

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA

AMANDA VILAÇA FONTES

PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA SOJA NO BRASIL

UBERLÂNDIA - MG
2019

AMANDA VILAÇA FONTES

PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA SOJA NO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Química.

Professor Orientador: Eloízio Júlio Ribeiro

UBERLÂNDIA - MG

2019

AMANDA VILAÇA FONTES

PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA SOJA NO BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de Uberlândia

18 de dezembro de 2019

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eloízio Júlio Ribeiro (Orientador)
Universidade Federal de Uberlândia

Prof^ª. Dr^ª. Larissa Nayhara Soares Santana Falleiros
Universidade Federal de Uberlândia

Doutoranda Carla Cristina de Sousa
Universidade Federal de Uberlândia

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo apoio, incentivo e carinho que sempre tiveram comigo.

Ao Prof. Dr. Eloízio Júlio Ribeiro pela atenção e orientação.

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta, colaboraram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho relata as questões correlacionadas ao grão de soja no Brasil, com enfoque à sua industrialização, da qual se obtém como produtos principais o farelo de soja, óleo de soja bruto e óleo de soja refinado. Geralmente, os dois primeiros destinam-se à produção de ração animal e o último à alimentação humana. A soja é considerada um dos principais produtos brasileiros devido às suas diversas formas de utilização e sua significativa participação no mercado internacional de grãos. Existe no país várias unidades industriais destinadas ao seu processamento, no entanto, trabalhos bibliográficos a respeito deste tema carecem de atualização. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica do processamento da soja no Brasil, detalhando todas as etapas industriais, desde o recebimento e armazenamento do grão, passando pela extração e purificação do óleo, abrangendo a obtenção dos demais produtos e subprodutos.

Palavras Chave: soja; industrialização; farelo de soja; óleo de soja bruto; óleo de soja refinado; processamento.

ABSTRACT

Soybean is considered one of the main Brazilian products due to its various uses and its significant participation in the international grain market. There are several industries in Brazil for processing soybeans, which are obtained as soybean meal, crude soybean oil and refined soybean oil. These products are generally intended for human consumption and animal feed. Despite the importance of soy industrialization, there are few bibliographical researches on this topic. Thus, the objective of this work is to perform a bibliographic review of soybean processing in Brazil, detailing all industrial steps, from the receipt and storage of grain, through the extraction and purification of oil, including obtaining the other products and by-products.

Key words: soybean; industrialization; soybean meal; crude soybean oil; refined soybean oil; processing.

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução	13
1.1. Objetivo deste trabalho.....	20
1.2. Estrutura deste trabalho.....	20
Capítulo 2 – Caracterização da soja e seus derivados	21
2.1. Grão de soja.....	21
2.2. Farelo de soja.....	23
2.3. Óleo de soja bruto.....	24
2.4. Óleo de soja refinado.....	25
Capítulo 3 – Processamento Industrial da Soja	30
3.1. Recebimento.....	30
3.2. Armazenamento.....	31
3.3. Preparação dos grãos para extração.....	32
3.3.1. Limpeza.....	33
3.3.2. Secagem.....	33
3.3.3. Quebra dos grãos.....	33
3.3.4. <i>Dehulling</i>	34
3.3.5. Condicionamento.....	34
3.3.6. Laminação.....	34
3.3.7. Expansão.....	35
3.4. Extração.....	36
3.4.1. Extração por solvente.....	36
3.5. Destilação da miscela.....	41
3.5.1. Evaporação do hexano.....	42
3.5.2. <i>Stripping</i> do hexano.....	43
3.6. Dessolventização e tostagem do farelo.....	45
3.7. Refinação do óleo.....	47
3.7.1. Degomagem.....	49
3.7.2. Neutralização.....	50
3.7.3. Branqueamento ou Clarificação.....	51
3.7.4. Desodorização.....	52

Capítulo 4 – Subprodutos obtidos do processamento da soja.....	56
4.1. Casca de soja.....	56
4.2. Lecitina de soja.....	57
4.3. Borra de soja.....	57
4.4. Destilado de soja.....	58
Capítulo 5 – Considerações gerais.....	59
Referências bibliográficas.....	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	– Evolução anual do volume produzido (toneladas).....	16
Figura 1.2	– Evolução anual da área plantada (hectares) e da produtividade (toneladas/hectares).....	16
Figura 1.3	– Capacidade de produção de soja dos principais Estados em 2018/19.....	18
Figura 1.4	– Capacidade instalada de esmagamento de soja dos principais Estados em 2018.....	18
Figura 1.5	– Capacidade instalada de refino de soja dos principais Estados em 2018.....	19
Figura 2.1	– Grãos de soja.....	21
Figura 2.2	– Triglicerídeo que representa o óleo de soja.....	25
Figura 3.1	– Esquema geral das operações de preparação da soja para extração.....	32
Figura 3.2	– Mecanismo de extração do óleo por solvente.....	38
Figura 3.3	– Extrator de Smet.....	40
Figura 3.4	– Sistema de destilação da miscela.....	41
Figura 3.5	– Esquema do evaporador vertical de tubos verticais longos.....	42
Figura 3.6	– Esquema do stripper.....	43
Figura 3.7	– Detalhes do Dessolventizador-Tostador.....	45
Figura 3.8	– Esquema geral da operação de dessolventização/tostagem.....	46

Figura 3.9	– Esquema geral da operação de refino.....	48
Figura 3.10	– Desodorizador Semicontínuo - Tipo Girdler.....	54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1	– Produção e área colhida de soja dos principais países na temporada de 2018/19.....	17
Tabela 1.2	– Dados do complexo soja em 2018.....	19
Tabela 2.1	– Composição média da soja em grão.....	22
Tabela 2.2	– Valores padrões de farelo de soja tostado exigidos pela RDC n° 795 de 15 de dezembro de 1993.....	24
Tabela 2.3	– Características de qualidade do óleo de soja refinado.....	27
Tabela 2.4	– Características de identidade do óleo de soja refinado.....	28
Tabela 3.1	– Ponto de fulgor <i>versus</i> hexano residual.....	45

LISTA DE SIGLAS

ABIOVE	–	Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais
a.C.	–	Antes de Cristo
AGL	–	Ácidos Graxos Livres
Bé	–	Baumé
BHA	–	Butilhidroxianisol
BHT	–	Butil-hidroxitolueno
CIB	–	Conselho de Informações sobre Biotecnologia
CONAB	–	Companhia Nacional de Abastecimento
DT	–	Dessolventizador-Tostador
EMBRAPA	–	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GM	–	Geneticamente Modificado
HP	–	Fosfolípidos Hidratáveis
MAPA	–	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
NaOH	–	Hidróxido de sódio
NHP	–	Fosfolípidos Não Hidratáveis
PET	–	Polietileno Tereftalato
TBHQ	–	Terc-butil-hidroquinona
USDA	–	United States Department of Agriculture

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A soja é considerada como uma das principais *commodities* brasileiras destacando-se no cenário nacional e mundial pelo seu alto teor de proteínas (SANTOS, 2015). Existem no Brasil vários complexos industriais destinados ao seu processamento, uma vez que este grão oferece diversas formas de utilização em diferentes segmentos. Dentre estes, pode-se citar: na produção de ração animal, na alimentação humana e na fabricação de biocombustíveis (LOPES, 2008).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), as primeiras citações existentes em referência à soja estão datadas no período entre 2883 e 2838 a.C. na China. Até o ano de 1894, a produção deste grão ficou restrita a este país. Ao final do século XV, a soja foi introduzida no ocidente, em específico na Inglaterra, França e Alemanha, porém somente como curiosidade botânica. A partir da segunda década do século XX, países como Rússia, Inglaterra e Alemanha, interessados pelo alto valor proteico da soja, tentaram estabelecer o cultivo deste grão em suas regiões. Contudo, não obtiveram sucesso, em virtude das condições climáticas desfavoráveis destes países (EMBRAPA, 2014a).

A soja chegou ao Brasil em 1882 na Bahia, porém seu plantio não foi difundido com êxito. Nas décadas seguintes, a oleaginosa somente foi estudada em algumas instituições oficiais e cultivada em pequenas áreas (MIYASAKA; MEDINA, 1981). A evolução da cultura de soja no Brasil se tornou consistente apenas a partir da década de 1960. O seu desenvolvimento pode ser melhor analisado quando dividido em cinco subperíodos:

- Primeiro período: de 1960 a 1964;
- Segundo período: de 1965 a 1972;
- Terceiro período: de 1973 a 1977;
- Quarto período: de 1978 a 1979;
- Quinto período: de 1980 a 1989.

O primeiro período corresponde à introdução da cultura de soja em escala

comercial no Brasil. No entanto, sua importância econômica era inferior quando comparada com as culturas de cana-de-açúcar, algodão, milho, arroz, café, laranja e feijão (CUSTÓDIO, 2003). Embora, durante esta época, obteve-se um aumento na área plantada, o índice de elevação de produtividade apresentou-se baixo (DE PAULA, 2001).

A partir do segundo período, a soja mostrou-se como uma alternativa de cultura de verão, em sucessão ao do trigo, principal cultivo de grão do sul do Brasil. Conjuntamente, aumentou-se a demanda por farelo de soja devido à crescente produção de suínos e aves (EMBRAPA, 2014a). Estes dois fatores internos propiciaram uma expansão considerável da área plantada de soja, aproximadamente oito vezes em relação ao período anterior (DE PAULA, 2001). Em 1966, a produção de soja no país atingiu cerca de 500 mil toneladas (EMBRAPA, 2014a). Portanto, este período foi responsável pela consolidação definitiva da oleaginosa no Brasil, alterando sua importância no cenário nacional e internacional (CUSTÓDIO, 2003).

O terceiro período caracterizou-se pelo grande crescimento deste setor, uma vez que a produção de soja atingiu em torno de 12 milhões de toneladas (DE PAULA, 2001). Este progresso está associado com o aumento expressivo do preço da soja no mercado mundial, que despertou o interesse dos agricultores e do governo brasileiro. Com o intuito de apoiar a expansão da soja, ações agrícolas foram desenvolvidas, tais como: crédito rural, estoques reguladores, política tecnológica e política de preços mínimos (CAMPOS, 2010).

Ademais, durante este ciclo, pesquisadores da EMBRAPA passaram a investir em tecnologia, em especial, com melhoramento genético da soja. Assim, foi possível adaptar a cultura às condições climáticas do Brasil, possibilitando o cultivo do grão com sucesso em regiões de diferentes latitudes, clima e solo (EMBRAPA, 2014a). Pode-se dizer que este período está associado com o aumento da área plantada e com o incremento da produtividade. Dentre os Estados brasileiros, o Paraná apresentou maior desenvolvimento desta cultura (DE PAULA, 2001).

O quarto período foi marcado pelo regresso do cenário anterior, visto que houve uma queda do nível de produção, assim como uma redução do volume de crédito para compras de máquinas e insumos destinados a este setor (DE PAULA, 2001). Até este

período, o cultivo de grão concentrava-se apenas na região Centro-Sul do país (CUSTODIO, 2003).

No quinto e último período verificou-se um crescimento da produtividade. Isto sucedeu-se em decorrência do aumento da produção, a qual atingiu cerca de 24 milhões de toneladas em 1989. Em contrapartida, a expansão da área plantada apresentou uma taxa inexpressiva (DE PAULA, 2001). A participação da região Centro-Oeste na produção de soja aumentou significativamente durante o quinto período (CUSTODIO, 2003), principalmente o Mato Grosso, que obteve uma expressiva expansão de área. Isto despertou o potencial de outras regiões do país, como os Estados de Goiás, Minas Gerais e Bahia (DE PAULA, 2001).

Ainda nesta década, os processos de melhoramento genético ganharam o suporte da biotecnologia, ferramenta a qual possibilita interferências no grão em nível molecular. Dessa forma, foi possível desenvolver cultivares de soja resistentes a pragas, doenças e plantas daninhas (EMBRAPA, 2017).

À vista disso, pode-se dizer que, no decorrer dos cinco subperíodos descritos acima, a expansão da área de soja no Brasil é resultado de dois fatores: da substituição de culturas, como na região Centro-Sul, e da incorporação de novas áreas, como a região do Centro-Oeste (CUSTÓDIO, 2003).

Segundo o Conselho de Informações sobre Biotecnologia (CIB), em 1998, o Brasil autorizou e iniciou o plantio dos grãos de soja geneticamente modificados (GM), revolucionando a agricultura do país. Um grão GM, também denominado transgênico, é aquele que teve seu código genético modificado pela inserção de um gene de um outro organismo, com o propósito de adquirir características específicas que o grão convencional não possui (CIB, 2018a).

Atualmente, o grão de soja transgênico é o mais produzido nacionalmente, representando 92% da área total de plantio da oleaginosa (CIB, 2018b). As características inseridas nas variedades de soja brasileira foram a tolerância a herbicidas, em especial, ao glifosato, assim como a resistência a insetos (CIB, 2018a).

As Figuras 1.1 e 1.2 mostram a evolução da área, da produção e produtividade da soja desde a temporada de 1990 até 2016. Através destas, é possível compreender

acerca do fenômeno da expansão da oleaginosa no país.



Figura 1.1 – Evolução anual do volume produzido (toneladas).

Fonte: EMBRAPA, 2018.

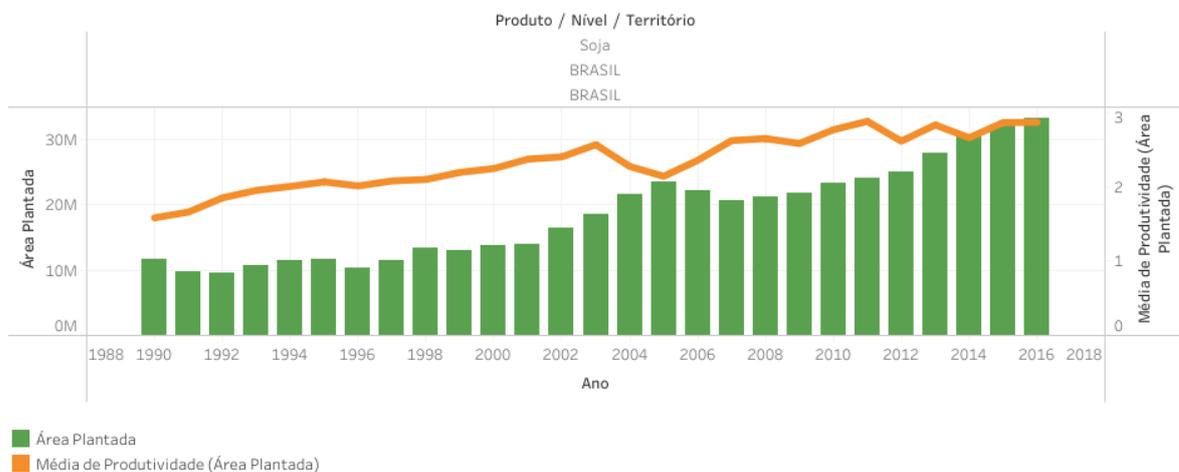


Figura 1.2 – Evolução anual da área plantada (hectares) e da produtividade (toneladas/hectares).

Fonte: EMBRAPA, 2018.

De acordo com as informações fornecidas pela EMBRAPA, observa-se que, em geral, ambos índices apresentados acima exibem um comportamento de crescimento gradativo ao longo dos anos. Em 2005, no entanto, houve uma queda da produtividade ocasionada por problemas de estiagem ou de chuvas em demasia fora do período.

