente fechou suas operações devido à baixa viabilidade. Por outro lado, DECOSSAS *et al.*, (1982) mostraram que a classificação aérea serve como um método financeiramente atrativo

para obter farinha de sementes de algodão com 65% de proteína, e que atende aos requisitos de quantidade de gossipol da FDA.

Além disso, tratamentos de aquecimento promovem a ligação do gossipol às proteínas e, assim, reduzindo sua toxicidade. Entretanto, esse método reduz a biodisponibilidade das proteínas (RATHORE *et al.*, 2020). Ainda, a utilização de radiação gama ou de elétrons é um método alternativo que vem se mostrando eficiente na redução do gossipol livre nas tortas de sementes de algodão. Essa redução pode acontecer pela formação de ligações entre as unidades de gossipol, seu *crosslinking* com outros compostos ou pela oxidação ou fragmentação da estrutura do gossipol. BAHRAINI *et al.* (2017) reportaram 82,37% de redução no gossipol livre com a utilização de radiação de elétrons e 59,16% com utilização de radiação gama, ambas com 40 kGy. Esses métodos apresentam vantagens quando comparados com os métodos tradicionais, como a ausência de impactos ambientais, a eliminação de contaminantes microbiais, e o fato de que não causam danos aos nutrientes ou formação de produtos não desejados. Entretanto, esses métodos não se provaram eficientes o suficiente para reduzir a concentração de gossipol a níveis seguros. Adicionalmente, os altos custos de investimento dessas técnicas são grandes desvantagens. Por fim, a OMS (Organização Mundial da Saúde) define a dose segura de radiação gama como menor que 10 kGy, que não é suficiente para atingir as altas porcentagens de redução de gossipol (KUMAR *et al.*, 2021a).

A remoção do gossipol por métodos químicos se mostra mais viável para a utilização da torta de sementes de algodão como suplemento na alimentação, devido a sua alta eficiência com baixo investimento financeiro. A extração do gossipol envolve um processo de duas etapas; primeiramente, o solvente entra em contato com o sólido, interagindo com as glândulas de resina presentes nele, solubilizando o gossipol. Após, ocorre a difusão do gossipol para a fase líquida por meio da difusão molecular (KUMAR *et al.*, 2021a). Quanto ao solvente, soluções de acetona e de etanol foram utilizadas para a extração de gossipol. Essas soluções foram utilizadas com adição de ácido fosfórico e água para catalisar a hidrólise do gossipol ligado às proteínas, levando a concentração a 5-10% do seu valor inicial (PELITIRE; DOWD; CHENG, 2014).

Estudos recentes indicam que alguns microrganismos poderiam efetivamente degradar gossipol livre. Essa detoxificação pode seguir duas hipóteses diferentes: a primeira é a utilização do gossipol como fonte de carbono, reduzindo sua concentração na torta; e a segunda, a transformação do gossipol livre para o gossipol ligado, reduzindo a toxicidade da torta, por meio da ação dos micróbios após o processo de fermentação. Esse método pode não só ajudar a atingir os níveis seguros de gossipol, como também elevar o conteúdo proteico. Uma cepa encontrada em fluídos do rúmen de vacas foi isolada e caracterizada, e descobriu-se que ele faz a biodegradação do gossipol, atingindo 78,85% de remoção do gossipol livre, além de um aumento de 4,98% no conteúdo proteico (ZHANG, Y. *et al.*, 2018). Em outro estudo, foram analisados os efeitos de fungos na redução do gossipol durante a fermentação do substrato sólido da torta de sementes de girassol, atingindo até 94,6% de redução de gossipol, com aumento do conteúdo proteico de 10,76%. Também foi identificado que a suplementação com minerais aumentou a eficiência da fermentação, chegando a níveis de 96,67% de redução de gossipol (ZHANG, W. J. *et al.*, 2007). Apesar de esse método ser barato e eficiente para a degradação de gossipol, ele é afetado por diversos parâmetros; como tempo de fermentação, umidade inicial, pH e temperatura de incubação, que precisam ser otimizados para atingir o nível mínimo de toxicidades na torta. Dessa forma, a combinação de métodos físicos e/ou químicos com os métodos biológicos se mostra promissora na obtenção de uma torta de sementes de girassol que possa ser utilizada de forma segura na alimentação (KUMAR *et al.*, 2021a).

