

Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos

2ª Edição



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

Documentos 171

Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos

2ª edição

*José Marcos Gontijo Mandarino
Marcelo Hiroshi Hirakuri
Antonio Carlos Roessing (in memoriam)*
Autores

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja

Rodovia Carlos João Strass, acesso Orlando Amaral, Distrito de Warta

Caixa Postal 231, CEP 86001-970, Londrina, PR

Fone: (43) 3371 6000

Fax: (43) 3371 6100

www.embrapa.br/soja

<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

Comitê de Publicações da Embrapa Soja

Presidente: *Ricardo Vilela Abdelnoor*

Secretário-Executivo: *Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

Membros: *Adeney de Freitas Bueno, Adônis Moreira, Alvadi Antonio Balbinot Junior, Claudio Guilherme Portela de Carvalho, Fernando Augusto Henning, Eliseu Binneck, Liliâne Márcia Mertz Henning e Norman Neumaier.*

Supervisão editorial: *Vanessa Fuzinatto Dall'Agnol*

Normalização bibliográfica: *Ademir Benedito Alves de Lima*

Editoração eletrônica: *Thais Cavalari Rosa e Marisa Yuri Horikawa*

Capa: *Marisa Yuri Horikawa*

Foto da capa: *Adair Vicente Carneiro*

2ª edição

On-line: (2015)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Soja**

Mandarino, José Marcos Gontijo

Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos [recurso eletrônico]: / José Marcos Gontijo Mandarino, Marcelo Hiroshi Hirakuri, Antônio Carlos Roessing. 2.ed. – Londrina: Embrapa Soja, 2015.

41 p. . : il. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n.171)

1. Soja-Óleo. 2.Tecnologia de alimento. 3.Óleo vegetal. I.Hirakuri, Marcelo Hiroshi. II.Roessing, Antônio Carlos. II.Título. III.Série.

CDD 664.368

Autores

José Marcos Gontijo Mandarino

Farmacêutico-Bioquímico, M.Sc.

Pesquisador da Embrapa Soja

Londrina, PR

josemarcos.gontijo@embrapa.br

Marcelo Hiroshi Hirakuri

Cientista da Computação e Administrador, M.Sc.

Pesquisador da Embrapa Soja

Londrina, PR

marcelo.hirakuri@embrapa.br

Antonio Carlos Roessing

(in memoriam)

Apresentação

É impossível cobrir, num só texto, todos os tópicos necessários ao bom domínio de um tema como os processos tecnológicos para a industrialização da soja. Por essa razão, o objetivo deste documento se resume numa descrição sucinta das principais etapas do processamento da soja e dos equipamentos necessários para tal.

O documento é endereçado principalmente a técnicos envolvidos com a cadeia agroindustrial da soja, estudantes, profissionais da Assistência Técnica, oficial e privada e profissionais liberais em geral que atuam na área agrícola.

Este texto procura informar, da maneira mais didática possível, os diversos aspectos do processamento da soja, incluindo custos atualizados, até o consumidor final.

Espera-se, dessa maneira, estar contribuindo para o avanço da Pesquisa e Desenvolvimento desse produto tão importante na economia nacional.

Ricardo Vilela Abdelnoor

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Soja

Sumário

Introdução	9
1. Armazenamento	9
2. Preparação	10
2.1. Pré-limpeza.....	10
2.2. Descascamento.....	10
2.3. Condicionamento	11
2.4. Trituração e laminação	11
2.5. Cozimento.....	11
3. Extração do Óleo Bruto	12
3.1. Prensagem mecânica	13
3.2. Extração com solvente orgânico	13
3.3. Extração semicontínua	14
3.4. Extração contínua	15
3.5. Destilação da miscela	17
3.6. Dessolventização e tostagem do farelo.....	17
3.7. Recuperação do solvente.....	18
4. Processo de refinação do óleo bruto	19
4.1. Degomagem	19
4.2. Neutralização	21
4.2.1. Neutralização descontínua	22
4.2.2. Neutralização contínua.....	23
4.2.3. Neutralização pelo método “Zenith”	23
4.2.4. Rendimento da neutralização	24
4.3. Branqueamento	25
4.4. Desodorização	27

5. Aproveitamento da “borra”	30
6. Refinação física.....	30
7. Hidrogenação.....	33
7.1. Hidrogenação descontínua.....	33
7.2. Hidrogenação contínua.....	34
8. Custo de processamento de produtos derivados da soja: farelo e óleo	35
Referências	40

Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos produtiva da soja no Brasil

José Marcos Gontijo Mandarinó, Marcelo Hiroshi Hirakuri, Antonio Carlos Roessing

Introdução

O processo de industrialização da soja, de maneira geral, divide-se em duas etapas principais: a produção de óleo bruto, tendo como resíduo o farelo, e o refino do óleo bruto produzido.

A obtenção do óleo bruto e do farelo ocorre em três etapas:

- 1) Armazenamento dos grãos;
- 2) Preparação dos grãos;
- 3) Extração do óleo bruto.