Além disso, é possível constatar que, em quase duas décadas e meia a produção brasileira praticamente se multiplicou por 4,8, saltando de 19,9 milhões de toneladas

em 1990 para 96,3 milhões de toneladas no ano de 2016. Ao mesmo tempo, houve uma forte expansão da área plantada, que saltou de 11,6 milhões de hectares em 1990 para 33,3 milhões hectares em 2016. Esta análise evidencia a extrema força do país no contexto da agricultura mundial.

Os líderes mundiais na produção de soja atualmente são os Estados Unidos, Brasil, Argentina, China, Índia e Paraguai, respectivamente. A Tabela 1.1 apresenta a produção do grão destes países e sua respectiva parcela no mercado global, assim como a área colhida na temporada de 2018/19 (USDA, 2019).

Tabela 1.1 – Produção e área colhida de soja dos principais países na temporada de 2018/19.

Países	Produção (milhões de t)	Parcela no mercado global	Área Colhida (milhões de ha)
EUA	120,515	33,6%	35,448
Brasil	117,000	32,7%	35,900
Argentina	55,300	15,4%	16,600
China	15,900	4,4%	8,400
Índia	10,930	3,05%	11,330
Paraguai	8,850	2,47%	3,700
Mundo	358,209	100%	125,480

Fonte: Adaptado de USDA, 2019.

No decorrer dos anos, o aumento da expansão e da produção de soja no mundo estimulou a introdução de unidades industriais para processamento desta semente. A industrialização de oleaginosas é um dos setores mais importantes do sistema agroindustrial, e geralmente é composto pelo esmagamento e refino da soja. Deste processo, extrai-se basicamente os seguintes produtos: farelo de soja, óleo de soja bruto e óleo de soja refinado (LOPES, 2008).

Atualmente, existem 95 fábricas de processamento de oleaginosas no Brasil (AMARAL, 2019). As Figuras 1.3, 1.4 e 1.5 a seguir apresentam os principais Estados brasileiros detentores da capacidade industrial de produção, de esmagamento e refino de soja, respectivamente.

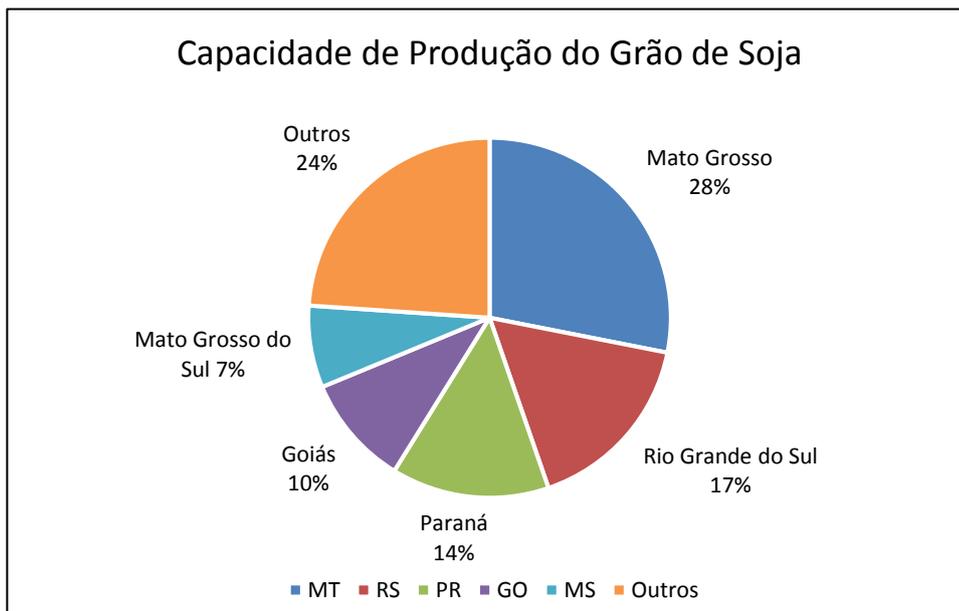


Figura 1.3 – Capacidade de produção de soja dos principais Estados em 2018/19.

Fonte: Adaptado de CONAB, 2019.

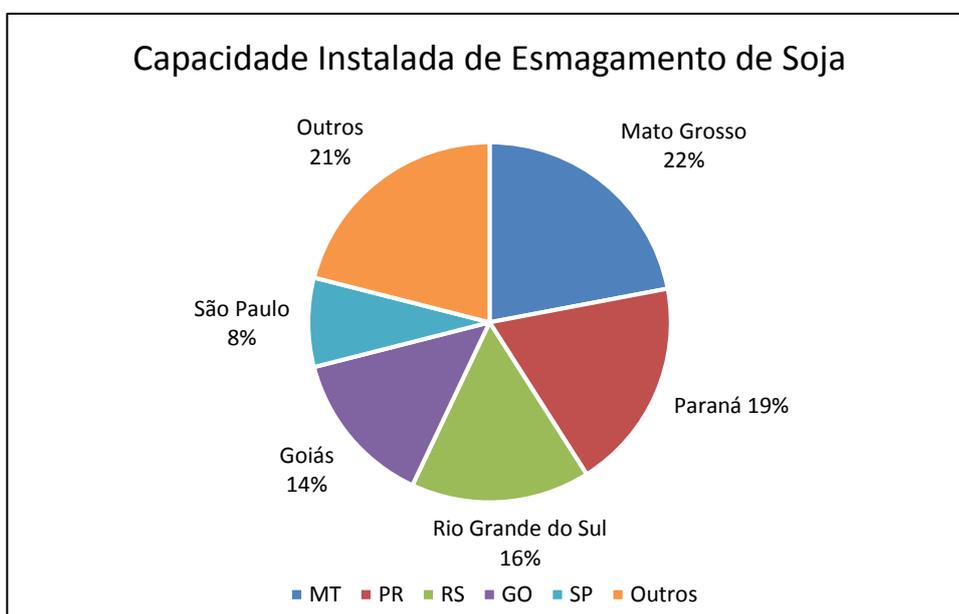


Figura 1.4 – Capacidade instalada de esmagamento de soja dos principais Estados em 2018.

Fonte: Adaptado de ABIOVE, 2018.

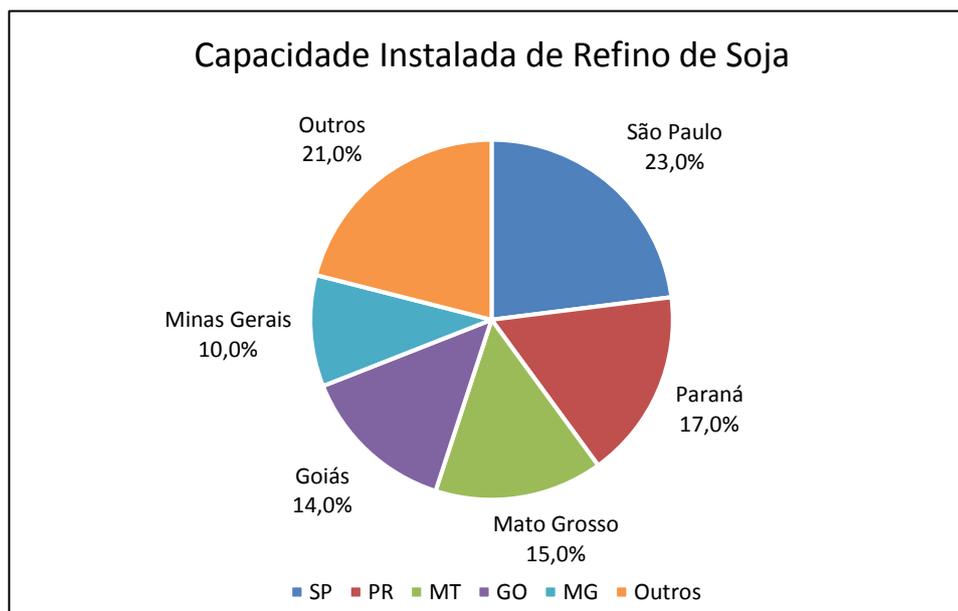


Figura 1.5 – Capacidade instalada de refino de soja dos principais Estados em 2018.

Fonte: Adaptado de ABIOVE, 2018.

Devido à sua alta capacidade de produção e industrialização, o Brasil tem participação significativa no mercado internacional de grãos, farelo e óleo de soja. A Tabela 1.2 apresenta um comparativo do total produzido, importado, consumido e exportado da soja e seus derivados no ano de 2018.

Tabela 1.2 – Dados do complexo soja em 2018.

Discriminação (1.000 t)	Grão de soja	Farelo de soja	Óleo de soja (bruto + refinado)
Produção	123.081	33.185	8.833
Importação	187	0	35
Exportação	83.258	16.803	1.416
Processamento	43.556	-	-
Consumo interno	-	16.741	7.457

Fonte: Adaptado de ABIOVE, 2019.

Em relação aos compradores externos destes produtos, a China tem a supremacia absoluta nas importações de grãos, enquanto a União Europeia é a maior importadora de farelo de soja, e a Índia de óleo (ABIOVE, 2019). Segundo a Embrapa, a exportação destes produtos em 2018 rendeu para o Brasil os seguintes valores:

U\$ 33,2 bilhões de soja em grão, U\$ 6,7 bilhões em farelo e U\$ 1,0 bilhão em óleo de soja (EMBRAPA, 2019).

Diante do exposto, é evidente a importância do complexo soja, isto é, grão, farelo e óleo, na economia do país. Todavia, trabalhos bibliográficos a respeito destes, assim como das operações envolvidas no processo de produção destas substâncias é restrita e carecem de atualidade (PARAÍSO, 2001). Sendo assim, existe a necessidade de mais pesquisas abordando as etapas envolvidas na obtenção do óleo e farelo de soja, de forma a possibilitar melhores condições de operação para as empresas de processamento de soja no Brasil.

1.1. Objetivo deste trabalho

Realizar uma revisão bibliográfica do processamento industrial da soja no Brasil, detalhando todas as etapas de processo, desde o recebimento e armazenamento do grão, passando pela extração e purificação do óleo, abrangendo a obtenção dos demais produtos e subprodutos.

1.2. Estrutura deste trabalho

Com o intuito de se alcançar o objetivo proposto neste trabalho, o texto apresenta a seguinte estrutura:

O **Capítulo 1** apresenta a evolução do cultivo de soja no Brasil ao longo dos anos.

O **Capítulo 2** refere-se à caracterização do grão de soja e dos produtos obtidos do processamento da oleaginosa.

O **Capítulo 3** consiste na revisão do processo produtivo da soja, desde sua chegada à indústria até a unidade de refino.

O **Capítulo 4** aborda de forma simplificada os subprodutos gerados da industrialização da soja.

O **Capítulo 5** apresenta as considerações finais realizadas sobre o trabalho.

Capítulo 2

CARACTERIZAÇÃO DA SOJA E SEUS DERIVADOS

Os principais produtos resultantes do processamento industrial da soja são: o farelo de soja desengordurado, óleo de soja bruto e o óleo de soja refinado. Destes, o farelo de soja e o óleo bruto são originados do mesmo processo produtivo, isto é, pela unidade de esmagamento, enquanto o óleo refinado é obtido pelo complexo de refino.

A seguir, será feita uma breve caracterização da soja e dos produtos mencionados acima.

2.1. Grão de soja

A soja (*Glycine max L.*) é considerada uma leguminosa granífera (SANTOS, 2015) pertencente à Família Fabaceae (GUPTA, 2008). No Brasil, ela apresenta um grande potencial econômico em virtude de sua elevada capacidade produtiva, suas características agronômicas favoráveis (DO PRADO, 2014) e seu alto valor proteico (CUSTÓDIO, 2003).

A Figura 2.1 a seguir ilustra os grãos de soja.



Figura 2.1 – Grãos de soja.

Fonte: EMBRAPA, 2014b.

A cultura de soja é uma das mais importantes no país, visto que o grão e seus derivados são largamente empregados em diversos segmentos industriais. Esta

semente, quando processada, é destinada principalmente à produção de ração animal (na forma de casca, farelo ou óleo bruto) ou à alimentação humana (óleo refinado). Todavia, a leguminosa é também utilizada na fabricação de tintas, na indústria de adesivos, em formulador de espumas, adubos, fabricação de fibras, cosméticos e na indústria farmacêutica (FUNDAÇÃO CARGILL, 2009).

A composição química deste grão depende da herança genética e das condições nas quais a planta se desenvolveu (BORDINGNON; MANDARINO, 1994). Apesar de haver variações, a maioria das sementes apresentam a composição apresentada na Tabela 2.1 (KAGAWA, 1995).

Tabela 2.1 – Composição média da soja em grão.

Componentes	Porcentagem (%)
Proteínas	38
Açúcares	23
Fibras	4
Lipídeos	19
Umidade	11
Minerais	5

Fonte: KAGAWA, 1995.

As proteínas presentes no grão são constituídas principalmente por aminoácidos e inibidores. Dentre os aminoácidos, encontram-se em maior composição o ácido glutâmico, ácido aspártico e a arginina (ERICKSON, 1995). Os inibidores são as tripsinas, as quais representam aproximadamente 0,4% das proteínas (CUSTÓDIO, 2003).

Os carboidratos que compõem a semente da soja são divididos em fibras e açúcares e, podem ser classificados em monossacarídeos, oligossacarídeos e polissacarídeos. Os açúcares representantes de cada classe são a glicose, sacarose e arabinogalactanas, respectivamente (CUSTÓDIO, 2003).

O óleo presente no grão é constituído de ésteres de glicerol (96%), denominados glicerídeos, e uma pequena fração não-glicerídica. Geralmente, os óleos vegetais também contêm fosfatídeos, esteróis (0,5%), hidrocarbonetos (0,014%), tocoferóis, ácidos graxos livres (AGL) (0,3 – 0,7%), vitaminas A, D e E e traços de metais

(CUSTÓDIO, 2003). Ressalta-se que esta composição pode variar conforme as características genéticas, técnicas, culturais e ambientais de onde a soja é cultivada (CUSTÓDIO, 2003).

Os mineirais constituintes da soja são formadas por uma mistura de cálcio, fósforo, ferro, sódio, potássio e cobre (CUSTÓDIO, 2003).

2.2. Farelo de soja

O farelo de soja é um dos produtos provenientes da etapa de extração da semente de soja. Em razão de seu alto teor de proteínas, ele é um dos principais ingredientes utilizados na formulação de rações para aves, ovinos, caprinos, suínos e bovinos (LOPES, 2008).

Durante o processo de obtenção do farelo de soja, algumas análises laboratoriais são realizadas de modo a determinar sua qualidade. Dentre estas, estão:

- Teor de Proteínas: A análise de sua quantificação torna-se essencial pois estas substâncias representam o valor biológico e nutricional da soja.
- Teor de Fibra: Fibras são compostos de difícil digestão. Dessa forma, a qualidade do produto é prejudicada se estiverem presentes em excesso.
- Teor de Cinzas: São os resíduos inorgânicos excedentes após a queima da matéria orgânica de um produto alimentício. Quando este parâmetro se apresenta acima do limite estabelecido, isto significa um indicativo de adulteração do produto.
- Atividade Ureática: O farelo de soja contém dois fatores que inibem a ação dos nutrientes nele presente: a antitripsina e hemaglutina. No entanto, eles podem ser inativados por meio de tratamento térmico. O indicativo de presença ou ausência dos fatores citados é realizada por meio de uma enzima chamada uréase. Esta enzima está presente no farelo e possui resistência ao calor semelhante aos inibidores (DO PRADO, 2014).