Quanto às propriedades estruturais, as proteínas de sementes de algodão demonstraram boas características de formar espuma com estabilidade, o que as torna um excelente ingrediente para aplicação em sorvetes, mousses e marshmallows. Além disso, essas proteínas também possuem ótimas propriedades de emulsificação – maiores que o das proteínas do amendoim, por exemplo – o que possibilitou que fossem utilizadas para a produção de produtos de confeitaria, salsichas e outros produtos emulsificadores (MA *et al.*, 2018).

2.2.4 Aproveitamento de resíduos da produção de oleaginosas

Alimentação Animal

Devido a seu alto conteúdo de proteínas, tortas de sementes de girassol e algodão são, geralmente, utilizadas como alimentação animal. A utilização pode ser limitada pela produção sazonal das sementes, pela presença de componentes tóxicos, e pela variabilidade na composição. Diferentes tipos de tortas podem ser utilizadas na alimentação de animais onívoros e ruminantes (ANCUȚA; SONIA, 2020).

Tortas de sementes de algodão com baixo conteúdo de gossipol podem ser usadas nas indústrias de aves e aquicultura. Esses animais podem efetivamente (converter a torta em proteína animal comestível. DELGADO *et al.*, (2021) estudaram as propriedades funcionais de ração para camarões contendo torta de sementes algodão com baixo conteúdo de gossipol, concluindo que servem como possíveis alternativas para reduzir o custo da alimentação desses crustáceos, ao mesmo tempo em que mantém um conteúdo balanceado de aminoácidos, minerais e proteínas. WANG *et al.*, (2019) avaliaram o uso de torta de sementes de algodão sem gossipol como fonte de suplemento para porcos, concluindo que pode ser utilizado nas proporções de 5 e 10%. Portanto, sementes de algodão podem servir como fonte de proteínas para não vegetarianos, principalmente ao considerar que a conversão da torta em proteína animal reduz o risco do consumo direto do gossipol (KUMAR *et al.*, 2021a).

As tortas de sementes de girassol também têm registros de utilização na alimentação animal, principalmente na de aves. SINGH; PRASAD, (1979) estudaram seu uso na alimentação de galinhas em desenvolvimento, apresentando melhorias na taxa de crescimento e eficiência de utilização de energia e proteína quando comparada a outras fontes de alimento. SOUZA *et al.*, (2020) testou a inclusão da torta na alimentação de frangos, concluindo que a sua inclusão na dieta mostrava melhor viabilidade econômica, devido aos custos reduzidos de alimentação.

Extração de Compostos de Interesse

Componentes de alto valor agregado podem ser extraídos de tortas de sementes, como concentrados e isolados proteicos e compostos antioxidantes. Conforme visto anteriormente, as tortas possuem alta quantidade de proteínas, além de componentes antinutricionais, como os ácidos polifenólicos. Os concentrados ou isolados proteicos podem ser obtidos a partir da extração das proteínas das tortas, sendo utilizados como suplementos alimentares ou como aditivos pela indústria de alimentos. Já os polifenóis, que são removidos da torta para sua utilização na alimentação humana, podem ser utilizados pela indústria farmacêutica como antioxidantes. Esses compostos também podem ser utilizados como aditivos na preparação de alimentos, como bebidas e barras de cereal. É importante ressaltar que componentes fenólicos como o gossipol, que são tóxicos, não podem ser usados para esse propósito (ANCUÇA; SONIA, 2020).

Substratos para a Produção de Ingredientes Funcionais

Resíduos da produção de óleo podem ser utilizados, ainda, como substrato para a produção de enzimas, antibióticos, biopesticidas, biofertilizantes e cogumelos, devido ao seu baixo custo, grande disponibilidade, e composição de nutrientes que requer pouca ou nenhuma suplementação. As tortas servem como uma boa fonte de substrato, pois são materiais baratos e ricos em nutrientes, carbono e nitrogênio. (RAMACHANDRAN *et al.*, 2007).

FEDERICI *et al.*, (1988), por exemplo, reportou a produção de enzima pectinolítica favorecida pelo aumento da concentração de torta de sementes de girassol no meio. SHASHIREKHA; RAJARATHNAM; BANO, (2002) estudaram a melhoria do rendimento na produção de cogumelos com suplementos de tortas de oleaginosas, tendo a torta de sementes de algodão representado o melhor rendimento dentre as investigadas. PRASAD KOTA; SRIDHAR, (1999) reportaram a produção de cefamicina em meio contendo ambas as tortas de sementes de girassol e de algodão.