1. Armazenamento

No período que antecede o processo da produção do óleo bruto e do farelo, deve-se salientar a importância das condições do armazenamento da soja, pois incidem diretamente no rendimento e na qualidade do produto final. Quando as sementes oleaginosas são armazenadas em más condições, podem ocorrer problemas, tais como: aquecimento da semente, chegando até a carbonização, caso esteja com umidade acima da crítica (13%); aumento de acidez; escurecimento do óleo contido na semente, tornando difícil a refinação e a clarificação; alterações sensoriais, influenciando no sabor e no aroma dos farelos e óleos produzidos, e modificações estruturais, como a diminuição do índice de iodo após armazenamento prolongado da semente de soja.

2. Preparação

2.1. Pré-limpeza

Os grãos colhidos nos campos de produção ou armazenados nos centros de distribuição são transportados por via rodoviária, ferroviária ou hidroviária até as indústrias de esmagamento.

Na matéria-prima recebida, são avaliados por amostragem: o teor de umidade, a quantidade de material estranho e a incidência de grãos quebrados, avariados e ardidos. Muitas impurezas, frequentemente, se misturam aos grãos. A eliminação da sujidade mais grossa antes do armazenamento na indústria é denominada pré-limpeza.

É realizada por máquinas especiais, dotadas de peneiras vibratórias ou de outro dispositivo, que separam os grãos dos contaminantes maiores. A pré-limpeza, antes do armazenamento, diminui os riscos de deterioração e reduz o uso indevido de espaço útil do silo.

2.2. Descascamento

Os grãos limpos, dos quais se deseja separar os cotilédones (polpas) dos tegumentos (cascas), não devem sofrer compressão durante o descascamento, pois nesse caso, parte do óleo passaria para a casca e se perderia, uma vez que as cascas, normalmente, são queimadas nas caldeiras destinadas à geração de calor ou vapor nas indústrias. Os descascadores são máquinas relativamente simples, onde as cascas são quebradas por batedores ou facas giratórias e são separadas dos cotilédones por peneiras vibratórias e insuflação de ar.

2.3. Condicionamento

Após o descascamento, os cotilédones (agora separados em duas metades) sofrem um aquecimento entre 55 °C e 60 °C.

2.4. Trituração e laminação

A extração de óleo dos grãos é facilitada pelo rompimento dos tecidos e das paredes das células. A operação de trituração e laminação diminui a distância entre o centro do grão e sua superfície e, assim, a área de saída do óleo é aumentada.

A trituração e a laminação são realizadas por meio de rolos de aço inoxidável horizontais ou oblíquos. Os flocos (lâminas ou flakes) obtidos possuem uma espessura de dois a quatro décimos de milímetro, com um a dois centímetros de superfície.

A desintegração dos grãos ativa as enzimas celulares, especialmente a lipase e a peroxidase, o que tem um efeito negativo sobre a qualidade do óleo e da torta ou farelo. Portanto, a trituração dos cotilédones e a laminação das pequenas partículas obtidas devem ser efetuadas o mais rápido possível.

2.5. Cozimento

O processo de cozimento visa o rompimento das paredes celulares para facilitar a saída do óleo. O cozimento se processa em equipamentos denominados “cozedores”, constituídos de quatro ou cinco bandejas sobrepostas, aquecidas a vapor. O aquecimento pode ser indireto, quando é feito na camisa de vapor do cozedor, ou direto, que se dá com a introdução direta de vapor no interior do mesmo, o que, além de umedecer o material, possibilita uma rápida elevação da temperatura. Nesse processo, a temperatura e a umidade dos flocos são elevadas de 70 °C a 105 °C e 20%, respectivamente.

O aumento da umidade dos flocos, o rompimento das paredes celulares e o subsequente aumento na permeabilidade das membranas celulares, facilitam a saída do óleo, diminuindo sua viscosidade e sua tensão superficial, o que permite a aglomeração das gotículas de óleo e sua subsequente extração.

O cozimento coagula e desnatura parcialmente as proteínas e inativa enzimas lipolíticas, o que diminui a produção de ácidos graxos livres e o conteúdo de compostos de enxofre. O cozimento também diminui a afinidade do óleo pelas partículas sólidas do grão.

Na última bandeja, a mais baixa, os flocos são submetidos à secagem, que será seguida de processamento nas prensas contínuas, quando for o caso.

3. Extração do óleo bruto

Nas plantas de indústrias esmagadoras mais antigas, o óleo é parcialmente extraído por meio mecânico em prensas contínuas ou “expellers”, seguido de uma extração com solvente orgânico. O material que deixa a prensa é a torta, a qual é submetida à ação do solvente orgânico, que dissolve o óleo residual da torta, deixando-a praticamente sem óleo. O solvente é recuperado e o óleo separado do solvente é misturado ao óleo bruto que foi retirado na prensagem. Essa mistura dos dois óleos é submetida a uma filtração, para eliminar mecanicamente suas impurezas, que são partículas arrastadas dos cotilédones dos grãos. A torta ou farelo extraído, contendo menos de 1% de óleo, é submetido a uma moagem e, em seguida, é armazenado em silos ou ensacado.

Nos processos mais modernos, os flocos são introduzidos diretamente nos extratores e o óleo é extraído diretamente com o solvente orgânico.

3.1. Prensagem mecânica

A prensagem mecânica é realizada em prensas contínuas, onde ocorre a remoção parcial do óleo, seguida pela extração com o solvente orgânico, constituindo o chamado “processo misto”.