Visando proteger o consumidor de possíveis adulterações, o farelo de soja tostado deve ser fabricado com características físico-químicas estabelecidas pela Portaria nº 795 de 15 de dezembro de 1993. Esta norma define um padrão de identidade e qualidade do farelo que se destina ao mercado interno (DO PRADO,

2014). A Tabela 2.2 apresenta os parâmetros que devem ser atendidos.

Tabela 2.2 – Valores padrões de farelo de soja tostado exigidos pela RDC n° 795 de 15 de dezembro de 1993.

Parâmetros	Farelo Peletizado	Farelo Moído	Farelo Desuniforme
Umidade (máx.)	12,5%	12,5%	12,5%
Proteínas (mín.)	48%	46%	44%
Gordura residual (máx.)	2,5%	2,5%	2,5%
Fibras (máx.)	5,0%	6,0%	7,0%
Cinzas (máx.)	6%	6%	6,5%
Insolúveis em ácido clorídrico (máx.)	0,3%	0,5%	0,5%
Matérias estranhas	isento	isento	isento
Atividade Ureática (variação pH)	0,05 - 0,25	0,05 - 0,25	0,05 - 0,25

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1993.

2.3. Óleo de soja bruto

O óleo de soja bruto é obtido na etapa de extração. Atualmente, o valor agregado a ele é igual ou maior ao do farelo de soja. Geralmente, este óleo é utilizado na produção ração animal, de vernizes, tintas, plásticos, lubrificantes, biocombustíveis ou como insumo para as indústrias de alimentos, cosméticos e farmacêuticas (ROST, 2013).

Esta substância é líquida, insolúvel em água, e formada predominantemente por ésteres glicerídicos de ácidos graxos, também denominados triacilgliceróis. Eles representam em média 96% da composição do óleo de soja (CUSTÓDIO, 2003).

Um triacilglicerol é o produto da condensação de uma molécula de glicerol com três moléculas de ácidos graxos, gerando três moléculas de água e uma molécula de triacilglicerol (CUSTÓDIO, 2003). A Figura 2.2 a seguir apresenta a estrutura de um triglicerídeo, tendo como radicais dois ácidos graxos oleico e um linoleico.

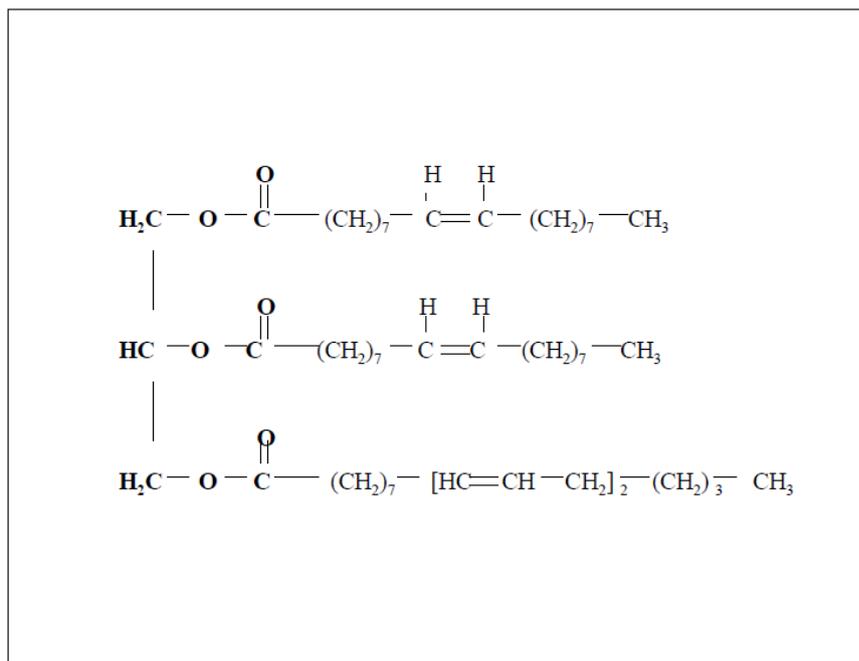


Figura 2.2 – Triglicerídeo que representa o óleo de soja.

Fonte: CUSTÓDIO, 2003.

Os ácidos graxos que não são esterificados são chamados de ácidos graxos livres (CUSTÓDIO, 2003), os quais estão presentes em aproximadamente de 0,3 a 0,7% no óleo de soja. Além destes e dos triacilgliceróis, os óleos vegetais brutos possuem em sua composição os seguintes componentes:

- Mono e diacilgliceróis;
- Pigmentos: o β -caroteno, por exemplo, promove a cor amarela ao óleo;
- Esteróis: ergosterol, β -sitosterol, etigmasterol e campesterol;
- Tocoferóis: alfa, beta, gama e delta-tocoferol;
- Fosfatídeos: fosfatidilcolina, fosfatidiletanolamina, fosfatidilinositol;
- Minerais;
- Proteínas;
- Hidrocarbonetos: vitamina β -caroteno e xantofila;
- Ceras (CUSTÓDIO, 2003).

2.4. Óleo de soja refinado

O óleo de soja bruto é submetido ao processo de refino para tornar-se apropriado para consumo humano. Esta operação tem como finalidade melhorar a aparência, odor e sabor do produto (ROST, 2013).

O óleo vegetal comestível apresenta diversas vantagens ao organismo humano. Além de ser uma fonte de gordura e ácidos graxos, esta substância fornece energia ao corpo e auxilia a absorção de vitaminas lipossolúveis e de antioxidantes (INSTITUTE OF MEDICINE, 2005). O consumo de óleo vegetal refinado no Brasil é liderado pelo óleo de soja, seguido do óleo de girassol, milho e canola (PIERGIOVANNI; LIMBO, 2010).

Existem vários métodos analíticos para avaliar a qualidade do óleo ao longo do processo de refino. Dentre estes, têm-se:

- Índice de acidez: Este teste determina o estado de conservação do óleo, dado que o seu processo de degradação é acompanhado pela formação de ácidos graxos livres.
- Ponto de Fumaça: Define-se pela temperatura na qual são constatadas as primeiras substâncias voláteis do óleo sob aquecimento. Quando o processo de refino não é eficaz, os ácidos graxos livres, compostos mais voláteis que os triglicerídeos, são liberados através de fumaça durante o preparo dos alimentos.
- Índice de peróxidos: Este método determina o estado oxidativo de um óleo.
- Impurezas insolúveis em éter de petróleo: Esta análise detecta as sujidades e substâncias estranhas insolúveis em éter de petróleo.
- Umidade e matéria volátil: Parâmetro para avaliar a estabilidade do óleo.
- Análise sensorial: A avaliação sensorial é uma técnica adicional na determinação da oxidação de lipídeos (VICARI, 2013).

Para comercialização do óleo de soja refinado, as indústrias brasileiras de óleo necessitam atender a Instrução Normativa nº 49 do 22 de dezembro de 2006 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (VICARI, 2013). Esta norma estabelece os padrões de identidade e qualidade de óleos vegetais refinados. A seguir, as Tabelas 2.3 e 2.4 apresentam estes parâmetros.

Tabela 2.3 – Características de qualidade do óleo de soja refinado.

Característica	Óleo de Soja	
	Tipo 1	Tipo 2
Índice de Acidez (mgKOH/g)	0,20	0,2 – 0,6
Ponto de Fumaça (°C)	210	190
Índice de Peróxidos (mEq/kg)	2,5	2,5 – 5,0
Impurezas insolúveis em éter de petróleo (%)		0,05
Umidade e material volátil (%)		0,1
Sabões (mg/kg)		10
Aspecto a 25 °C	Límpido e isento de impurezas.	
Odor e sabor	Odor e sabor característico do produto.	
Cor	Cor característica do produto.	

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2006.

Tabela 2.4 – Características de identidade do óleo de soja refinado.

Característica	Óleo de Soja
Matéria Insaponificável (g/100g)	1,50
Densidade Relativa	0,919 - 0,925
Índice de Refração (Raia D a 40 °C)	1,466 - 1,470
Índice de Saponificação (mg KOH/g)	189 - 195
Índice de iodo (Wijs)	124 - 139
C12:0 (%) - Ácido Láurico	0,1
C14:0 (%) - Ácido Mirístico	0,2
C16:0 (%) - Ácido Palmítico	8 - 13,5
C16:1 (%) - Ácido Palmitoleico	0,2
C18:0 (%) - Ácido Esteárico	2 - 5,4
C18:1 (%) - Ácido Oleico	17 - 30
C18:2 (%) - Ácido Linoleico	48 - 59
C18:3 (%) - Ácido Linolênico	3,5 - 8
C20:0 (%) - Ácido Araquídico	0,1 - 0,6
C20:1 (%) - Ácido Gadoleico	0,5
C22:0 (%) - Ácido Behêmico	0,7
C22:1 (%) - Ácido Erúcico	0,3
C24:0 (%) - Ácido Lignocérico	0,5

Fonte: Adaptado de BRASIL, 2006.

Os óleos refinados estão sujeitos ao processo de deterioração, também denominado de rancificação. Esta degradação resulta em mudanças sensoriais, formação de sabores e odores estranhos e perda do valor nutritivo do óleo. Existem dois tipos de rancidez, a hidrolítica e a oxidativa. A primeira ocorre devido à ação das enzimas lipases presentes no grão, que são ativadas quando a temperatura de estocagem está entre de 45 a 60 °C e a umidade relativa alta. A segunda pode ocorrer por ação da enzima lipoxigenase ou por meio de oxigênio atmosférico ou dissolvido (VICARI, 2013).

A fim de impedir ou retardar a oxidação dos óleos, pode-se adicionar antioxidantes naturais ou sintéticos no produto final. O α -tocoferol é um exemplo de antioxidante natural e o butilhidroxianisol (BHA), butil-hidroxitolueno (BHT) e o terc-

butil-hidroquinona (TBHQ) representam os sintéticos (VICARI, 2013).

Capítulo 3

PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DA SOJA

A planta industrial típica de processamento das sementes de soja, compõe-se, em geral, das seguintes unidades:

- Unidade de recebimento dos grãos provenientes do campo;
- Unidade de armazenamento;
- Unidade de preparo inicial dos grãos;
- Unidade de extração;
- Unidade de separação do solvente do óleo extraído;
- Unidade de beneficiamento dos sólidos extraídos;
- Unidade de refino do óleo.

Os sete próximos tópicos têm por objetivo apresentar as unidades mencionadas acima, bem como descrever as operações básicas envolvidas em cada uma destas etapas.

3.1. Recebimento

O processo inicia-se com o recebimento das sementes oleaginosas à indústria vindas dos campos e armazéns. O primeiro procedimento adotado é a pesagem do caminhão para aferir a quantidade de soja que será descarregada na fábrica. Em seguida, é realizada a classificação do produto por amostragem, no intuito de avaliar a qualidade da matéria-prima. Esta técnica ocorre da seguinte forma: coleta-se uma quantidade previamente estabelecida de grãos da carga total recebida, e realiza-se análises para determinar alguns parâmetros. Dentre estes, estão:

- Umidade: Altos teores de umidade influenciam no aumento da acidez da soja.
- Impurezas: São consideradas impurezas galhos, folhas e pedras.
- Avariados: Os avariados são a mistura de grãos queimados (grãos de coloração negra) e os ardidos (grãos de coloração marrom). São considerados grãos ardidos aqueles que sofreram algum tipo de ação de microrganismo, e queimados os que sofreram algum tipo de carbonização. O excesso de

avariados pode influenciar na acidez da soja.

- Esverdeados: São considerados grãos esverdeados (grãos de coloração verde) aqueles que foram colhidos antes de seu tempo total de maturação. A presença destes grãos pode influenciar nos teores de clorofila dos óleos de soja bruto e refinado.
- Quebrados: São considerados quebrados os grãos que sofreram algum tipo de quebra durante sua colheita ou armazenagem (BRASIL, 2007).

Conforme o resultado dos parâmetros citados, a soja é descarregada na moega (DE PAULA, 2001). Posteriormente, ela é direcionada para armazenagem ou diretamente para a etapa de preparação do grão.

3.2. Armazenamento

Após a etapa de recebimento, a soja é transportada para os silos ou graneleiros, para melhor conservação dos grãos. A depender de como vieram do campo, estes necessitam passar por uma etapa de secagem para reduzir o teor de umidade para aproximadamente 12%. Esta medida é essencial para que os grãos possam ser armazenados sem perigo de deterioração (GARCIA et al., 2004).

É de extrema importância propiciar condições favoráveis de armazenamento da soja, uma vez que influenciam diretamente no rendimento e na qualidade do produto final. Dessa forma, algumas operações são realizadas durante esta etapa:

- Aeração: movimento forçado de ar nos grãos para diminuir e uniformizar a temperatura local, impedir a migração de umidade, bem como a formação de bolsas de calor.
- Termometria: medição periódica de temperatura dos grãos de soja através de sensores distribuídos simetricamente nos silos ou graneleiros.
- Tratamento fitossanitário: procedimento visando prevenir o aparecimento de insetos, ou de eliminá-los quando presentes.
- Higienização: técnica para evitar o aparecimento de insetos e roedores (ROST, 2013).

Caso os grãos de soja sejam acondicionados em más condições por um período prolongado, alguns problemas podem ocorrer na semente. Dentre estes, estão:

aquecimento até sua carbonização, aumento de acidez, escurecimento do óleo contido em seu interior, alterações sensoriais e modificações estruturais (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

3.3. Preparação dos grãos para a extração

A preparação consiste em um conjunto de procedimentos que tem por objetivo transformar a semente de soja em flocos de soja. Ela é necessária para garantir que a etapa subsequente de extração seja eficiente, rápida e econômica. O processo de preparo dos grãos está representado pelo fluxograma da Figura 3.1 abaixo.

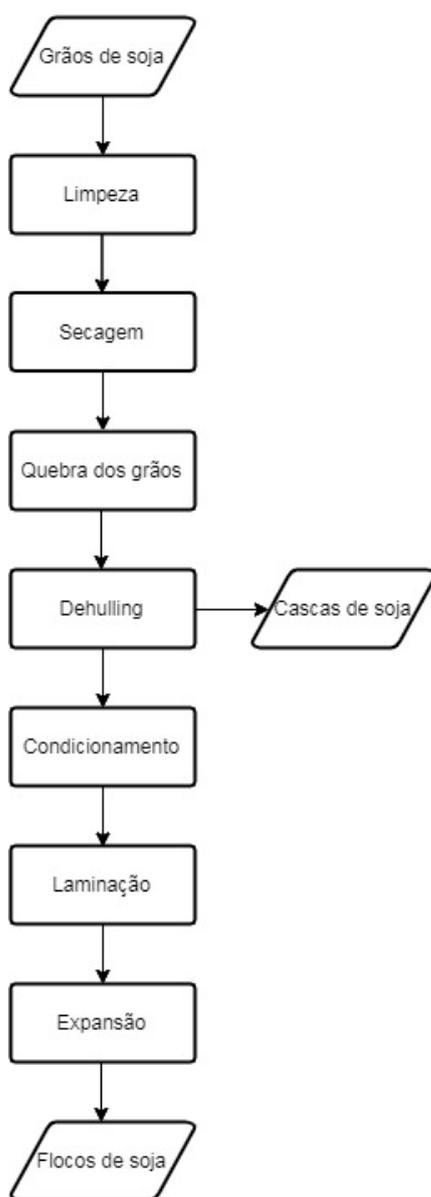


Figura 3.1 – Esquema geral das operações de preparação da soja para extração.

Fonte: O autor.