3 Pesquisa de mercado

Para entender o panorama de utilização das tortas da produção de óleo no Brasil, foi feita uma pesquisa de mercado. Inicialmente, foi feito um levantamento dos

principais produtores de óleo de girassol e algodão. A Tabela 5 mostra as unidades de processamento desses óleos no Brasil, de acordo com o levantamento completo feito pela ABIOVE (Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais).

Tabela 5 - Unidades de processamento de óleos de algodão e girassol no Brasil

(continua)

Empresa	Município	UF	Situação da planta (2019)	Processo de Extração	Algodão	Girassol
ADM	Campo Novo do Parecis	MT	Ativa	Solvente		x
APSA	Rancharia	SP	Parada	Solvente	x	
Bunge	Rondonópolis	MT	Ativa	Prensa	x	
Caramuru	Itumbiara	GO	Ativa	Solvente		x
Cocamar	Maringá	PR	Ativa	Solvente/ Prensa	x	x
Giovelli	Guarani das Missões	RS	Ativa	Solvente		X
Louis Dreyfus Commodities	Itumbiara	GO	Ativa	Solvente	x	
Louis Dreyfus Commodities	Paraguaçu Paulista	SP	Ativa	Solvente	x	
M. Dias Branco	Fortaleza	CE	Ativa	Solvente	x	
Matarazzo	Rancharia	SP	Parada	Prensa	x	x

Tabela 5 - Unidades de processamento de óleos de algodão e girassol no Brasil

(conclusão)

Empresa	Município	UF	Situação da planta (2019)	Processo de Extração	Algodão	Girassol
Óleos Menu	Guararapes	SP	Ativa	Solvente	x	
Oleoveg	Cornélio Procópio	PR	Ativa	Solvente		x
Warpol	Giruá	RS	Ativa			x

Fonte: (ABIOVE - SITE, Dez/2018)

Após esse levantamento, foi elaborado um questionário, com o objetivo de entender as características e o destino das tortas geradas no processo produtivo. O questionário, apresentado na Tabela 6, foi enviado para as empresas listadas na Tabela 5.

Tabela 6 - Questionário enviado aos produtores de óleo de girassol e algodão brasileiros.

(continua)

Pergunta	
1	A produção do óleo é feita a partir de sementes inteiras, parcialmente descascadas ou totalmente descascadas?
2	Qual é a quantidade de óleo produzido e de torta gerada mensalmente?
3	Qual é o destino das tortas geradas (Venda/Descarte/Processamento Interno)?
	Se as tortas são vendidas,
3.1	1. Para quais empresas? 2. Com qual finalidade (ração animal, etc.)?
	Qual o preço de venda?
	Se descartadas como resíduo,
3.2	1. Isso acarreta algum custo? 2. Quem faz a coleta?

Tabela 6 - Questionário enviado aos produtores de óleo de girassol e algodão brasileiros.

(conclusão)	
Pergunta	
3.3	<p>Se as tortas passam por outros processos dentro da própria empresa produtora de óleo,</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Quais são os processos? 2. Qual sua finalidade? 3. Qual é o preço de venda?
4	É feita alguma análise de composição nas tortas? Qual é a composição?
5	<p>Já foi feito algum estudo pensando no processamento das tortas para que sejam vendidas como produtos de maior valor agregado (concentrados proteicos, produtos para alimentação humana, etc.)?</p> <p>Se não, existe interesse futuro nesses estudos?</p>
6	A empresa já foi abordada por algum terceiro com interesse na compra das tortas para uso em produtos de maior valor agregado (concentrados proteicos, produtos para alimentação humana, etc.)?

Fonte: autoria própria.

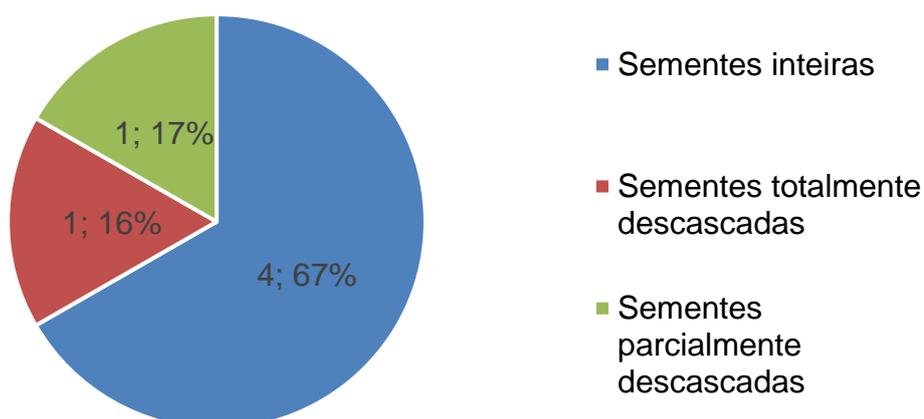
Das empresas citadas na Tabela 5, foi feito o contato com aquelas das quais a planta estava ativa, totalizando 11 empresas. A partir deste contato, descobriu-se que a planta da ADM havia fechado em novembro de 2019. Ademais, em contato com um engenheiro da M. Dias Branco, descobriu-se que a empresa não faz a extração do óleo, somente a compra do óleo bruto de fornecedores estrangeiros, e seu posterior refino e envase. Portanto, restaram nove empresas ativas para responder ao questionário, sendo que destas, seis participaram da pesquisa. Com as restantes, foi feito o contato, porém não houve resposta. A seguir, são apresentados os principais resultados da pesquisa realizada com as empresas produtoras de óleo.