Os grãos entram na prensa ou “expeller” (Figura 1) por meio de um eixo alimentador. A prensa consiste de um cesto formado de barras de aço retangulares distanciadas por meio de lâminas. O espaçamento das barras é regulado para permitir a saída do óleo e, ao mesmo tempo, atuar como filtro para as partículas do resíduo da prensagem (torta). No centro do cesto, gira uma rosca que movimenta o material para frente, comprimindo-o ao mesmo tempo. A pressão é regulada por meio de um cone na saída e pode alcançar centenas de atmosferas por cm^2 .

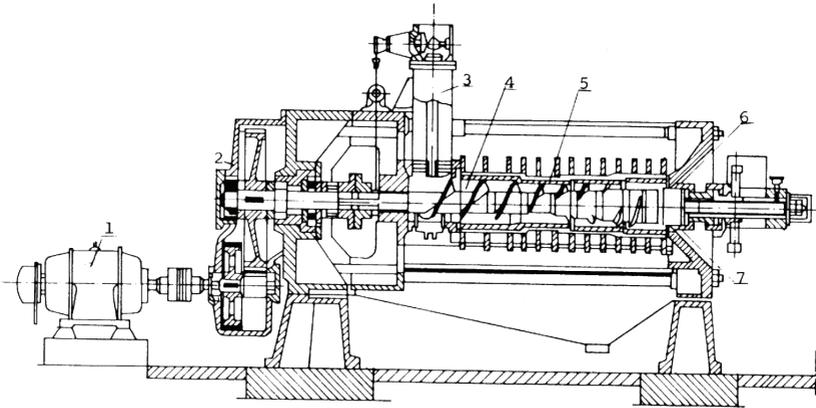


Figura 1. Prensa contínua “Expeller”: 1- Motor elétrico, 2- Redutor, 3- Entrada dos grãos condicionados, 4- Rosca helicoidal, 5- Cesto, 6- Cone de saída, 7- Saída do farelo ou torta

3.2. Extração com solvente orgânico

Nesse processo, o óleo é obtido por meio de extração com solvente químico orgânico. O solvente utilizado atualmente é o hexano, com ponto de ebulição próximo de $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Os flocos laminados são introduzidos no extrator e o óleo aparece no material submetido à extração de duas formas: na forma de uma camada ao redor das partículas laminadas, que é recuperado por processo de simples dissolução; ou contido nas células intactas, sendo removido do interior destas por difusão.

O processo de extração por dissolução é rápido e fácil, e o por difusão", mais demorado, dependente da mistura de óleo e solvente através da parede celular semipermeável. Assim, durante a extração, a velocidade do desengorduramento dos grãos laminados é, no começo, muito rápida, decrescendo com o decurso do processo. Na prática, não ocorre extração completa. O menor conteúdo de óleo no farelo após a extração gira em torno de 0,5% a 0,6%.

A solução do óleo no solvente é chamada "miscela" e o fator que define a velocidade de extração é a obtenção do equilíbrio no sistema óleo-miscela- solvente. As principais condições que facilitam o processo de difusão são a espessura dos flocos resultantes da laminação, a temperatura próxima ao ponto de ebulição do solvente a 70 °C, e a umidade apropriada do material.

O hexano satisfaz uma série de exigências de um solvente apropriado: dissolve com facilidade o óleo, sem agir sobre outros componentes dos grãos; possui composição homogênea e estreita faixa de temperatura de ebulição; é imiscível em água, com a qual não forma azeótropos; e tem baixo calor latente de ebulição. Contudo, apresenta algumas desvantagens, tais como a alta inflamabilidade e, atualmente, o alto custo. Portanto, o uso de outros solventes, como o etanol, pode oferecer uma possibilidade industrial no futuro.

3.3. Extração semicontínua

Normalmente, esta extração é efetuada empregando-se uma bateria de três a seis extratores que apresentam tanques cada um com uma tela na parte inferior.

O solvente movimenta-se em contracorrente com o material, ou seja, o solvente "novo" entra em um extrator que contém o material quase completamente desengordurado e é bombeado através dos tachos seguintes, produzindo uma miscela cada vez mais concentrada, sendo o último extrator carregado com material não desengordurado. Subse-

quentemente, faz-se a descarga do primeiro extrator que, em seguida, passa a ser o último do grupo.

O sistema é simples, a construção e a montagem rápidas e os aparelhos exigem uma pequena área. No entanto, o rendimento de óleo é relativamente baixo e exige mais mão-de-obra.

3.4. Extração contínua

Os sistemas contínuos foram introduzidos no Brasil em meados dos anos 50 (1955-1958). Quase todos foram importados ou construídos no Brasil com “know-how” estrangeiro, com exceção do sistema “CODIC”.

O sistema CODIC consiste em roscas colocadas em posição inclinada. A parte inicial da rosca é alargada, sendo a torta proveniente da pré-prensagem mergulhada em um banho de solvente ou miscela e transferida por movimento espiral para o extrator seguinte.