3.3.1. Limpeza

A limpeza dos grãos baseia-se na remoção de impurezas e sujidades grossas que estão misturadas junto à soja, tais como: galhos, folhas, pedras e objetos metálicos. Se não removidos, eles podem reduzir a capacidade do extrator por uso indevido de espaço, dificultar o transporte dos grãos pelos elevadores, danificar os equipamentos de processamento por deterioração, aumentar o teor de clorofila e contaminar o produto final. Para tal fim, utiliza-se máquinas dotadas de duas peneiras vibratórias, cuja primeira retém materiais maiores e mais leves que os grãos e na segunda menores que estes (CUSTÓDIO, 2003).

3.3.2. Secagem

A soja limpa é encaminhada para secadores contínuos a fim de reduzir o teor de umidade de 12% para cerca de 10,5%. Em seguida, ela é armazenada em um silo pulmão por um período de 1 a 5 dias para que seja possível alcançar o equilíbrio de umidade em seu interior.

Estes procedimentos tornam-se necessários para que a etapa a seguir, de quebra dos grãos, seja eficiente (CUSTÓDIO, 2003). Se a soja estiver muito úmida nos quebradores, ela tende a amassar ao invés de quebrar (PEREIRA, 2015). Além disso, a secagem evita a degradação do grão nas etapas subsequentes (CUSTÓDIO, 2003).

3.3.3. Quebra dos grãos

Esta etapa tem como objetivo reduzir as dimensões do grão para facilitar os processos subsequentes de condicionamento e laminação. Sendo assim, os grãos são direcionados aos quebradores, para serem divididos em quatro a oito partes (ERICKSON, 1995).

Estes equipamentos consistem em pares de rolos raiados e rotativos, os quais operam com velocidades diferentes, fazendo com que um “segure” a soja e o outro a quebre. Eles são dispostos em paralelo com a mesma distância em toda sua extensão, de modo a evitar a passagem de grãos sem quebrar, ou a formação de finos por esfarelamento dos mesmos (PEREIRA, 2015). As partículas finas formadas durante este procedimento são separadas por aspiração em um sistema de vácuo (KEMPER,

2005).

3.3.4. Dehulling

Para garantir a porcentagem mínima de proteína no farelo de soja exigida pela legislação, se faz necessário a retirada das cascas da soja, visto que estas possuem baixo teor de óleo e proteína, e elevado teor de fibras (PEREIRA, 2015). Além disso, são muito abrasivas, podendo provocar desgaste nos equipamentos no decorrer do processo (LOPES, 2008).

Durante este procedimento, os grãos passam por um sistema chamado *dehulling*. Ele consiste em colunas de aspiração, onde a soja entra no topo e ar a temperatura ambiente entra pela base. Assim, o ar promove o arraste das cascas, que é a parte mais leve da soja. Posteriormente, estas passam por peneiras vibratórias no intuito de recuperar fragmentos dos grãos que foram acidentalmente arrastados (PEREIRA, 2015).

3.3.5. Condicionamento

O condicionamento refere-se ao tratamento térmico aplicado ao grão, o qual é aquecido entre 55 a 60 °C, a fim de torná-lo maleável. Este procedimento é fundamental para facilitar a laminação da soja (PEREIRA, 2015).

O equipamento utilizado para aquecimento dos grãos é chamado de condicionador, que consiste em um tambor cilíndrico rotativo, constituído de feixe de tubos em seu interior. Dentro destes, vapor passa, entrando em contato com a soja de forma indireta (PEREIRA, 2015).

Além de proporcionar elasticidade ao grão, esta operação apresenta outros benefícios, tais como: controle da umidade da soja, coagulação parcial de proteínas, aglomeração das gotículas de óleo, redução na viscosidade do óleo e aquecimento para extração em temperatura ótima (CUSTÓDIO, 2003).

3.3.6. Laminação

Após aquecida, a soja é transformada em lâminas por meio de laminadores, que são constituídos de rolos lisos de aço inoxidável, horizontais ou oblíquos. A operação

de laminação diminui a distância entre o centro e a superfície do grão, aumentando a área de contato entre as seguintes fases na etapa de extração: material sólido (lâminas de soja) e corrente líquida (solvente) (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015). Deste modo, melhora-se, simultaneamente, a permeabilidade no interior do material sólido, bem como a percolabilidade do solvente no leiteo (CUSTÓDIO, 2003).

Após a laminação, os grãos são denominados flocos. Existe uma condição ótima de operação para se obter flocos com apropriada qualidade, boa permeabilidade e percolabilidade no leiteo. Dessa forma, a espessura ideal do material oleaginoso é de dois a quatro décimos de milímetro (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015). Conseqüentemente, flocos muito finos, além de quebrarem com mais facilidade, possuem elevada permeabilidade e formam leiteos com baixa percolabilidade. Em contrapartida, flocos mais espessos apresentam menor permeabilidade e produzem leiteos com alta percolabilidade (CUSTÓDIO, 2003).

No que se refere a velocidade de laminação, esta deve ser efetuada o mais rápido possível, pois a desintegração dos grãos ativa as enzimas celulares lipase e a peroxidase, o que tem um efeito negativo sobre a qualidade do produto final (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

3.3.7. Expansão

A última etapa de preparação dos grãos é a expansão. O expansor consiste em um extrusor, no qual as partículas são comprimidas a temperaturas superiores à do ponto de ebulição da água. Deste modo, ao atingirem a saída do expansor, o vapor de água expande-se devido à redução abrupta da pressão. Esta transformação provoca modificações nas propriedades do material, tornando-o mais compacto, poroso e mais denso comparado com o material laminado (ERICKSON, 1995).

A expansão é fundamental para o processo produtivo, uma vez que a capacidade de processamento pode aumentar de 50 a 100% (BREDESON, 1983). Isto deve-se ao fato dos seguintes resultados obtidos ao longo da extração: melhor percolabilidade do solvente em virtude da maior porosidade das partículas, maior remoção do óleo devido à melhor drenagem do solvente e menor arraste de solvente pelos sólidos (ERICKSON, 1995).

3.4. Extração

Após os grãos de soja serem transformados em flocos, estes são conduzidos à etapa de extração, cuja finalidade é retirar o óleo da fase sólida, assim como obter o farelo de soja.

Existem três métodos que podem ser empregados para este fim:

- Prensagem mecânica;
- Extração por solvente;
- Processo misto.

Nas indústrias mais antigas de processamento de soja, o óleo é extraído através do sistema de prensagem mecânica, método este que opera por meio de prensas de alta pressão e que pode ser adaptado para diferentes tipos de oleaginosas. Entretanto, este processo está ultrapassado para a extração de óleo de soja pois, embora obtenha-se um óleo de boa qualidade, ele consome muita energia, em torno de 65,0 kWh por tonelada de soja processada, e gera um residual de óleo no material sólido (torta) de 4 a 5%. Este percentual representa um alto teor de perda de óleo, além deste resíduo ser prejudicial para a qualidade da torta, uma vez que ela será processada para obtenção do farelo de soja (PARAÍSO, 2001).

O sistema denominado misto refere-se à combinação da prensagem mecânica com a extração por solvente. Ele pode ser empregado em larga escala e é flexível para operar com vários tipos de oleaginosas. Dentre as vantagens em relação ao sistema descrito acima, têm-se: menor consumo de energia, em média de 46,0 kWh por tonelada de soja processada, e baixo residual de óleo na torta, por volta de 1,1 a 1,4% (PARAÍSO, 2001).

Contudo, a extração por solvente é o método amplamente utilizado nas indústrias modernas, em virtude deste processo otimizar o consumo de energia e apresentar melhor rendimento. Este produz uma torta com residual de óleo inferior a 1% e consome em torno de 20 a 25 kWh de energia por tonelada de soja (PARAÍSO, 2001).

3.4.1. Extração por solvente

Desde o início da utilização deste processo até o momento presente, o solvente

químico estabelecido para extração de óleos vegetais é o hexano, cujo ponto de ebulição é em torno de 70 °C. A escolha desta substância deve-se ao fato do hexano ser insolúvel em água e ter facilidade em dissolver o óleo (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

Por outro lado, o hexano possui elevado custo, apresenta alto grau de inflamabilidade e toxicidade, e é obtido mediante uma fonte não-renovável de matéria-prima (CUSTÓDIO, 2003). Devido às desvantagens mencionadas, estudos têm sido desenvolvidos nos últimos anos visando encontrar solventes para substituir o hexano. Dentre as possibilidades, destaca-se o etanol, visto que é um composto menos inflamável, não oferece risco à saúde, é produzido em larga escala no Brasil, não gera resíduos tóxicos, e é facilmente recuperado para ser reaproveitado no processo (DO PRADO, 2014).

A extração por solvente é realizada em extratores, que tem como objetivo reduzir o conteúdo de óleo dos flocos de soja ao valor mais baixo possível com o uso mínimo de hexano. Para tal fim, a semente de soja deve ser preparada conforme os procedimentos descritos no tópico anterior, de modo a se obter a máxima área de contato entre o óleo e o solvente, bem como a formação de um leito que não empacote durante o processo de drenagem. A drenagem refere-se ao deslocamento da mistura óleo-solvente para uma posição distante do floco extraído (CUSTÓDIO, 2003).

Em geral, os flocos são introduzidos no extrator com um teor de umidade de 9 a 12% em massa, dado que valores acima de 12% dificulta a atuação do hexano na solubilização do óleo, e abaixo desta faixa, prejudica o movimento do solvente no seio do leito (CUSTÓDIO, 2003).

A extração do óleo em si acontece por meio de dois mecanismos: dissolução e difusão. A Figura 3.2 mostra as quatro etapas que se sucedem durante este processo.

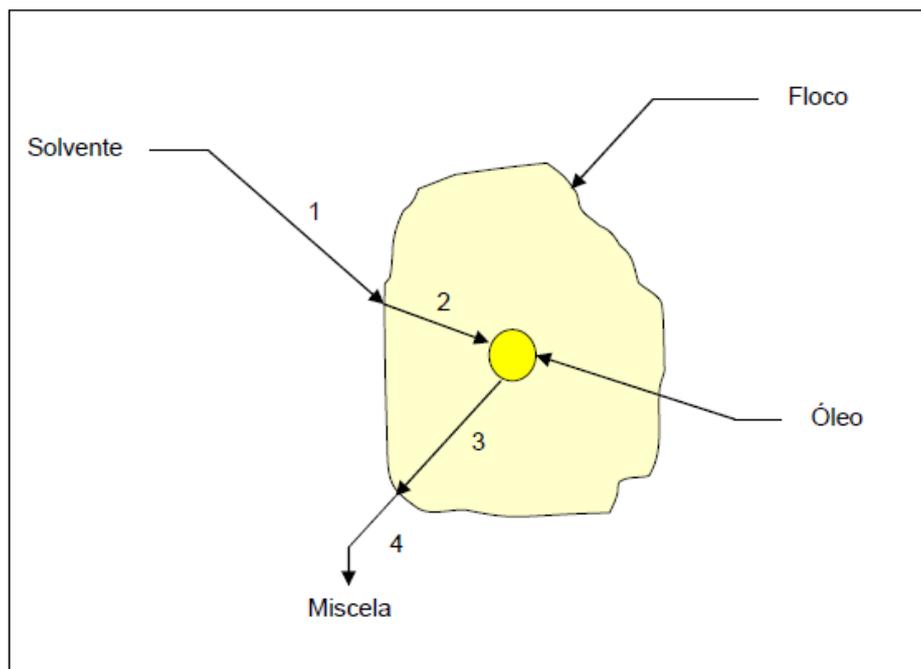


Figura 3.2 – Mecanismo de extração do óleo por solvente.

Fonte: CUSTÓDIO, 2003.

- Etapa 1: Contato do solvente com a superfície do flocó;
- Etapa 2: Difusão do solvente da superfície do flocó até o óleo presente em seu interior, no intuito de dissolvê-lo;
- Etapa 3: Difusão da mistura óleo-solvente através do flocó até atingir a sua superfície;
- Etapa 4: Drenagem da mistura óleo-solvente que está ao redor dos flocos laminados para outra posição distante do flocó (CUSTÓDIO, 2003).

A fase de difusão é lenta e depende da correta dosagem de solvente no extrator, de outro modo, a de drenagem é rápida e fácil. Sendo assim, a velocidade de extração do óleo é acelerada no início e decresce no decorrer do processo (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

Ao final da operação de extração são geradas duas correntes: a líquida denominada miscela (conjunto óleo-solvente), e a sólida chamada de torta (conjunto farelo-solvente) ou farelo branco. Posteriormente, a torta é encaminhada ao dessolventizador-tostador (DT) e a miscela segue para o sistema de destilação.

Ambos sistemas têm a finalidade de remover o residual de hexano presente nos produtos obtidos no extrator (CUSTÓDIO, 2003).

Os extratores a solvente desempenham diversas funções, dentre as quais movimentar grandes volumes de sólidos e de solventes, promover um tempo de retenção de 30 a 120 minutos e separar os sólidos da corrente líquida minimizando o arraste de solvente. Eles podem ser agrupados em dois grupos: extratores por imersão e extratores por percolação. Todavia, o sistema por percolação é o tipo mais empregado nas indústrias, pelo fato deste equipamento ocupar menor volume na planta e a drenagem do solvente ser mais simples de ser realizada mecanicamente (CUSTÓDIO, 2003).

Os extratores por percolação têm como meta reduzir o conteúdo de óleo no floco de aproximadamente 19%, em massa, para um valor inferior a 1% (CUSTÓDIO, 2003). Geralmente, os menores valores obtidos encontram-se na faixa de 0,5 a 0,6% (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

O modo de operação dos extratores por percolação pode ser realizado de duas maneiras: o solvente ser bombeado sobre um leito de flocos, percolar o leito e ser retirado ao fundo por meio de placas perfuradas ou telas de sustentação, e de outro modo, o solvente entrar pela base do extrator e sair pelo topo do mesmo (CUSTÓDIO, 2003).

Os tipos mais comuns de extratores por percolação são:

- Extrator de Correias Perfuradas (Extrator De Smet).
- Extrator tipo Filtro (Extrator Crown).
- Extrator Rotatório.
- Extrator a Corrente e Cestos (CUSTÓDIO, 2003).

Dentre estes sistemas, o mais usado no país é o De Smet (CUSTÓDIO, 2003), que está apresentado na Figura 3.3 abaixo.

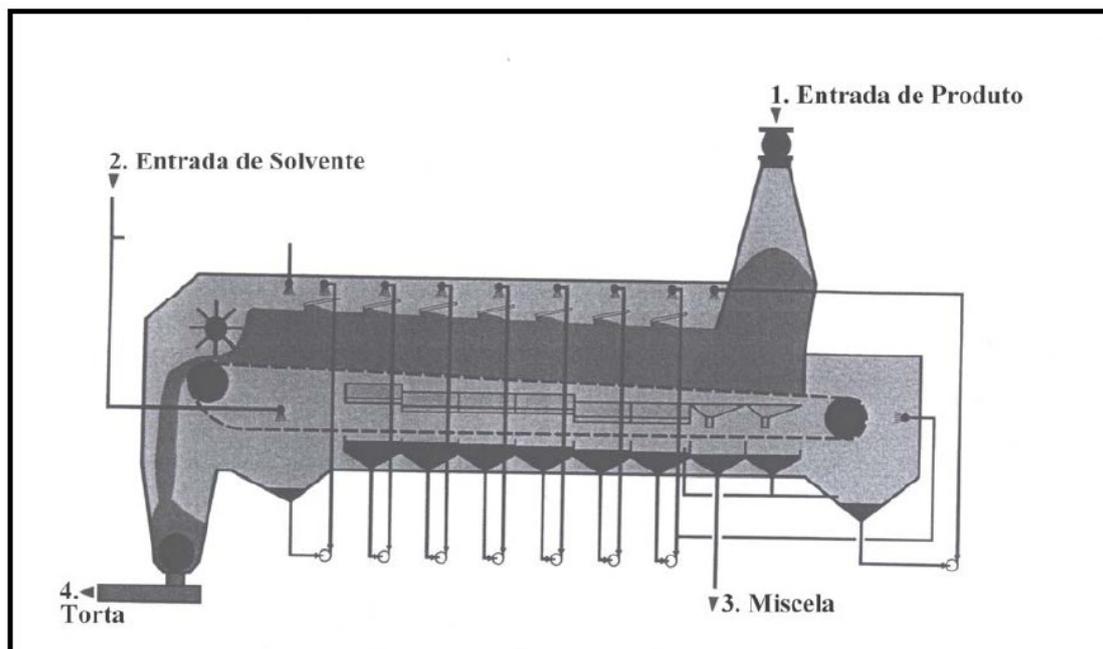


Figura 3.3 – Extrator de Smet.