A **Pergunta 1** teve o intuito de entender a forma com a qual as sementes são tratadas na extração do óleo. Conforme analisado na revisão bibliográfica, a torta obtida a partir da semente com casca terá uma maior quantidade de fibra e um menor

teor proteico, quando comparada com a torta obtida de sementes descascadas, o que resulta em um produto com menor valor agregado. Na Figura 3, percebemos que a maioria dos respondentes fazem a extração do óleo a partir das sementes inteiras. O único produtor que relatou fazer a extração com sementes totalmente descascadas foi um produtor de óleo de algodão.

Figura 4 - Resposta à pergunta 1 do questionário (número de respostas; porcentagem correspondente).

Pergunta 1: a produção do óleo é feita a partir de sementes inteiras, parcialmente descascadas ou totalmente descascadas??



Fonte: autoria própria

A **Pergunta 2** abordou a quantidade de óleo produzida e de torta gerada, tendo como objetivo obter uma estimativa da quantidade de resíduo gerada no país, que poderia ser potencialmente convertida em produtos para a alimentação humana. Algumas das empresas questionadas não responderam essa pergunta, ou por falta de conhecimento, ou por confidencialidade. Uma delas afirmou que a capacidade máxima mensal é de 600 t, mas que a quantidade efetivamente gerada pode variar conforme o rendimento da safra, preços da semente, demanda, entre outros fatores. Outras duas empresas responderam de forma mais específica: uma gera 2.100 t enquanto outra gera 5.800 t por mês. É importante salientar que esses valores se referem a todas as tortas geradas, portanto incluem também outras tortas, como as de soja e amendoim. De qualquer forma, percebe-se que as quantidades de resíduo geradas são grandes. Assim, em um cenário em que todas as empresas produtoras de óleo no país realizassem a conversão desse resíduo em produtos proteicos para a alimentação humana, teríamos uma alta quantidade de um bom substituto para as

proteínas animais. Conforme abordado na Revisão Bibliográfica, essa substituição é de interesse ambiental e econômico para o país.

Na **Pergunta 3** foi questionado o destino das tortas geradas e, conforme já suposto na Revisão Bibliográfica, todas as empresas consultadas relataram que, atualmente, o destino das tortas é a venda externa para uso como ração animal. O preço de venda das tortas reportado variou de R\$1,40 até R\$2,17 por kg. Esse valor é baixo quando comparado a isolados e concentrados proteicos vendidos no mercado, como isolados proteicos de soja, cujo valor gira em torno de R\$70,00 por kg. Portanto, ao optar pelo processamento das tortas em produtos de alta concentração proteica, as empresas podem adquirir uma nova fonte de receita.