Em algumas instalações, a rotação dos extratores é variável; outros efetuam a passagem da miscela de um extrator para o outro por força gravitacional. Esse sistema é de fácil construção e montagem e de custo relativamente baixo. A quantidade de mão-de-obra empregada é muito menor do que na extração semicontínua. A torta permanece em contato com a miscela por um período determinado, e a extração da massa é uniforme. Porém, devido à movimentação da massa, existe o problema da presença de pós finos, em quantidades às vezes excessivas.

O sistema “LURGI”, usado em algumas indústrias nacionais, utiliza uma esteira horizontal munida de “semicanecas”. A esteira movimentada-se independente de uma tela ou chapa perfurada que também gira. Uma válvula rotativa regula o enchimento das canecas que, depois de atingirem o fim da esteira, continuam o percurso, deixando cair o seu conteúdo e retornando. O solvente e a miscela são injetados na esteira

superior e tela inferior, respectivamente, o que assegura a extração completa, sendo o material extraído entregue no final da saída e depois transportado para os secadores ou dessolventizadores.

O extrator contínuo “MIAG” trabalha com o princípio semelhante, mas usando canecas inteiras.

O sistema “SMET”, um dos mais usados no país, utiliza também uma esteira e baseia-se no princípio da “chuva de solvente”. O extrator consiste de um corpo horizontal de chapa soldada, no qual o material a ser extraído é levado pela esteira, constituída por uma série quadros articulados. Um registro regula a altura da camada do material a ser extraído, sobre o qual há uma série de atomizadores do solvente. Sob a esteira transportadora, há uma série de receptáculos da miscela. Cada receptáculo é ligado a uma bomba centrífuga, que alimenta um atomizador correspondente, enquanto cada seção de irrigação é seguida de uma seção de escoamento da miscela.

Após a saída do material, a esteira transportadora é continuamente limpa por uma escova cilíndrica rotatória. O material não é submetido a nenhum movimento e constitui uma espessa camada, o que faz com que a miscela saia praticamente livre de finos, sendo sua filtração, em geral, dispensada.

O sistema “ROTOCEL” tem a forma de um cilindro dividido em setores, mantidos à baixa rotação, nos quais é colocada a matéria-prima (flocos). A matéria inicial é percolada pela miscela mais concentrada e depois gradativamente, com miscelas mais diluídas, até a passagem do solvente puro; neste momento, a parte inferior com uma tela se abre e deixa cair a torta ou farelo, que é transferido para o dessolventizador. Devido ao seu formato, a instalação ocupa menos espaço do que outros extratores contínuos, não há movimentação da massa e pode-se alcançar boa altura do material nos compartimentos indivi-

duais, o que, como no sistema de SMET, impede a contaminação da miscela com os finos.

3.5. Destilação da miscela

A miscela que sai do extrator é usualmente filtrada, para remover os finos, e transferida para um destilador contínuo, no qual o óleo é separado do solvente por aquecimento a vácuo, à temperatura de 70 °C a 90 °C. Nesse equipamento, o conteúdo de solvente no óleo pode ser reduzido até cerca de 5%. O hexano residual é destilado em um evaporador de filme, com insuflação de vapor direto.

3.6. Dessolventização e tostagem do farelo

O farelo de soja deve passar por um processamento térmico para inativar os fatores antinutricionais, como os inibidores de tripsina, as lectinas ou fitohemaglutininas, bem como as substâncias que causam o sabor indesejável. Há alguns anos, a dessolventização do farelo era efetuada em secadores de roscas horizontais. Atualmente, o equipamento mais usado é o dessolventizador-tostador, um aparelho vertical que combina a evaporação do solvente com uma cocção úmida.

Esse equipamento consiste de sete estágios. O vapor direto entra no segundo estágio, sendo distribuído pelo farelo no terceiro estágio através de venezianas laterais. O solvente é eliminado quase completamente nos dois primeiros estágios, com simultânea umidificação do farelo, que adquire um teor de 18% a 20% de umidade. Nos estágios seguintes, o farelo é tostado e, a fim de reduzir esse teor de umidade ao limite desejado, o material é novamente seco após a saída do tostador. O tempo de permanência do farelo no tostador é de cerca de uma hora e a temperatura nos estágios individuais é de 85 °C a 115 °C. Alguns desses aparelhos têm altura total de 10 metros e recuperam o solvente, efetuando a tostagem de até 1000 toneladas de farelo de soja em 24 horas. O produto final é armazenado em silos e sua umidade não deve ultrapassar 12%.

3.7. Recuperação do Solvente

A dessolventização da miscela e do farelo remove praticamente todo o solvente utilizado na extração do óleo. A solubilidade do hexano na água, proveniente do vapor direto usado durante a dessolventização e tostagem, é mínima. A principal causa de perda do solvente é, portanto, a mistura incondensável formada entre seus vapores e o ar. A recuperação do solvente contido nessa mistura é efetuada com o emprego de compressores de frio ou, nas instalações mais modernas, por colunas de absorção com óleo mineral. Isso é possível devido à maior solubilidade do hexano em óleo mineral do que no ar. Nessas instalações, os gases incondensáveis entram na parte inferior da coluna e o solvente é absorvido pelo óleo mineral em contracorrente, sendo esse contato aumentado por meio de anéis "Raschig" ou por atomização.