Fonte: ERICKSON, 1995.

O extrator De Smet é constituído de um corpo horizontal de chapas de seção retangular, e possui duas tremonhas, uma de entrada e outra de saída.

Nele, as partículas sólidas são introduzidas por um funil, entram no corpo do extrator, e permanecem subindo na tremonha até uma altura aproximada de 1,5 até 2,0 m, nível o qual é regulado por uma comporta. Controles elétricos mantêm a altura da massa constante, de forma a alcançar uma perfeita vedação e evitar a entrada de ar (LOPES, 2008). Sobre estes controles, há uma série de atomizadores do solvente (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

O material é transportado por uma esteira de tela fina de aço inoxidável, suportada por roletes nas laterais (LOPES, 2008). Sob a esteira, encontra-se alguns receptáculos da miscela, e cada um destes é conectado a uma bomba centrífuga que alimenta um atomizador correspondente. Dessa forma, cada seção de irrigação é seguida de uma seção de escoamento da miscela (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

A recirculação intensa da mistura óleo-solvente na massa no extrator promove uma

miscela límpida para a destilação, ou seja, livre de finos. Sendo assim, sua filtração torna-se dispensável (LOPES, 2008).

Após a saída do material, a esteira transportadora é limpa por uma escova cilíndrica rotatória (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

3.5. Destilação da miscela

Segundo PARAÍSO (2001), a miscela sai do extrator com uma concentração na faixa de 20 a 30% em massa de óleo. Dessa forma, a operação de destilação visa recuperar o hexano do óleo no intuito de reaproveitá-lo na extração, bem como concentrar a miscela, de forma a convertê-la em óleo de soja bruto.

O sistema de destilação utilizado atualmente no meio industrial é constituído de duas operações: a evaporação e o *stripping* do hexano (LOPES, 2008). Estas etapas estão representadas pela Figura 3.4 abaixo.

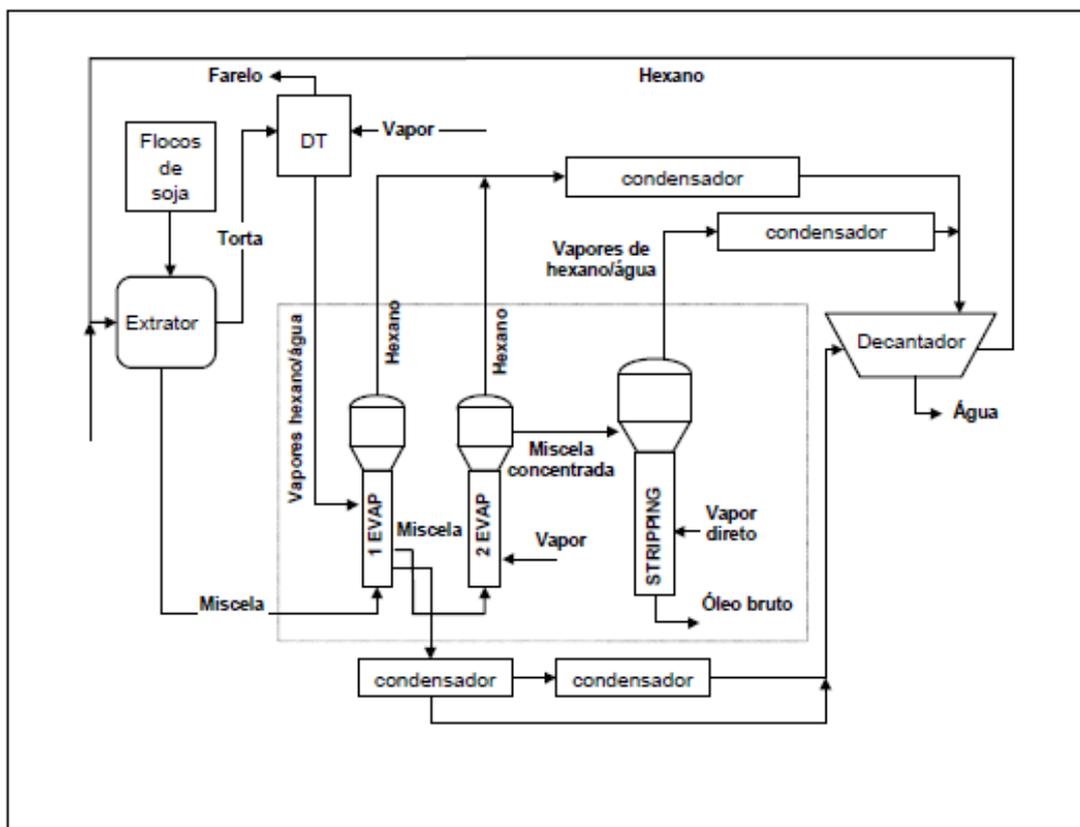


Figura 3.4 – Sistema de destilação da miscela.

Fonte: CUSTÓDIO, 2003.

3.5.1. Evaporação do hexano

Esta operação tem a função de separar parte do hexano do óleo com o auxílio de dois evaporadores em série.

A miscela entra no primeiro evaporador com uma concentração na faixa de 20 a 30% em massa de óleo, e esta é submetida a um aquecimento de vapores condensados provenientes do dessolventizador/tostador (DT), alcançando uma concentração entre 65 a 67%. Com essa concentração, ela entra no segundo evaporador, onde o aquecimento dá-se por vapor d'água condensado, atingindo uma concentração de 95 a 98% em massa de óleo. Esta é a máxima concentração atingida nos evaporadores, uma vez que a taxa de evaporação do hexano torna-se muito pequena. Diante desse cenário, é necessário o uso de mais uma operação que seja eficiente e apropriada para remover o baixo conteúdo de solvente que permanece no óleo: o *stripping* do hexano (CUSTÓDIO, 2003). A Figura 3.5 ilustra o evaporador típico empregado neste processo.

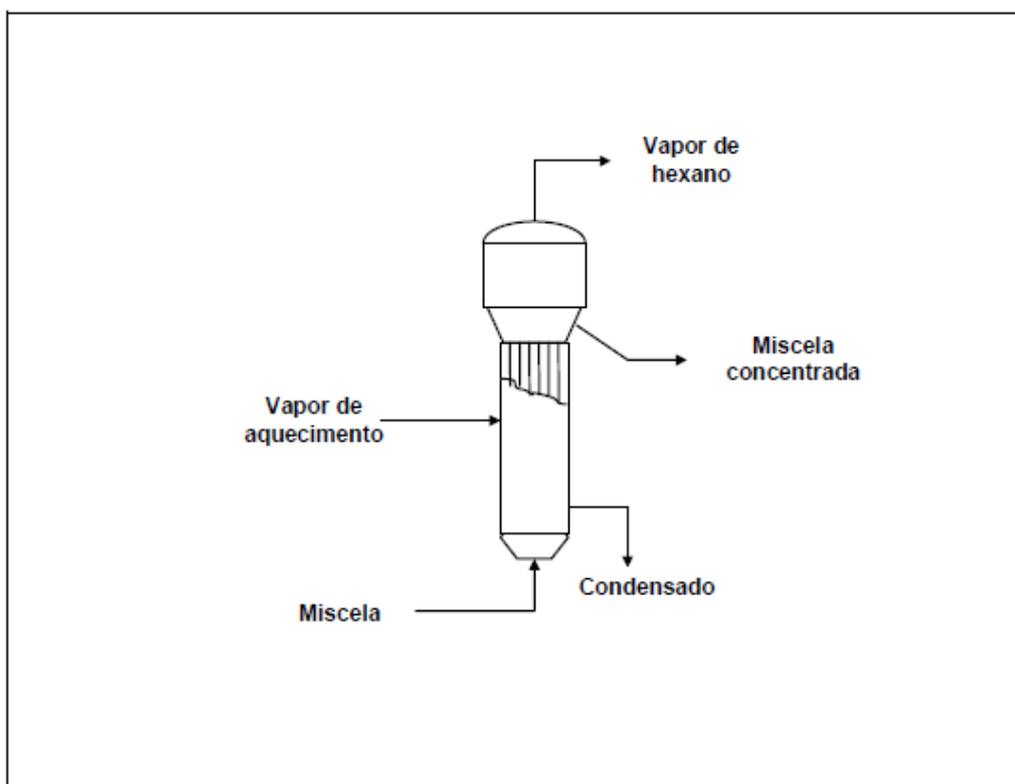


Figura 3.5 – Esquema do evaporador vertical de tubos verticais longos.

Fonte: CUSTÓDIO, 2003.

O evaporador, em geral, é um equipamento vertical, constituído de tubos longos em seu interior, que conduzem a solução em fluxo ascendente. Dentro deles, ocorre o aquecimento da miscela e a vaporização do hexano. A parte superior do evaporador possui dispositivos para impedir o arraste do óleo junto com o hexano (CUSTÓDIO, 2003).

3.5.2. *Stripping* do hexano

Esta etapa tem a função de finalizar a destilação da miscela. Para tanto, utiliza-se o equipamento stripper (coluna de dessorção), o qual é constituído de uma coluna dividida em compartimentos denominados de estágios (CUSTÓDIO, 2003).

A seguir, a Figura 3.6 mostra um stripper típico utilizado em uma planta de obtenção de óleo bruto de soja.

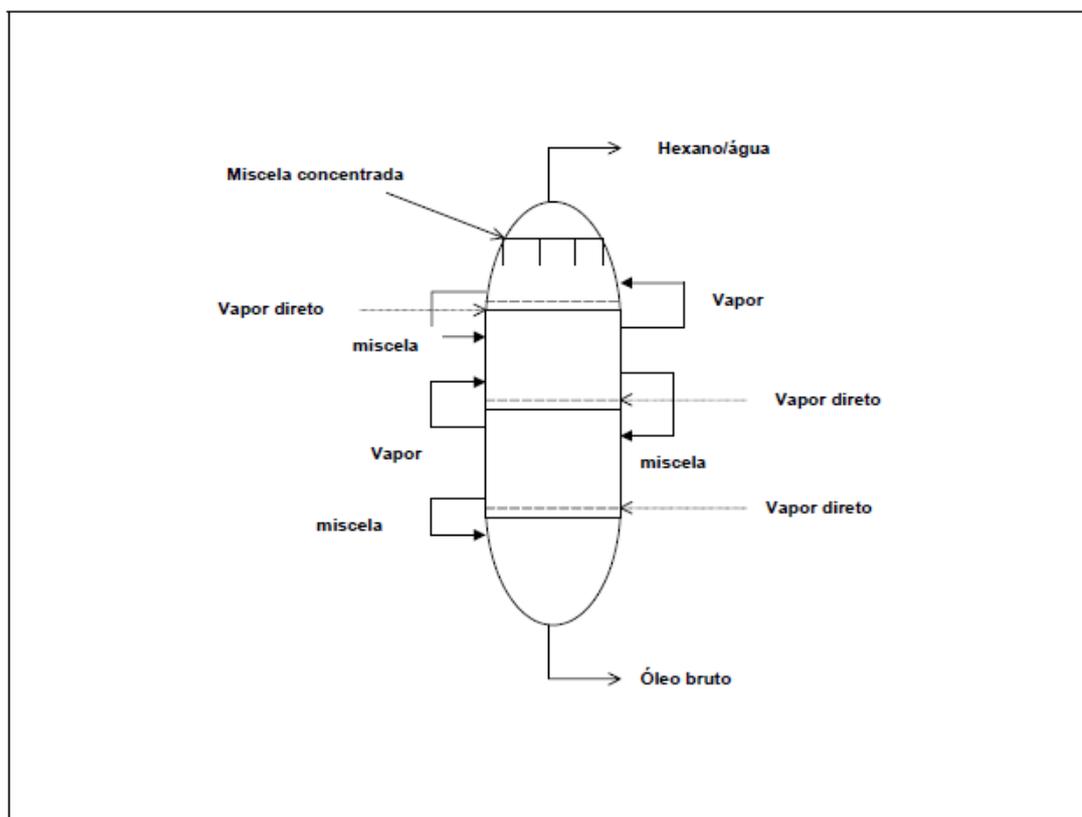


Figura 3.6 – Esquema do stripper.

Fonte: CUSTÓDIO, 2003.

A miscela entra na parte superior do stripper com uma concentração acima de 97% e uma temperatura superior a 107 °C (CUSTÓDIO, 2003). Em seguida, ela flui por uma estrutura capaz de distribuir melhor a corrente líquida no interior do equipamento.

Ao atingir o estágio, um pequeno reservatório de líquido é formado, de modo a promover um contato eficiente entre a miscela e o vapor direto (CUSTÓDIO, 2003).

Vapor d'água superaquecida, na temperatura de aproximadamente 177 °C e pressão em torno de 4 kgf/cm², entra no fundo do estágio, e se distribui uniformemente no seio do líquido, a fim de ocorrer o *stripping* do hexano presente no óleo. Normalmente, a pressão de operação ocorre abaixo da pressão atmosférica, ou seja, situa-se cerca de 610 mmHg, com o intuito de manter a qualidade do óleo (CUSTÓDIO, 2003).

Após o reservatório atingir um determinado nível, a corrente líquida passa para o estágio inferior. O fluxo de vapor flui de maneira contracorrente em relação à corrente líquida, e passa de um estágio inferior para o superior. Tanto a corrente líquida como a de vapor são transportadas de estágio a estágio por meio de tubulações instaladas na parte externa do equipamento (CUSTÓDIO, 2003).

Ao final do processo, duas correntes de produto são formadas: a corrente de vapor que sai no topo do stripper, composta por vapor d'água e hexano, e a corrente líquida destilada que sai no fundo do equipamento, denominada de óleo de soja bruto. Este óleo é encaminhado para tanques de armazenamento para posterior refino (CUSTÓDIO, 2003).

Durante o processo, são feitos testes para determinar a quantidade de hexano presente no óleo bruto. Atualmente, a análise realizada é denominada "ponto de fulgor". A sua metodologia consiste em determinar a menor temperatura, na qual o óleo ao ser aquecido gere uma quantidade de vapor suficiente para formar uma mistura explosiva com o ar (PARAÍSO, 2001).

A Tabela 3.1 mostra o ponto de fulgor (°C) e a respectiva concentração de hexano no óleo de soja (ppm).

Tabela 3.1 – Ponto de fulgor *versus* hexano residual.

Ponto de Fulgor (°C)	Hexano Residual (ppm)
82	3500
99	1600
121	1000
160	550

Fonte: CUSTÓDIO, 2003.