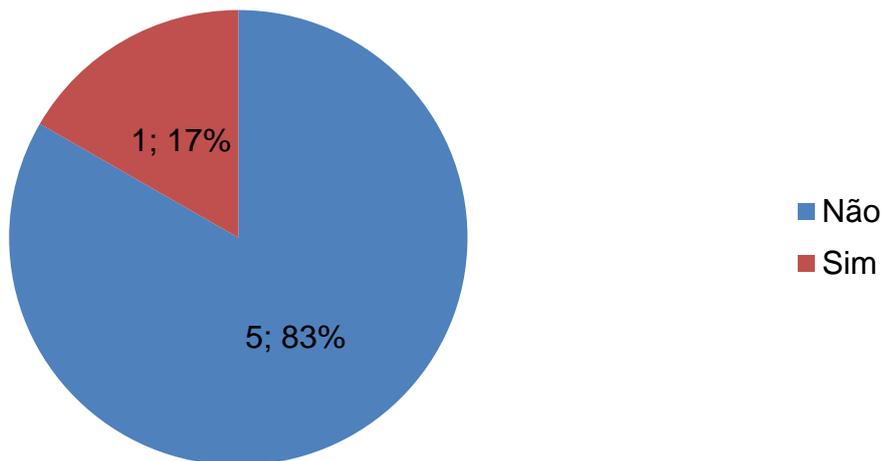
A **Pergunta 4** procurou entender se as empresas consultadas realizam um controle de qualidade das tortas produzidas, e, caso o façam, qual é a composição média das tortas. Todas as empresas consultadas reportaram fazer análises de composição. A composição proteica das tortas de girassol e de algodão variaram de 35 a 38,5% de proteína, enquanto, a torta de soja atinge níveis próximos a 45%. Percebe-se que a torta de soja, que é amplamente utilizada em produtos alimentícios, não possui um percentual significativamente superior às tortas de algodão e girassol. Conforme identificado na Revisão Bibliográfica, o fator limitante para o uso das tortas de girassol e de algodão nas dietas humanas são os componentes antinutricionais e tóxicos, e não a sua composição de macronutrientes. Isso se confirma na prática, ao notar que, mesmo com composições proteicas próximas, a torta de soja é comumente utilizada nas dietas humanas, ao contrário das demais.

As **Pergunta 5 e Pergunta 6** tinham como objetivo entender a maturidade dos estudos – tanto por parte das empresas consultadas, como de possíveis terceiros interessados – com o objetivo de transformar as tortas em produtos alimentícios. Nas Figuras 4 e 5, percebemos que a maior parte das empresas relata não ter realizado estudos internos pensando no processamento das tortas de algodão e girassol. Ademais, apenas uma empresa relatou o interesse de outras empresas nesses resíduos com o intuito de transformá-los em concentrados ou isolados proteicos. Isso mostra que um possível motivo para o não uso das tortas nas dietas humanas é a falta de conhecimento quanto aos processos envolvidos.

Uma das empresas consultadas relatou ter trabalhado com a venda de farinha branca de soja para uma indústria de produtos alimentícios. Hoje, a empresa não faz mais essa venda, pois o processo produtivo de obtenção desta farinha branca é de três a quatro vezes mais caro quando comparado ao processo utilizado atualmente. Isso é um indício de que, além da falta de conhecimento, o custo é outro impeditivo para a popularização dos produtos alimentícios obtidos a partir das tortas. Por fim, uma das respondentes disse que não há planos para produtos alimentícios a partir das tortas de algodão, mas que estão desenvolvendo uma patente para produtos feitos a partir das tortas de girassol, e devido a confidencialidade, não podem revelar maiores informações.

Figura 5 - Resposta à pergunta 5 do questionário (número de respostas; porcentagem correspondente).

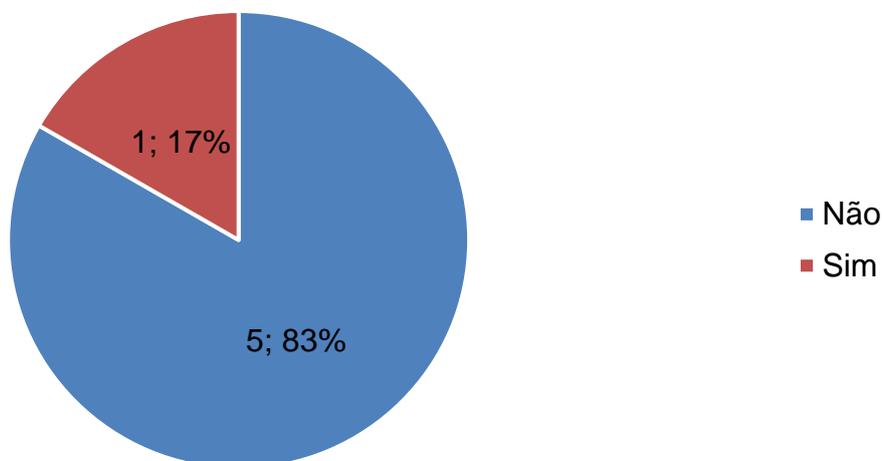
Pergunta 5: já foi feito algum estudo pensando no processamento das tortas para que sejam vendidas como produtos de maior valor agregado (concentrados protéicos, produtos para alimentação humana, etc)?



Fonte: autoria própria.