A seguir, apresenta-se o esquema simplificado do processo de extração do óleo bruto e farelo desengordurado (Figura 2).

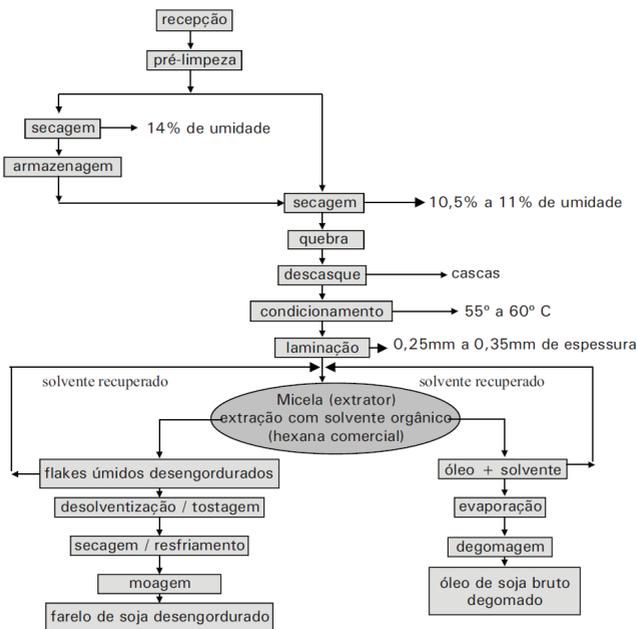


Figura 2. Processamento para obtenção do óleo de soja bruto e do farelo desengordurado.

4. Processo de refinação do óleo bruto

A refinação pode ser definida como um conjunto de processos que visam transformar os óleos brutos em óleos comestíveis, embora existam casos de consumo de óleos brutos, como o azeite de oliva e o de dendê. A finalidade da refinação é uma melhora de aparência, odor e sabor do óleo bruto, por meio da remoção dos seguintes componentes:

- a) Substâncias coloidais, proteínas, fosfatídeos e produtos de sua decomposição;
- b) Ácidos graxos livres e seus sais, ácidos graxos oxidados, lactonas, acetais e polímeros;
- c) Substâncias coloridas como clorofila, xantofila, carotenoides, incluindo-se neste caso o caroteno ou provitamina A;
- d) Substâncias voláteis como hidrocarbonetos, álcoois, aldeídos, cetonas e ésteres de baixo peso molecular;
- e) Substâncias inorgânicas como os sais de cálcio e de outros metais, silicatos, fosfatos, dentre outros minerais; e
- f) Umidade.

As principais etapas do processo de refinação do óleo bruto de soja são: degomagem ou hidratação; neutralização ou desacidificação; branqueamento ou clarificação; desodorização.

4.1. Degomagem

Esse processo tem a finalidade de remover do óleo bruto as proteínas, as substâncias coloidais e os fosfatídeos, dentre eles a lecitina, que possui valor comercial. A degomagem reduz a quantidade de álcali a ser utilizada durante a subsequente etapa de neutralização. A quantidade de fosfatídeos no óleo bruto de soja pode alcançar teor em torno

de 3%. Os fosfatídeos e as substâncias coloidais, chamadas “gomas”, são facilmente hidratáveis e tornam-se insolúveis no óleo, o que possibilita sua remoção.

O método de degomagem mais utilizado consiste na adição de 1% a 3% de água ao óleo bruto aquecido a 60 °C - 70 °C, sob agitação constante, durante 20 a 30 minutos. O precipitado formado é removido do óleo por centrifugação a 5000rpm-6000rpm. As gomas assim obtidas, que contém 50% de umidade, são secas a vácuo (aproximadamente 100 mm de Hg de pressão) à temperatura de 70 °C a 80 °C.

O produto denominado lecitina comercial, que é extraído nessa etapa, consiste em cerca de 60% de uma mistura de fosfatídeos (lecitina, cefalina e fosfatidil- inositol), 38% de óleo e 2% de umidade.

A degomagem pode ser efetuada também de maneira contínua, injetando água ao óleo aquecido a 60 °C. O tempo de hidratação é, nesse caso, reduzido a alguns minutos.

Outro método de degomagem utiliza de 0,1% a 0,4% de ácido fosfórico numa concentração de 85%, que é misturado com o óleo bruto à temperatura de 60 °C a 65 °C, seguido, às vezes, pela adição de 0,2% de terra diatomácea ou terra branqueadora. A separação das gomas se dá por filtração ou centrifugação.

Enquanto a degomagem com água remove usualmente de 70% a 80% dos fosfatídeos presentes no óleo bruto, o tratamento com ácido fosfórico permite a remoção de 90% das gomas, mas a lecitina resultante é impura. O esquema simplificado de degomagem é apresentado na Figura 3.