3.6. Dessolventização e tostagem do farelo

A torta, também chamada de farelo branco, é um produto muito nutritivo obtido na etapa de extração. No entanto, ele apresenta uma quantidade significativa de hexano em sua composição. Dessa forma, torna-se necessário eliminar este resíduo, de forma a tornar o farelo de soja apropriado para produção de rações destinadas à alimentação de aves, suínos e gado de corte (CUSTÓDIO, 2003).

A dessolventização e a tostagem são operações pelas quais a torta entra em contato com vapor d'água propiciando um *stripping* do hexano, o aumento da umidade do farelo e a tostagem do mesmo. Para tanto, o equipamento mais utilizado no meio industrial atualmente é o dessolventizador/tostador (DT) (CUSTÓDIO, 2003). A Figura 3.7 apresenta o esquema geral de um DT.

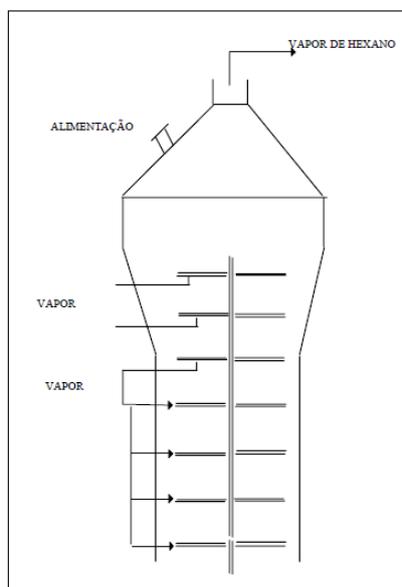


Figura 3.7 – Detalhes do Dessolventizador-Tostador.

Fonte: CUSTÓDIO, 2003.

O DT é um aparelho vertical, que opera continuamente, e seu funcionamento se dá em duas etapas: a dessolventização e a tostagem do farelo. Este equipamento constitui-se de sete pratos ou estágios, cujo três superiores representam a etapa de dessolventização, como também a seção de alimentação, e os quatro inferiores visam à tostagem. Cada um destes pratos é ligado a um eixo central rotativo, que promove a passagem dos flocos através de um fluxo descendente (CUSTÓDIO, 2003).

A Figura 3.8 abaixo apresenta o esquema da dessolventização e da tostagem do farelo.

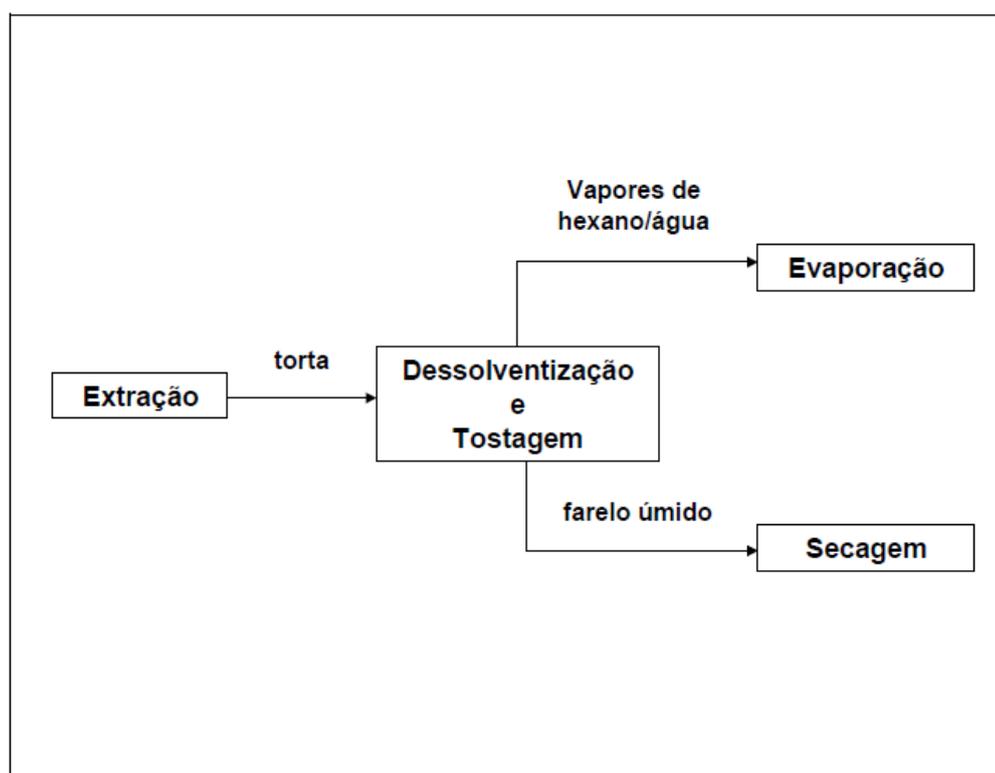


Figura 3.8 – Esquema geral da operação de dessolventização/tostagem.

Fonte: CUSTÓDIO, 2003.

A etapa de dessolventização tem como finalidade retirar a maior parte do hexano retido na torta. Geralmente, este material é composto de uma mistura de farelo, água, uma pequena quantidade de óleo residual, e hexano na faixa de 25 a 35% em massa. A torta entra na parte superior do DT, na temperatura em torno de 50 °C (CUSTÓDIO, 2003) e, logo após, passa para o segundo e terceiro estágio, onde recebe vapor direto que entra por meio de venezianas laterais. O hexano é praticamente removido do farelo nos dois primeiros estágios, porém, este adquire um teor de 18 a 20% de umidade (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

A etapa da tostagem tem como objetivo evaporar o hexano residual, assim como realizar um tratamento térmico no farelo de soja visando a qualidade nutricional e a redução do teor de umidade adquirido na etapa anterior (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015). A tostagem inativa enzimas antinutricionais presentes no farelo, como por exemplo, os inibidores de tripsina, de modo que o farelo se torne digerível. A eficiência deste procedimento está relacionada a três fatores: ao tempo de residência que deve ser de aproximadamente 30 minutos, a umidade em torno de 20% em massa e a temperatura de 110 °C na descarga do tostador (CUSTÓDIO, 2003). Segundo Paraíso (2001), o farelo não pode ser tostado em excesso, pois o seu valor nutritivo é reduzido.

Ao final desta operação, duas correntes de produto são geradas no DT: a fase vapor, formada por hexano e água, e a fase líquida, constituída de farelo úmido. Posteriormente, os vapores formados são utilizados como fluido de aquecimento na destilação da miscela, em especial, no primeiro evaporador (CUSTÓDIO, 2003). O farelo, por sua vez, está muito úmido e quente para ser armazenado. Dessa forma, este segue para um secador horizontal rotativo a fim de reduzir o teor de umidade para 11-12% e, em seguida, é enviado para resfriadores de modo a reduzir a temperatura para a ambiente (LOPES, 2008).

Após estes procedimentos, o farelo tostado pode ser comercializado à granel ou ensacado, e se apresentar na forma moída ou peletizada (BRASIL, 1993). A peletização do farelo possui algumas vantagens, dentre as quais melhorar a digestibilidade do alimento e facilitar o transporte, dado que é um produto menos pulverulento que o farelo moído (TAVERNARI et al., 2015).

3.7. Refinação do óleo

O óleo bruto obtido na etapa de destilação da miscela necessita passar por um tratamento de refino para tornar-se apropriado para consumo humano, bem como ser usado na manufatura de outros produtos, por exemplo, margarinas (CUSTÓDIO, 2003). Para tal, o óleo de soja deve estar puro, apresentar-se estável e ser nutritivo, isto é, ser composto essencialmente por triglicerídeos (LOPES, 2008).

Diante disso, o refinamento ou a purificação do óleo, tem como objetivo eliminar impurezas, tais como ácidos graxos livres e fosfatídeos, que estão presentes

naturalmente nos óleos ou que foram formadas no decorrer do processo. A remoção destes compostos é essencial, uma vez que eles aceleram a rancificação e oxidação do produto final (LOPES, 2008). Este procedimento não afeta a composição dos ácidos graxos e glicerídeos, mas remove pigmentos e reduz o teor de nutrientes que estão em menor quantidade no óleo, como por exemplo os tocoferóis, esteróis e os esqualenos (CUSTÓDIO, 2003).

O refinamento do óleo de soja é dividido em degomagem, neutralização, branqueamento ou clarificação e a desodorização. A Figura 3.9 apresenta um fluxograma simplificado deste sistema, mencionando as quatro etapas envolvidas no processo de refino, assim como os insumos necessários e subprodutos obtidos em cada uma destas.

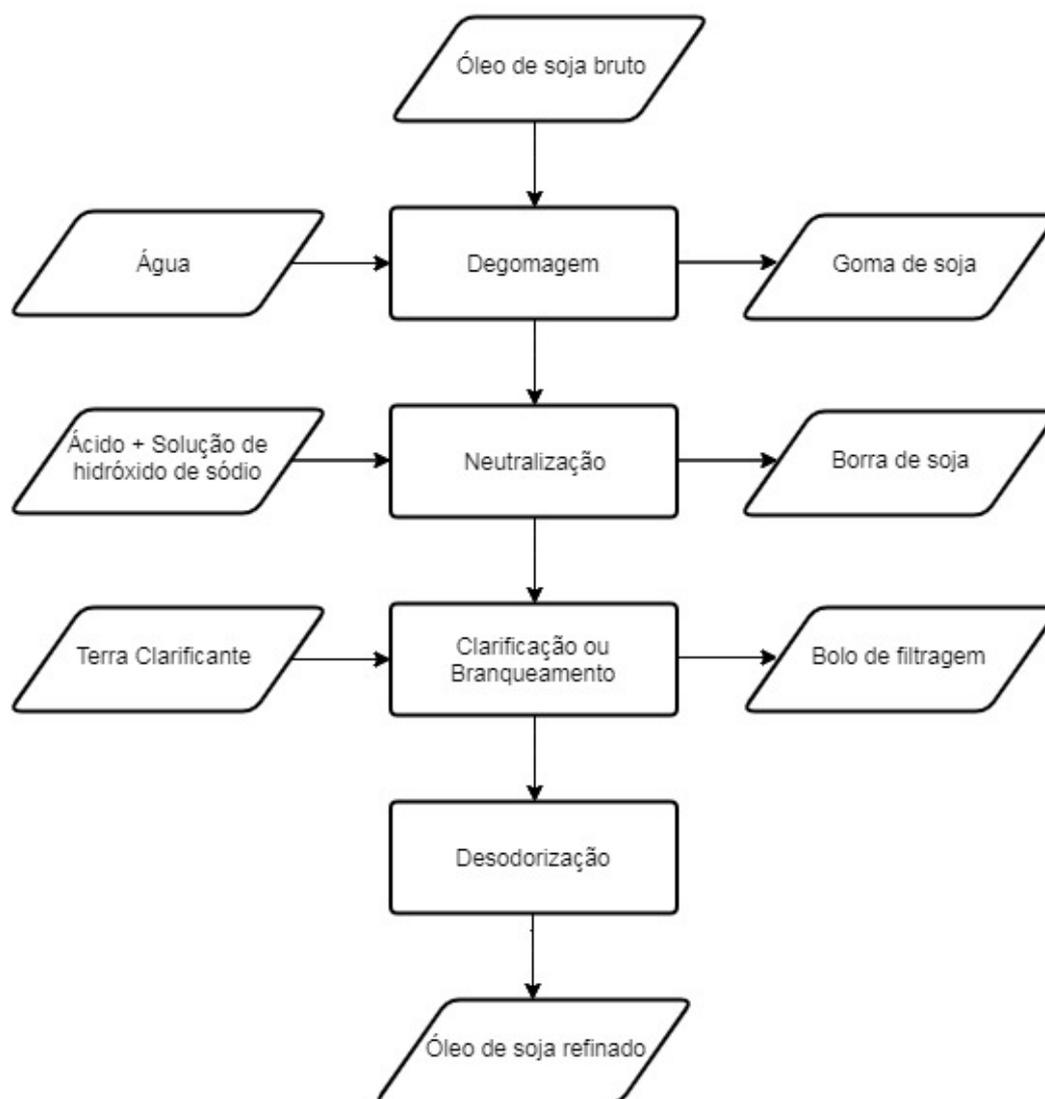


Figura 3.9 – Esquema geral da operação de refino.

Fonte: O autor.

3.7.1. Degomagem

A degomagem corresponde a primeira etapa do tratamento do óleo de soja bruto, cuja finalidade é a remoção de compostos conhecidos por fosfatídeos hidratáveis.

O óleo bruto contém cerca de 3% de fosfatídeos em sua composição (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015), os quais estão divididos em dois tipos: os fosfatídeos hidratáveis (HP) e os não hidratáveis (NHP). Os fosfatídeos hidratáveis representam 90% dos fosfolípidos totais presentes no óleo bruto, e sua remoção torna-se necessária uma vez que estas substâncias podem rancificar o óleo durante o período de armazenamento ou durante o tempo de transporte até uma unidade industrial (LOPES, 2008). Diante disso, o óleo degomado é um produto comercialmente mais viável quando comparado com o óleo bruto.

O método comumente utilizado para remoção de HP é através da hidratação do óleo bruto, em uma proporção de 1 a 3% de água a uma temperatura de 60 a 70 °C. Este processo pode ser realizado sob agitação de 20 a 30 minutos (MORETTO; FETT, 1998) ou de forma contínua, injetando-se água ao óleo (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

Quando o óleo é tratado com água, os fosfatídeos hidratáveis tornam-se insolúveis ao óleo, formando-se um precipitado (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015). Este resíduo é denominado goma, e quando removido do óleo, pode ser convertido em lecitina de soja, um subproduto de valor comercial (LOPES, 2008), ou ser bombeado para uma mistura com o farelo.

A degomagem retira em torno de 70 a 80% dos fosfatídeos (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015), e estes são separados do óleo por meio de centrifugação com velocidade de rotação entre 5000 a 6000 rpm (MORETTO; FETT, 1998). O principal produto obtido ao final desta operação é o óleo degomado.

As gomas extraídas contêm por volta de 50% de umidade, portanto, para comercializá-las, se faz necessário a secagem sob vácuo (aproximadamente 100 mmHg absoluto) à temperatura de 70 a 80 °C. Assim, a composição final da goma transforma-se para aproximadamente 60% de fosfatídeos, 38% de óleo e 2% de umidade (MORETTO; FETT, 1998).

3.7.2. Neutralização

A neutralização representa a segunda etapa de purificação do óleo de soja e por meio desta, obtém-se óleo neutro como produto principal.

Esta etapa tem como objetivo eliminar os fosfatídeos não hidratáveis (NHP) presentes no óleo degomado, neutralizar os ácidos graxos livres, assim como remover proteínas, ácidos graxos oxidados e produtos resultantes da decomposição de glicerídeos (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015). É de extrema importância a remoção das impurezas mencionadas visto que elas prejudicam as etapas subsequentes do processo de refino, podendo, por consequência, alterar a qualidade do produto final (LOPES, 2008).

Os fosfatídeos não hidratáveis (NHP) são sais de ferro, sódio e magnésio do ácido fosfatídico e, somente se tornam insolúveis no óleo por meio de tratamento com um ácido concentrado. Uma vez não removidos, os NHP podem causar escurecimento irreversível no produto final. À vista disso, a primeira parte da etapa de neutralização é a adição de ácido fosfórico ao óleo de soja, pois esta substância tem a função de quebrar as ligações de fósforo com os metais, possibilitando a hidratação dos fosfatídeos não hidratáveis (LOPES, 2008).