Figura 6 - Resposta à pergunta 6 do questionário (número de respostas; porcentagem correspondente)

Pergunta 6: a empresa já foi abordada por algum terceiro com interesse na compra das tortas para uso em produtos de maior valor agregado (concentrados protéicos, produtos para alimentação humana, etc)?

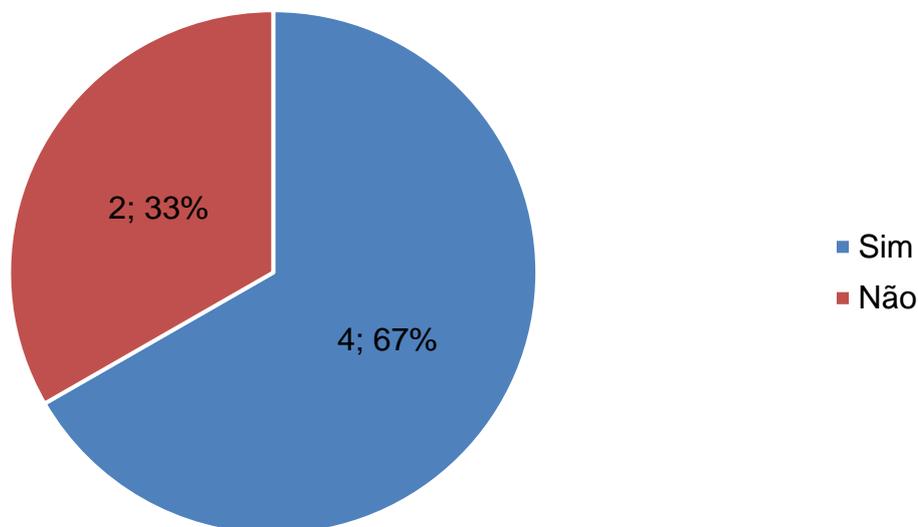


Fonte: autoria própria.

Por fim, na **Pergunta 5.1** foi questionado se as empresas consultadas possuíam interesse futuro em estudos para aumentar o valor agregado das tortas. Conforme verificado na Figura 6, 67% das empresas contatadas afirmaram que possuem interesse. Assim, apesar de ainda não ser uma realidade dentro das unidades de produção de óleo brasileiras, a transformação das tortas em produtos para inclusão nas dietas humanas pode vir a ser uma realidade no futuro, visto que há empresas interessadas neste processo.

Figura 7 – Resposta à pergunta 5.1 do questionário (número de respostas; porcentagem correspondente).

Pergunta 5.1: se não foi feito, existe interesse futuro nesses estudos?



Fonte: autoria própria.

4 Conclusão

A revisão da literatura mostra que as tortas resultantes da extração de óleo das sementes de girassol e de algodão tem uma composição interessante para a utilização na dieta humana como análogos a alimentos fonte de proteínas animais, como carnes e leite, principalmente devido a sua alta concentração de proteínas. Entretanto, a presença de compostos antinutricionais e tóxicos, como os compostos fenólicos, são a principal barreira para que esses resíduos sejam efetivamente utilizados na alimentação humana. A presença desses compostos faz com que o destino das tortas seja, majoritariamente, a utilização como ração animal.

Dentre os principais métodos para realizar a extração das proteínas, destacam-se as metodologias aquosas, em que a água é utilizada como meio de extração, combinada com algum solvente. Essa extração, quando realizada em meio alcalino, resulta em um alto rendimento proteico, entretanto, causa a oxidação dos componentes fenólicos, proporcionando uma coloração escura às tortas, além de reduzir a bioacessibilidade de alguns aminoácidos. A extração em meio ácido não tem esses empecilhos, porém é menos eficiente. No entanto, sua eficiência pode ser

beneficiada pela adição de alta concentração de sal. As metodologias secas, como o peneiramento e a classificação aérea, são mais energeticamente eficientes, além de manterem a funcionalidade proteica das tortas. Porém, quando comparadas com as aquosas, levam a baixas concentrações proteicas.

Trabalhos publicados nos últimos anos mostram que existem processos para obtenção de produtos que podem ser efetivamente incluídos nas dietas humanas. Para a torta de girassol, uma das diversas abordagens possíveis consiste na extração em meio levemente ácido e alta concentração de sal, que se mostra eficiente na produção de proteínas de cor clara, e permite a remoção dos compostos fenólicos por adsorção, além de já ter sido efetivamente testado em planta piloto. Para o algodão, a utilização de métodos químicos, como a extração com solventes como acetona ou etanol, aliada aos métodos biológicos, se mostram como poderosas alternativas para a obtenção de um produto com baixa concentração do gossipol.