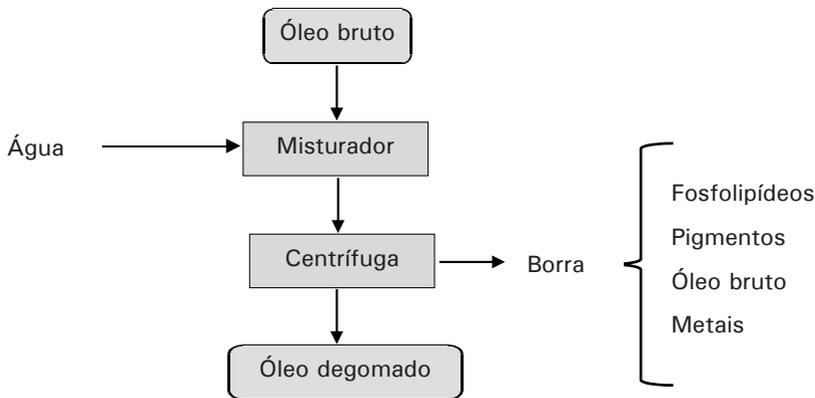


Figura 3. Degomagem do óleo bruto.

4.2. Neutralização

A adição de solução aquosa de álcalis, tais como hidróxido de sódio ou, às vezes, carbonato de sódio, elimina do óleo de soja degomado os ácidos graxos livres e outros componentes definidos como “impurezas” (proteínas, ácidos graxos oxidados e produtos resultantes da decomposição de glicerídeos). O processo é acompanhado por branqueamento parcial do óleo.

A neutralização ocorre na interfase do óleo e da solução alcalina. Sendo essas fases não intersolúveis, a neutralização exige uma dispersão da solução alcalina no óleo. Existem dois métodos principais de neutralização: o mais antigo, descontínuo, e o mais moderno, contínuo. Além disso, existem dois modos de aplicação da solução alcalina: a adição de solução de hidróxido de sódio ao óleo, método mais usado, e a adição de óleo à solução aquosa de hidróxido de sódio, método contínuo “Zenith”. De acordo com o conteúdo de ácidos graxos livres no óleo bruto, aplicam-se diferentes concentrações de solução alcalina e condições de processo apropriadas. Atualmente, o processo descontínuo só é utilizado em indústrias de pequeno porte e é pouco utilizado no Brasil.

4.2.1. Neutralização Descontínua

O óleo é colocado num “tacho” com capacidade entre seis e 15 toneladas, que é provido de agitador mecânico, “camisa” ou vapor indireto e “chuveiro” ou atomizador para a solução alcalina e para a água, respectivamente (Figura 4).

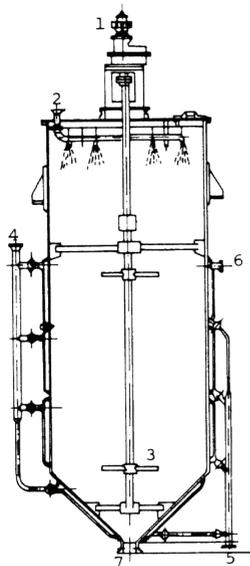


Figura 4. Neutralizador descontínuo.

- 1- Motor elétrico,
- 2- Atomizador,
- 3- Agitador,
- 4- Entrada do vapor,
- 5- Saída do condensado,
- 6- Deaeração da camisa de vapor,
- 7- Escoamento do óleo neutralizado

As concentrações de hidróxido de sódio e outros parâmetros da neutralização são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Concentrações de hidróxido de sódio na neutralização.

Porcentagem de ácidos graxos livres no óleo	Concentração (%) da solução de hidróxido de sódio	Temperatura final do óleo (°C)
1 a 1,5	3 a 5	90 a 95
1,5 a 3,0	5 a 10	65 a 70
Acima de 3,0	12 a 18	50 a 55

No caso do óleo com baixa acidez, adiciona-se, às vezes, a solução aquosa e quente de hidróxido de sódio, ao óleo aquecido a 90 °C - 95 °C, sem agitá-lo. Aos óleos com acidez elevada, a solução alcalina mais concentrada é adicionada, à temperatura ambiente, sob

intensa agitação, para facilitar o contato entre as duas fases. Depois de 15 a 30 minutos, aquece-se a mistura à temperatura apropriada (50 °C a 70 °C) para quebrar a emulsão, com velocidade do agitador reduzida. Em seguida, a mistura é deixada em repouso por algumas horas até a separação do sabão formado ou da chamada “borra”. Após a retirada da “borra” pela torneira no fundo do tacho, o óleo é lavado de três a quatro vezes com água fervente, em porções de 10% a 20% em relação à quantidade de óleo, deixando a carga em repouso por cerca de 30 minutos a cada lavada.

4.2.2. Neutralização contínua

A maioria das indústrias esmagadoras de soja utiliza o método contínuo, que permite economia de tempo e minimiza perdas no processo. A solução de hidróxido de sódio é adicionada ao óleo após seu aquecimento à temperatura de 65 °C a 90 °C. O óleo neutralizado é separado da “borra” por centrifugação. Além do hidróxido de sódio, existe a possibilidade do emprego do carbonato de sódio ou da mistura de ambos os reagentes; o gás carbônico formado durante a neutralização é eliminado por um dispositivo especial. O uso do carbonato de sódio reduz a saponificação do óleo neutro ao mínimo, mas afeta a eliminação dos fosfatídeos, corantes e outras impurezas. Por isso, sua aplicação diminuiu nos últimos anos.

O óleo neutralizado é submetido a uma ou duas lavagens com porções de 10% a 20% de água aquecida à temperatura de 80 °C a 90 °C e centrifugado novamente para remover o sabão residual.