A necessidade de neutralizar os ácidos graxos livres (AGL) deve-se ao fato destes compostos provocarem mau cheiro e desprendimento de gases quando aquecidos. Deste modo, a segunda parte da neutralização consiste na conversão dos AGL e do ácido fosfórico utilizado anteriormente em sabões por reação com uma solução alcalina. Para tal fim, utiliza-se hidróxido de sódio (NaOH) diluído com água, na concentração de 10 a 24 °Bé (Baumé). A escolha deste valor depende de alguns fatores, tais como: o tipo de óleo, o conteúdo de ácidos graxos livres no óleo bruto, cor, entre outros (LOPES, 2008).

Existem dois métodos principais de neutralização que podem ser utilizados: o contínuo e o descontínuo. A neutralização descontínua é um processo antigo que ocorre em batelada, porém, devido à demora do processo, é utilizado apenas em indústrias de pequeno porte no Brasil. Atualmente, o processo contínuo é o mais empregado nas indústrias esmagadoras de soja (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015), uma vez que este resulta em menor perda de óleo neutro, e é

cerca de 15 a 20 vezes mais rápido que o processo em batelada (GAROGLIO, 1950). As perdas durante a neutralização são devidas ao arraste de óleo pelo sabão ou pela saponificação do óleo neutro por excesso de solução de hidróxido de sódio (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

Dentre os métodos contínuos, destaca-se o Processo Standard. Este processo consiste inicialmente no aquecimento do óleo até a temperatura de operação. Em seguida, ácido fosfórico na concentração de 85% é adicionado ao óleo a fim de remover deste os fosfatídeos, corantes, cálcio e magnésio. Normalmente, ele é utilizado na base de 0,1 a 0,4% em massa em relação ao óleo, à temperatura média de 40 °C. Esta primeira parte da neutralização ocorre em um misturador de linha de forma a promover uma boa homogeneização destas substâncias (LOPES, 2008).

Logo após, o óleo recebe a adição da solução de soda cáustica em um tanque com agitação e temperatura em aproximadamente 70 °C. Estes compostos reagem formando sabão, um subproduto que também é chamado de borra, a qual é continuamente separada do óleo neutro por centrifugação (MORETTO; FETT, 1998).

Posteriormente, o óleo é enviado à centrífuga lavadora para ser submetido a um ou dois estágios de lavagem, com porções de 10 a 20% de água aquecida, à temperatura de 80 a 90 °C. Este procedimento tem a finalidade de remover o residual de sabão presente no óleo neutro (MORETTO; FETT, 1998). Em seguida, o óleo neutro é encaminhado à etapa de clarificação (DE PAULA, 2001).

3.7.3. Branqueamento ou Clarificação

O branqueamento ou clarificação é a terceira etapa da refinação e resulta na formação de óleo clarificado. Este processo visa basicamente diminuir a concentração de pigmentos que conferem cor ao óleo, como a clorofila e seus derivados (OLIVEIRA, 2001). Ademais, a clarificação pode corrigir eventuais falhas que ocorrem nas etapas precedentes de refino, retirando impurezas como fosfolípidos, sabões, peróxidos (produto de oxidação) e metais (ERICKSON, 1995). A eficiência desta remoção varia com algumas condições, como a temperatura e a composição do óleo (LOPES, 2008).

As impurezas e os pigmentos estão dissolvidos ou suspensos no óleo, e são removidos por meio da adsorção em superfícies de partículas de material adsorvente.

Estes materiais são denominados agentes clarificantes e os comumente utilizados no processo de clarificação são: a terra ativada, a terra neutra, o carvão ativado e a sílica sintética (LOPES, 2008).

Todavia, a terra ativada é o material mais empregado pelas indústrias (MORETTO; FETT, 1998), em razão de sua ação clarificante ser superior comparada à da terra neutra e da sílica sintética (LOPES, 2008). Em relação ao carvão ativado, apesar deste ser eficiente na remoção dos pigmentos, é bem mais caro e retém mais óleo (ERICKSON, 2000).

O processo de clarificação baseia-se inicialmente na secagem do óleo neutro, o qual contém alto teor de umidade, no intuito de evitar reações de oxidação na etapa subsequente de refino. Além disso, o poder clarificante da terra ativada é mais eficaz em meio anidro. Sendo assim, o óleo é seco no clarificador à temperatura de 80 a 90 °C e sob vácuo de 30 mmHg por um período de 30 minutos (LOPES, 2008).

Em seguida, o óleo é conduzido para um tanque com agitação no qual ocorre a mistura com a terra ativada, por meio da sucção deste em quantidades apropriadas, em torno de 1 a 5% em massa. Esta operação ocorre à temperatura de 75 a 95 °C e o tempo de contato deve ser entre 20 a 30 minutos (LOPES, 2008). É importante não exceder este intervalo, pois após este período, verifica-se um escurecimento do óleo devido à oxidação e mínima redução de pigmentos (ZANOTTA, 1999).

Posteriormente, o óleo é resfriado até a faixa de 60 a 70 °C e encaminhado para filtração, cuja etapa ocorre em filtro prensa (MORETTO; FETT, 1998), sendo o tipo placas o mais usado (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015). Em geral, o bolo de filtragem contém de 30 a 50% de óleo (MARTINENGHI, 1950). Portanto, aplica-se ar comprimido para reduzir este teor para 30 a 35% (LOPES, 2008). Após este tratamento, o bolo é normalmente desprezado (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015) e o óleo obtido, o óleo clarificado, é enviado para a etapa de desodorização.

3.7.4. Desodorização

A desodorização é a quarta e última etapa de purificação do óleo, cujo objetivo é fornecer o óleo de soja refinado, produto final do processo de refino.

Para tal, ela é responsável por eliminar substâncias naturais presentes no óleo ou as desenvolvidas durante a armazenagem e processamento dos grãos, que provocam odor e sabor indesejável ao óleo quando aquecido (LOPES, 2008). Dentre estes compostos, encontram-se: os ácidos graxos livres e oxidados, peróxidos, produtos de oxidação do óleo, cetonas, aldeídos, terpenos, pigmentos naturais (CERIANI, 2005), produtos de decomposição de proteínas, carotenóides, esteróis, fosfatídeos, hidrocarbonetos insaturados e ácidos graxos de cadeia curta e média (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015). Junto a este grupo, inevitavelmente, os tocoferóis são eliminados por arraste (CERIANI, 2005). A presença desta substância no óleo não é prejudicial, visto que é considerada um antioxidante natural (LOPES, 2008).

A remoção das impurezas mencionadas acima se dá por meio da operação unitária de destilação, onde as substâncias voláteis se separam do óleo não volátil. Geralmente, estes compostos são poucos voláteis, porém, a pressão de vapor destes é bem superior àquela do ácido oleico ou esteárico (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

A operação de destilação baseia-se na combinação de temperatura elevada e alto vácuo, de modo a acelerar o processo, impedir a oxidação e a hidrólise do óleo, reduzir o consumo de vapor direto, assim como o tempo de desodorização (LOPES, 2008).

A desodorização pode ser efetuada em batelada, de forma contínua ou semicontínua (LOPES, 2008), sendo esta última a mais utilizada pelas indústrias de médio e grande porte (MORETTO; FETT, 1998). Dentre os semicontínuos, destacam-se o tipo Girdler (LOPES, 2008). A Figura 3.10 apresenta este aparelho.

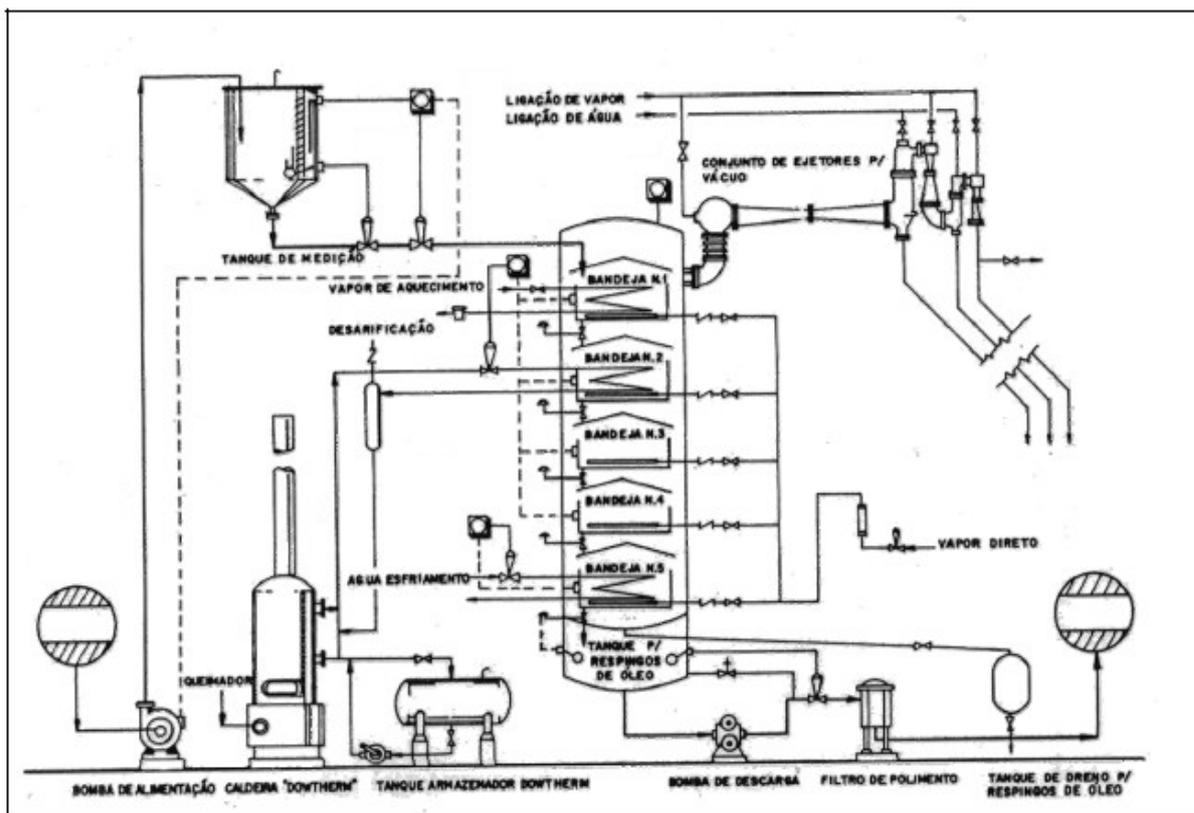


Figura 3.10 – Desodorizador Semicontínuo - Tipo Girdler.

Fonte: MORETTO; FETT, 1998.

O equipamento tipo Girdler é um desodorizador constituído de uma torre cilíndrica de aço carbono, onde internamente estão dispostos, em geral, cinco bandejas de aço inoxidável. Além disso, ele possui um sistema de vácuo cuja pressão está em torno de 6 mmHg (LOPES, 2008). O vácuo pode ser produzido por ejetores, bombas mecânicas ou uma combinação de ambos (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

Seu funcionamento se processa da seguinte maneira: O primeiro estágio é carregado com óleo até a superfície da bandeja, e este é submetido a um aquecimento de 180 °C com vapor d'água de média pressão para desaeração. Após um tempo de retenção previamente determinado, de aproximadamente 30 minutos, a carga é descarregada para o estágio inferior, através de sistema de válvulas localizadas no fundo da bandeja. No segundo estágio, o óleo é aquecido até a temperatura de 260 °C mediante insuflação de vapor direto. Do terceiro ao quinto estágio, ocorre a destilação do óleo na temperatura acima estabelecida, sendo que no último estágio o óleo é resfriado até a faixa de 40 a 45 °C, temperatura adequada para filtração (LOPES, 2008). Em seguida, o óleo desodorizado é enviado para o tanque de

armazenamento, no qual recebe nitrogênio, no intuito de protegê-lo contra à oxidação provocada pelo ar (DE PAULA, 2001). Posteriormente, o óleo armazenado pode ser comercializado à granel ou envasado.

O óleo de soja refinado destinado ao consumo humano é, em geral, acondicionado em embalagens de polietileno tereftalato (PET), apresentando prazo de validade de aproximadamente seis meses. O PET é um tipo de embalagem atrativa às indústrias em virtude deste material atender alguns requisitos, tais como: ser de fácil reciclagem, possuir resistência térmica e boas propriedades mecânicas, possibilitar o uso de bicos dosadores, ter baixo custo de produção, e ser transparente, permitindo ao consumidor visualizar o produto (VICARI, 2013).

Capítulo 4

SUBPRODUTOS OBTIDOS DO PROCESSAMENTO DA SOJA

No decorrer do processo de industrialização do grão de soja são gerados alguns resíduos de baixo valor econômico. Contudo, eles despertam o interesse como matérias-primas (WOERFEL, 1981) pois, uma vez processados, tornam-se produtos de alto valor comercial (AUGUSTO, 1988).

4.1. Casca de soja

Ao longo do processo de preparação do grão de soja para a etapa de extração, obtém-se como subproduto a sua casca. Estima-se que para cada 100 kg de soja processada resultam em torno de 8 kg de casca de soja (MULRHEAD, 1993).

A casca é constituída principalmente por fibras (69,2%), porém a digestibilidade destas podem alcançar até 95%, em virtude dos baixos teores de lignina e sílica e altas concentrações de celulose e pectina (THIAGO, 2003). Além das fibras, a casca também apresenta em sua composição 12% de proteínas. Do ponto de vista nutricional, ela é considerada um suplemento energético, atingindo até 80% do valor energético do grão de milho (SILVA, 2004).

Embora seu uso seja restrito para monogástricos, em razão do seu alto teor de fibras, a casca de soja é apropriada para alimentação de ruminantes, uma vez que é capaz de substituir grãos de milho e sorgo. Além de suas características nutricionais, este produto também é atraente como alimento alternativo devido aos custos relativamente inferiores aos alimentos tradicionais (SILVA, 2004).

A casca de soja pode ser comercializada na forma moída ou peletizada. A peletização é uma alternativa para minimizar o problema de baixa densidade da casca na forma farelada. Devido à sua consistência e maior massa específica, a casca peletizada contribui para redução de custos com transporte e distribuição do alimento (MEDEIROS, 2004).

4.2. Lecitina de soja

A degomagem corresponde pela etapa de obtenção da lecitina, ou também denominada goma de soja. Este produto é constituído basicamente por um conjunto de fosfolipídeos (65%), como o fosfatidilcolina (maior componente), fosfatidilinositol e fosfatidiletanolamina. Além disso, a goma pode conter ácidos fosfatídicos livres, ácidos graxos livres, triglicerídeos do óleo, clorofilas, carotenóides, tocoferóis, proteínas de baixo peso molecular e açúcares simples (CASTEJON, 2015).

A lecitina obtida do processo de refino possui alto teor de umidade, em aproximadamente 50%. Dessa forma, as gomas úmidas necessitam ser submetidas ao processo de secagem, de forma a evitar a fermentação microbiana. Para tal, elas são secas até obter no máximo 1% de umidade (DORSA, 2004). Após esta etapa, a lecitina passa pelos processos de padronização, clarificação e filtração para se tornar um produto comercial.

Existem vários tipos de lecitinas com características físico-químicas e reológicas diferentes a depender da finalidade de uso ou aplicação industrial. Normalmente, ela é classificada como emulsificador lipofílico, estabilizante e espessante em diversos alimentos, tais como: margarinas, biscoitos, chocolates, coberturas, caramelos, leite em pó, café solúvel, em bolachas recheadas, pães, suplementos dietéticos e até em rações animais (CASTEJON, 2015).

4.3. Borra de soja

A etapa de neutralização pertencente ao refinamento do óleo de soja gera como resíduos os sabões, também denominado de borra. Este subproduto consiste em uma emulsão oleosa, a qual é formada por uma mistura de água, ácidos graxos saponificados, fosfatídeos, triglicerídeos, pigmentos e outros compostos em menor quantidade (PARK et al., 2008).