Ao entrevistar responsáveis das empresas, confirma-se que essas tortas ainda são utilizadas unicamente na alimentação animal. Dentre os motivos apontados, a falta de estudos e o custo do processo se destacam como as principais barreiras. A maioria das empresas consultadas responderam que nunca foi feito um estudo pensando em agregar valor a esse resíduo transformando-o em isolados ou concentrados proteicos. Porém, uma delas reportou estar em processo de desenvolvimento de uma patente para um produto alimentício a partir da torta de girassol. Além disso, a maioria respondeu que haveria interesse nesses estudos, o que mostra que há uma janela para evolução da pesquisa com os produtores brasileiros.

Nesse contexto, será necessário cuidado com dois principais pontos de estudo: a escolha do processo correto e o custo-benefício. Quanto aos processos, existem vários, dos quais resultam em produtos finais com diferentes propriedades estruturais e diferentes composições, cada um ideal para um tipo de utilização específica. Além disso, dentro de cada processo de extração, existe a necessidade de estudar a fundo os parâmetros ideais, como temperatura e pH. Já quanto ao custo-benefício, é essencial que sejam feitas análises para definir se, do ponto de vista financeiro, a implementação desses processos para o aproveitamento das tortas será vantajosa. O

custo adicional no processo e o custo de investimento deve ser compensado pelo aumento no valor da matéria-prima vendida.

5 Referências Bibliográficas

ABIOVE - SITE. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://abiove.org.br/estatisticas/>. Acesso em: 30 set. 2021.

ALGODÃO NO BRASIL. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-brasil.aspx>. Acesso em: 26 ago. 2021.

ANCUȚA, Petraru; SONIA, Amariei. Oil Press-Cakes and Meals Valorization through Circular Economy Approaches: A Review. **Applied Sciences** 2020, Vol. 10, Page 7432, [s. l.], v. 10, n. 21, p. 7432, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/APP10217432>. Acesso em: 24 ago. 2021.

BAHRAINI, Zohreh *et al.* Effect of radiation on chemical composition and protein quality of cottonseed meal. **Animal Science Journal**, [s. l.], v. 88, n. 9, p. 1425–1435, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ASJ.12784>. Acesso em: 1 set. 2021.

BALANDRÁN-QUINTANA, René Renato *et al.* Plant-Based Proteins. **Proteins: Sustainable Source, Processing and Applications**, [s. l.], p. 97–130, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816695-6.00004-0>

CASTRO, Cesar; LEITE, Regina Maria Villas Bôas Campos. Main aspects of sunflower production in Brazil. **OCL**, [s. l.], v. 25, n. 1, p. D104, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1051/OCL/2017056>. Acesso em: 18 ago. 2021.

CHENG, H. N. *et al.* A Review of Cottonseed Protein Chemistry and Non-Food Applications. **Sustainable Chemistry**, [s. l.], v. 1, n. 3, p. 256–274, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/SUSCHEM1030017>

DADOS ECONÔMICOS - PORTAL EMBRAPA. [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/porta/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 8 set. 2021.

DECOSSAS, K M *et al.* Edible Cottonseed Flour by Air Classification of Glanded Seed: Cost Analysis 1. [s. l.], 1982.

DELGADO, Efren *et al.* Evaluation of fish oil content and cottonseed meal with ultralow gossypol content on the functional properties of an extruded shrimp feed.

Aquaculture Reports, [s. l.], v. 19, p. 100588, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2021.100588>

GARDNER, HK; SR, HRON RJ; HLE, VIX. REMOVAL OF PIGMENT GLANDS (GOSSYPOL) FROM COTTONSEED. **REMOVAL OF PIGMENT GLANDS (GOSSYPOL) FROM COTTONSEED.**, [s. l.], 1976.

KUMAR, Manoj *et al.* Cottonseed: A sustainable contributor to global protein requirements. **Trends in Food Science & Technology**, [s. l.], v. 111, p. 100–113, 2021a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2021.02.058>

KUMAR, Manoj *et al.* Extraction of ultra-low gossypol protein from cottonseed: Characterization based on antioxidant activity, structural morphology and functional group analysis. **LWT**, [s. l.], v. 140, p. 110692, 2021b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2020.110692>

MA, Mengting *et al.* Physicochemical and functional properties of protein isolate obtained from cottonseed meal. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 240, p. 856–862, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.08.030>