4.2.3. Neutralização pelo método “Zenith”

Nesse sistema, o óleo bruto aquecido a 95 °C sobe, em forma de gotículas com 1 mm de diâmetro, através de uma coluna de solução alcalina diluída e pré- aquecida a 95 °C.

O sistema consiste de três unidades: a primeira serve para o tratamento com ácido fosfórico; a segunda, como neutralizador propriamente

dito, no qual o óleo, transformado em gotículas por um dispositivo de aletas, entra em contato com a solução de hidróxido de sódio; e a terceira, elimina os traços dos sabões no óleo neutralizado, por meio da adição de ácido cítrico. Nesse sistema, as perdas são mínimas, apesar do fato de a separação do óleo e da solução de sabões ser efetuada por força de gravidade, sem o uso de centrífugas.

4.2.4. Rendimento da neutralização

As perdas resultantes da neutralização são devidas ao arraste de óleo neutro pela “borra” e pela saponificação do óleo neutro por excesso de solução de hidróxido de sódio empregada. Há dois modos de se expressar a perda ou rendimento. Um deles consiste em relacionar a quantidade percentual de óleo neutro obtido com a percentagem de óleo neutro presente no óleo bruto. Assim, o “rendimento de neutralização” é igual a:

$$\frac{\% \text{ de óleo neutralizado obtido} \times 100}{\% \text{ de óleo neutro presente no óleo bruto}}$$

Uma neutralização eficiente resulta em valor acima de 99%.

O outro método relaciona a perda percentual do óleo resultante da neutralização com o conteúdo de ácidos graxos livres presentes no óleo bruto. Assim, o chamado “fator de perda” é igual a:

$$\frac{\% \text{ da perda na neutralização}}{\% \text{ de ácidos graxos livres no óleo bruto}}$$

Em geral, esse fator fica abaixo de dois, mas depende da acidez e do conteúdo de impurezas presentes no óleo bruto. Na Figura 5, apresenta-se o esquema resumido do processo de neutralização.

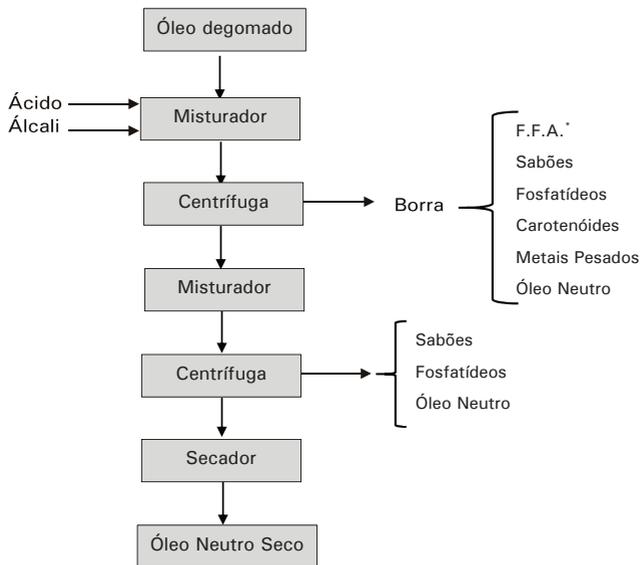


Figura 5. Neutralização do óleo degomado

*Ácidos graxos livres (FFA. - free fat acids).

4.3. Branqueamento

O processo de degomagem remove boa quantidade dos pigmentos presentes no óleo de soja e a neutralização com álcalis também apresenta um efeito branqueador, devido à coagulação e ação química, respectivamente. Entretanto, os consumidores exigem óleos quase incolores, o que é atingido pela adsorção dos pigmentos com terras clarificantes, ativadas ou naturais, misturadas, às vezes, com carvão ativado, em proporções que variam de 10:1 a 20:1 p/p de terras clarificantes: carvão ativado. As terras ativadas são quimicamente preparadas a partir de silicato de alumínio. As terras naturais têm um poder clarificante bem inferior àquele das terras ativadas, mas seu preço é bem mais baixo e elas retêm menos óleo.

O óleo neutralizado e lavado sempre contém umidade, mesmo após a centrifugação. A ação das terras clarificantes é mais eficiente no meio anidro e, portanto, a primeira etapa do branqueamento é a secagem.

No processo contínuo da neutralização, essa secagem é, às vezes, efetuada de maneira contínua. Alternativamente, o óleo é seco no branqueador a temperaturas entre 80 °C e 90 °C, a vácuo, durante 30 minutos. Em seguida, a terra clarificante é adicionada, usualmente por sucção, na quantidade apropriada. O óleo é misturado com a terra clarificante por meio de agitação à temperatura de 80 °C a 95 °C durante 20 a 30 minutos. Subsequentemente, o óleo é resfriado a 60 °C - 70 °C e filtrado em filtros-prensa. No Brasil, o branqueamento é realizado de maneira descontínua. Entretanto, existem indústrias esmagadoras que empregam o processo contínuo, no qual a terra clarificante é introduzida ao óleo aquecido na forma de uma suspensão a 10%. A mistura de óleo e de terra passa através do branqueador durante cerca de 20 minutos e depois é bombeada ao filtro prensa. Dos vários tipos de filtro prensa, o mais usado é o de placa, que permite a obtenção de “bolo” (resíduo) de grande espessura. Por outro lado, as altas temperaturas aplicadas durante o branqueamento e na subsequente desodorização, facilitam o branqueamento térmico, reduzindo assim a quantidade de terra clarificante necessária para obtenção da cor desejável no produto acabado. Assim, processos de branqueamento do óleo de soja que anteriormente necessitavam de 2% a 3% de terra clarificante precisam agora de 0,1% a 0,5%.