Geralmente, o volume de borra formado é em torno 6% do volume de óleo bruto processado (PARK et al., 2008). Se eficientemente recuperado, torna-se um produto valioso, podendo se converter em ácido graxo ou sabões em pó ou em barra (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

A borra produzida na refinação contém cerca de 50% de água. Dessa forma, ela é

enviada para instalações de acidulação para remover a fase aquosa do produto, no intuito de torná-lo concentrado em ácidos graxos livres. Para tanto, adiciona-se ácido sulfúrico à borra e obtém-se desta mistura três fases: água, matéria graxa (rica em água) e borra acidulada. Normalmente, a borra concentrada é constituída de mais de 60% de ácidos graxos livres e o restante por glicerídeos e substâncias não graxas (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

Os ácidos graxos de soja obtidos a partir da acidulação da borra é uma matéria-prima de grande interesse industrial pois é uma fonte de ácidos graxos de custo menos elevado.

4.4. Destilado de soja

A etapa de desodorização da refinação do óleo tem a finalidade de remover os componentes voláteis que conferem sabores e odores desagradáveis ao produto. Contudo, inevitavelmente, também se retira os tocoferóis, produzindo um valioso destilado (VERLEYEN et al., 2001).

Devido ao grande volume de óleo produzido no Brasil, a quantidade obtida de destilado é grande. Estima-se que seja gerado entre 0,1 a 0,3 kg de tocoferóis a cada tonelada de óleo de soja produzido (BENITES, 2008).

Os tocoferóis representam a vitamina E presente no óleo de soja. Eles são extremamente importantes em razão de sua ação antioxidante em seres vivos, protegendo os lipídios insaturados presentes nas membranas celulares contra a oxidação (AZZI, 2004). Além disso, essa substância é um importante aditivo antioxidante nas indústrias de alimentos, farmacêuticas e cosméticas (CUSTÓDIO, 2003).

O destilado de soja é considerado uma importante fonte de tocoferóis, uma vez que estes estão presentes em uma concentração de aproximadamente 10%. Em comparação, os tocoferóis representam apenas 0,1% da composição do óleo de soja. Além desta vantagem, o destilado é uma matéria-prima disponível no mercado nacional e de baixo custo (LAMPI et al., 2002). A sua utilização e seu valor comercial varia em função da composição química do destilado (DE GREYT; KELLENS, 2000).

Capítulo 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permite verificar a importância da cultura de soja para a economia do país. Este produto abastece o mercado interno principalmente com óleo comestível e farelo na produção de ração de suínos e aves, além de contribuir fortemente para a geração de divisas via exportação.

A cultura de soja no Brasil se destaca no cenário nacional e mundial, uma vez que o país é o segundo maior produtor do grão do mundo. Isto significa que este grão é um dos principais produtos responsáveis pelo crescimento do agronegócio no país.

Em âmbito nacional, a produção de soja possivelmente manterá seu constante crescimento, devido à ampla disponibilidade de terras e condições climáticas favoráveis do país. Adicionalmente, esta cultura tem o suporte de instituições brasileiras que desenvolvem estudos e tecnologias visando criação de grãos transgênicos, no intuito de buscar o aumento de produtividade do país.

No ambiente internacional, a soja e seus derivados destacam-se no comércio exterior. De acordo com as informações apresentados neste trabalho, estima-se que, em 2018, foram exportados aproximadamente 67%, 50% e 16% do volume total produzido de grão, farelo e óleo de soja, respectivamente. O montante total exportado em dólares americanos destes produtos foi cerca de U\$ 41 bilhões. Estes dados representam um contexto mundial favorável ao Brasil.

Diante da relevância que o complexo soja têm no contexto nacional e internacional, torna-se necessário compreender os processos envolvidos para a obtenção destes produtos. No entanto, há uma carência muito grande de trabalhos mais abrangentes abordando este tema. O desenvolvimento de estudos acerca da industrialização da soja possibilita melhores condições de operação para as empresas de processamento de soja no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIOVE. Pesquisa de capacidade instalada da indústria de óleos vegetais – 2018. 21 de dezembro de 2018. Disponível em: <<http://abiove.org.br/estatisticas/pesquisa-de-capacidade-instalada-da-industria-de-oleos-vegetais-2018/>>. Acesso em: 1 de dezembro de 2019.

ABIOVE. Estatística mensal do complexo soja. 02 de outubro de 2019. Disponível em: <<http://abiove.org.br/estatisticas/estatistica-mensal-do-complexo-soja/>>. Acesso em: 1 de dezembro de 2019.

AMARAL, D. F. **Soja e biodiesel no Brasil: conjuntura e perspectivas VII.** 2019. Trabalho apresentado no Congresso da Rede Brasileira de Tecnologia e Inovação de Biodiesel, Florianópolis, 2019. Disponível em: <<http://abiove.org.br/wp-content/uploads/2019/11/46.-Congresso-do-Biodiesel.pdf>>. Acesso: 6 de dezembro de 2019.

AUGUSTO, M. M. M. **Obtenção e caracterização de um concentrado de tocoferóis (vitamina E) a partir do destilado da desodorização do óleo de soja.** 1988. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1988.

AZZI, A. The role of α -tocoferol in preventing disease. **European Journal of Nutrition**, Darmstadt, v. 43, supplement 1, p. 18-25, 2004.

BENITES, C. I. **Destilado da Desodorização do Óleo de Soja como Suplemento de Vitamina E.** 2008. 168 f. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2008. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/256263/1/Benites_CibelemIri_barrem_D.pdf>. Acesso em: 15 de novembro de 2019.

BORDINGNON, J. R.; MANDARINO, J. M. G. **Soja: composição química, valor nutricional e sabor.** Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1994. 31 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Portaria nº. 795, de 15 de dezembro de 1993. Aprova as normas de identidade, qualidade, embalagem, marcação e apresentação do farelo de soja. Diário Oficial da União de 29 de dezembro de 1993. Disponível em: <http://www.codapar.pr.gov.br/arquivos/File/pdf/farelosoja795_93.pdf>. Acesso em: 11 de dezembro de 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 49, de 22 de dezembro de 2006. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade dos Óleos Vegetais Refinados; a Amostragem; os Procedimentos Complementares; e o Roteiro de Classificação de Óleos Vegetais Refinados. Diário Oficial da União de 26 de dezembro de 2006. Brasília. Disponível em: <https://www.normasbrasil.com.br/norma/instrucao-normativa-49-2006_76051.html>. Acesso em: 10 de dezembro de 2019.

<<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/81992/187356.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 7 de novembro de 2019.

DO PRADO, R. **Avaliação comparativa entre a extração do óleo de soja com hexano e com álcool anidro e as diferenças físico-químicas no farelo**. 2014. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2014.

DORSA, R. **Tecnologia de óleos vegetais**. São Paulo: Westfalia Separator do Brasil, 2004.

EMBRAPA. História da soja. 2014a. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/historia>>. Acesso em: 15 de novembro de 2019.

EMBRAPA. Multimídia: Banco de imagens. 2014b. il. color. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-imagens/-/midia/1299001/diagnostico-completo-da-qualidade-da-semente-de-soja-diacom>>. Acesso em: 13 de dezembro de 2019.

EMBRAPA. A evolução da soja no Brasil. 21 de junho de 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/conteudo-web/-/asset_publisher/fHv2QS3tL8Qs/content/evolucao-da-soja-no-brasil/1355202?_101_INSTANCE_fHv2QS3tL8Qs_redirect=%2Fbusca-geral%3Fp_auth%3DuV5cpkT3%26p_p_id%3Dbuscageral_WAR_pcebusca6_1portlet%26p_p_lifecycle%3D1%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1%26_buscageral_WAR_pcebusca6_1portlet_javax.portlet.action%3Dbuscar%26_buscageral_WAR_pcebusca6_1portlet_delta%3D10>. Acesso em: 10 de dezembro de 2019.

EMBRAPA. Produção agropecuária. 19 de fevereiro de 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/macrologistica/producao-agropecuaria>>. Acesso em: 5 de dezembro de 2019.

EMBRAPA. Soja em números (safra 2018/19). Junho de 2019. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 15 de novembro de 2019.

ERICKSON, D. R. **Practical handbook of soybean processing and utilization**. Champaign, Illinois: AOCS Press, 1995. 564 p.

ERICKSON, D. R. **Optimum and adjusted refining practices for soybean oil**. AOCS Meeting Presentation. 2000.

FUNDAÇÃO CARGILL. Soja: uma caminhada sem fim. CCD. Brasil, 2009.

GARCIA, D. C.; BARROS, A. C. S. A.; PESKE, S. T.; MENEZES, N. L. **A secagem de sementes**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 34, n. 2, p. 603-608. 2004.

GAROGLIO, P. G. **Tecnología de los aceites vegetales – generalidades y tecnología de los aceites y grasas vegetales**. v.I. Ministerio de Educación.

Universidad Nacional de Cuyo. 1950.

GUPTA, M. K. **Practical Guide for Vegetable Oil Processing**. Urbana, Ill.: AOCS Press, 2008. 490 p.

INSTITUTE OF MEDICINE. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. Washington, DC: The National Academies Press, 2005.

KAGAWA, A. **Standard table of food composition in Japan**. Tokyo: University of Nutrition for women, 1995. p. 104-105.

KEMPER, T. G. **Oil extraction**. In: F. Shahidi (editor), *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*. New Jersey: John Wiley and Sons, 2005. p. 46-70.

LAMPI, A. M.; KAMAL-ELDIN, A.; PIIRONEN, V. **Tocopherols and tocotrienols from oil and cereal grains, LLC**. In: SHI, J.; MAZZA, G.; MAGUER, M.L. ed. *Functional Foods, Biochemical and Processing Aspects*. Boca Raton: CRC Press, Chapter 1, 2002. 432 p.

LOPES, K. S. **Avaliação da etapa de clarificação do óleo de soja através de planejamento composto central e investigação do potencial de melhoria energética no processamento da soja**. 2008. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Térmicos e Químicos) - Curso de Pós-Graduação em Engenharias (PIPE), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/17173/DISSERTACAO_KEILA_LOPES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 de novembro de 2019.

MANDARINO, J. M. G.; HIRAKURI M. H.; ROESSING, A. C. **Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos**. 2. ed. Londrina: Documentos Embrapa Soja, 2015. 43 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126080/1/Doc171-OL.pdf>>. Acesso em: 7 de novembro de 2019.

MARTINENGI, G. B. **Química y Tecnología de los Aceites, Grasas y Derivados**. Barcelona. 1950.

MEDEIROS, S. R. Casca de soja na ração. **Revista Cultivar Bovinos**, n. 10, p. 14-17, agosto 2004. Disponível em: <https://www.grupocultivar.com.br/ativemanager/uploads/arquivos/artigos/bovinos10_cascadesoja.pdf>. Acesso em: 3 de dezembro de 2019.

MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1981. 1062 p.

MORETTO, E.; FETT, R. **Óleos e Gorduras Vegetais - Processamento e Análises**. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 1998. 153 p.

MULRHEAD, S. **Soyhulls are acceptable alternative to forage fiber in dairy cows diets**. *Feedstuffs*, v. 655, n. 46, p.12, 1993.

OLIVEIRA, C. G. **Proposta de modelagem para a clarificação de óleos vegetais**

experimentos cinéticos e simulação do processo indústria. 2001. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/81983/211676.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 de novembro de 2019.

PARAÍSO, P. R. **Modelagem e análise do processo de obtenção do óleo de soja.** 2001. 200 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

PARK, J.; KIM, D.; WANG, Z.; LEE, J.; PARK, S. **Production of biodiesel from soapstock using an ion-exchange resin catalyst.** Korean J. Chem. Eng., v. 25, n. 6, p. 1350-1354, 2008.

PEREIRA, M. A. **Cadeia produtiva do farelo de soja: um enfoque na produção nacional.** 2015. 19 f. Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2015. Disponível em: <<http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/MARCO%20ANTONIO%20-%20CADEIA%20PRODUTIVA%20DO%20FARELO%20DE%20SOJA%20Um%20enfoque%20na%20producao%20nacional.pdf>>. Acesso em: 7 de novembro de 2019.

PIERGIOVANNI, L.; LIMBO, S. **Packaging and shelf life of vegetable oils.** In: Robertson GL (edn), Food Packaging and Shelf Life: a practical guide, Taylor & Francis. 17:318-334. 2010.

ROST, P. T. **Projetos empresariais projeto de viabilidade econômico-financeira de implantação de uma indústria para extração de óleo e farelo de soja.** 2013. 99 f. Projeto de Conclusão de Curso de Pós-Graduação em Projetos Empresariais do Curso de Ciências Econômicas do Setor de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/50064/R%20-%20E%20-%20PATRICIA%20TRENTO%20ROST.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 15 de novembro de 2019.

SANTOS, C. S. **Processamento da soja (*Glycine max (L.) Merrill*): Um enfoque na qualidade de fabricação do óleo comestível.** 2015. 16 f. Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2015. Disponível em: <[http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/CLEITON%20-%20PROCESSAMENTO%20DA%20SOJA%20\(Glycine%20max%20\(L\)%20Merrill\)%20Um%20enfoque%20na%20qualidade%20de%20fabricacao%20do%20oleo%20comestivel.pdf](http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/CLEITON%20-%20PROCESSAMENTO%20DA%20SOJA%20(Glycine%20max%20(L)%20Merrill)%20Um%20enfoque%20na%20qualidade%20de%20fabricacao%20do%20oleo%20comestivel.pdf)>. Acesso em: 7 de novembro de 2019.

SILVA, B. A. N. A casca de soja e sua utilização na alimentação animal. **Revista Eletrônica Nutritime**, v.1, n°1, p. 59-68, julho/agosto 2004. Disponível em: <https://www.nutritime.com.br/arquivos_internos/artigos/008V1N1P59_68_JUL2004.pdf>. Acesso em: 12 de dezembro de 2019.

TAVERNARI, F. C.; LIMA, G. J. M. M.; SOUZA, S. R.; MANZKE, N. E. **Glicerina bruta como aditivo aglutinante em peletes de farelo de soja.** Concórdia: Documentos Embrapa Soja, 2015. 3 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/141093/1/final8016.pdf>>.

Acesso em: 9 de dezembro de 2019.

THIAGO, L. R. L. S.; SILVA, J. M. **Soja na alimentação de bovinos**. Campo Grande, MS Dezembro, 2003.

USDA. Production, supply and distribution. 2019. Disponível em: <<https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/home>> Acesso em: 1 de dezembro de 2019.

VERLEYEN, T.; VERHE, R.; GARCIA, L.; DEWETTINCK, K.; HUYGHEBAERT, A.; DE GREYT, W. Gas chromatographic characterization of vegetable oil deodorization distillate. **Journal of Chromatography A**, Amsterdam, v. 921, p. 277-285, 2001.

VICARI, J. S. O. **Qualidade de óleo de soja refinado embalado em PET (Polietileno Tereftalato) armazenado na presença e ausência de luz**. 2013. 68 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2013. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/80913/1/dissertacao-jaice-final.pdf>>. Acesso em: 1 de dezembro de 2019.

WOERFEL, J. B. Processing and utilization of by-products from soy oil processing. **Journal of the American Oil Chemists' Society**. Chicago, v. 58, n. 3, p. 188-191. Mar, 1981.

ZANOTTA, P. A. **Ensaio cinéticos de clarificação do óleo de soja**. 1999. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/81380>>. Acesso em: 10 de novembro de 2019.