NÁTHIA-NEVES, Grazielle; ALONSO, Esther. Valorization of sunflower by-product using microwave-assisted extraction to obtain a rich protein flour: Recovery of chlorogenic acid, phenolic content and antioxidant capacity. **Food and Bioproducts Processing**, [s. l.], v. 125, p. 57–67, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2020.10.008>

ORLIAC, Olivier *et al.* Effects of various plasticizers on the mechanical properties, water resistance and aging of thermo-moulded films made from sunflower proteins. **Industrial Crops and Products**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 91–100, 2003. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(03\)00015-3](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(03)00015-3)

PELITIRE, Scott M.; DOWD, Michael K.; CHENG, H. N. Acidic solvent extraction of gossypol from cottonseed meal. **Animal Feed Science and Technology**, [s. l.], v. 195, p. 120–128, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2014.06.005>

PRASAD KOTA, Krishna; SRIDHAR, Padma. Solid state cultivation of *Streptomyces clavuligerus* for cephamycin C production. **Process Biochemistry**, [s. l.], v. 34, n. 4, p. 325–328, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(98\)00078-8](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(98)00078-8)

RAMACHANDRAN, Sumitra *et al.* Oil cakes and their biotechnological applications – A review. **Bioresource Technology**, [s. l.], v. 98, n. 10, p. 2000–2009, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2006.08.002>

RATHORE, Keerti S. *et al.* Ultra-Low Gossypol Cottonseed: Selective Gene Silencing Opens Up a Vast Resource of Plant-Based Protein to Improve Human Nutrition. <https://doi.org/10.1080/07352689.2020.1724433>, [s. l.], v. 39, n. 1, p. 1–29, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/07352689.2020.1724433>. Acesso em: 30 ago. 2021.

SALGADO, Pablo R. *et al.* Exploration of the antioxidant and antimicrobial capacity of two sunflower protein concentrate films with naturally present phenolic compounds. **Food Hydrocolloids**, [s. l.], v. 29, n. 2, p. 374–381, 2012a. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2012.03.006>

SALGADO, Pablo R. *et al.* Production and characterization of sunflower (*Helianthus annuus* L.) protein-enriched products obtained at pilot plant scale. **LWT - Food Science and Technology**, [s. l.], v. 45, n. 1, p. 65–72, 2012b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2011.07.021>

SHASHIREKHA, M. N.; RAJARATHNAM, S.; BANO, Zakia. Enhancement of bioconversion efficiency and chemistry of the mushroom, *Pleurotus sajor-caju* (Berk and Br.) Sacc. produced on spent rice straw substrate, supplemented with oil seed cakes. **Food Chemistry**, [s. l.], v. 76, n. 1, p. 27–31, 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00244-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00244-8)

SINGH, K. S.; PRASAD, C. M. Feeding value of sunflower and groundnut cakes for broilers. **Animal Feed Science and Technology**, [s. l.], v. 4, n. 2, p. 143–159, 1979. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(79\)90039-7](https://doi.org/10.1016/0377-8401(79)90039-7)

SODINI, Giancarlo; CANELLA, Marco. Acidic butanol removal of color-forming phenols from sunflower meal. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [s. l.], v. 25, n. 4, p. 822–825, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/JF60212A046>. Acesso em: 14 set. 2021.

SOUZA, D. H. *et al.* Sunflower cake in brown-egg laying pullet diets: Effects on the growing phase and on the beginning of production cycle. **Animal Feed Science and Technology**, [s. l.], v. 269, p. 114663, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2020.114663>

WANG, Q. Y. *et al.* Energy and nutrient digestibility of degossypolized cottonseed protein and its utilization as a protein source in nursery pigs. **Livestock Science**, [s. l.], v. 223, p. 53–59, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.LIVSCI.2019.03.005>

ZARDO, Ivanor *et al.* Optimization of Ultrasound Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Sunflower Seed Cake Using Response Surface Methodology.

Waste and Biomass Valorization 2017 10:1, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 33–44, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S12649-017-0038-3>. Acesso em: 13 set. 2021.

ZHANG, Wen Ju *et al.* Development of a microbial fermentation process for detoxification of gossypol in cottonseed meal. **Animal Feed Science and Technology**, [s. l.], v. 135, n. 1–2, p. 176–186, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2006.06.003>

ZHANG, Yunhua *et al.* Isolation and characterization of a novel gossypol-degrading bacteria *Bacillus subtilis* strain Rumen *Bacillus Subtilis*. **Asian-Australasian Journal of Animal Sciences**, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 63, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5713/AJAS.17.0018>. Acesso em: 2 set. 2021.