Depois da filtração, o “bolo” no filtro contém aproximadamente 50% de óleo. A aplicação de ar comprimido reduz esse conteúdo a 30%-35%. O conteúdo de óleo pode ser ainda mais reduzido com insuflação de vapor direto, mas isso tem efeito adverso sobre os panos do filtro prensa e produz um óleo de baixa qualidade. O “bolo” de filtragem, depois desse tratamento, é usualmente desprezado. Um esquema simplificado do processo de branqueamento é apresentado na Figura 6.

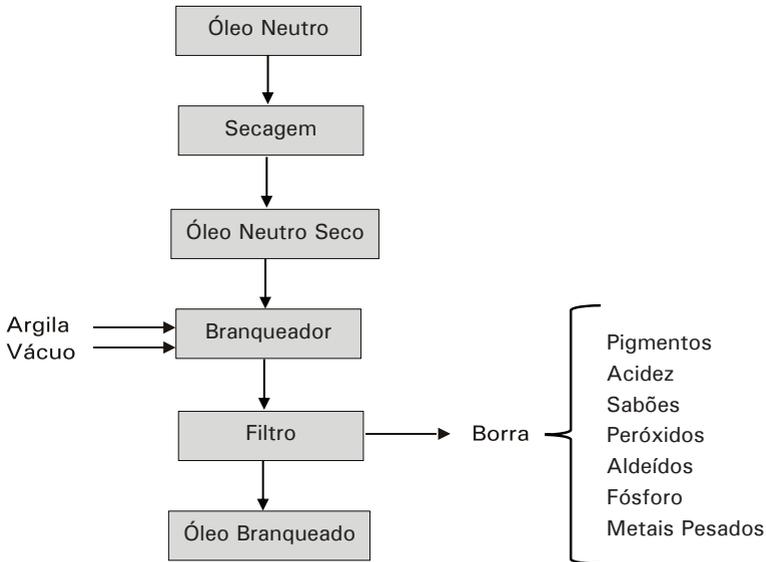


Figura 6. Branqueamento do óleo neutro seco.

4.4. Desodorização

A última etapa da refinação do óleo de soja é a desodorização, que visa a remoção dos sabores e odores indesejáveis. Durante essa etapa são removidos:

- a) Compostos desenvolvidos na armazenagem e processamento dos grãos e do próprio óleo, tais como, aldeídos, cetonas, ácidos graxos oxidados, produtos de decomposição de proteínas, carotenóides, esteróis, fosfatídeos e outros;
- b) Substâncias naturais presentes no óleo, tais como hidrocarbonetos insaturados e ácidos graxos de cadeia curta e média; e
- c) Ácidos graxos livres e peróxidos.

As substâncias odoríferas e de sabor indesejável são, em geral, pouco voláteis, mas sua pressão de vapor é bem superior àquela do ácido oléico ou esteárico. Assim, sob as condições mantidas durante o processo, ou seja, pressão absoluta de 2 mm Hg a 8 mm Hg e tempe-

ratura de 20 °C a 25 °C com insuflação direta de vapor, alcança-se não somente a completa desodorização mas também uma quase completa remoção dos ácidos graxos livres residuais. O alto vácuo é essencial, porque sua aplicação reduz o consumo de vapor direto, o tempo do processo e o perigo de oxidação e hidrólise do óleo.

O vácuo é produzido por ejetores, bombas mecânicas ou ambos. Anteriormente, o custo de obtenção do vácuo nos dois sistemas era quase igual e os ejetores apresentavam menor desgaste, devido à ausência de peças móveis. Atualmente, o custo dos combustíveis encaixou tanto a geração de vapor que as bombas mecânicas produzem vácuo a um custo bem menor do que os ejetores. Existe, portanto, a tendência de se usar bombas mecânicas em novas instalações industriais e mesmo substituir ejetores por bombas mecânicas, nos sistemas existentes.

A desodorização é efetuada de maneira descontínua, semicontínua ou contínua. O desodorizador descontínuo, usualmente um tacho vertical com capacidade de seis a 15 mil litros, é munido com uma serpentina para o vapor indireto e dispositivo para insuflação de vapor direto. Embora a pressão absoluta na superfície do óleo seja de poucos mm de Hg, a pressão aumenta gradualmente em direção ao fundo do equipamento, devido à crescente coluna de óleo e, portanto, o tempo de desodorização estende-se de seis horas a oito horas.

Num desodorizador contínuo, devido ao alto vácuo (de 2 mm a 6 mm) e temperatura de 240 °C a 260 °C, o tempo de desodorização é reduzido de uma hora e meia a duas horas e meia.

Contudo, o aparelho mais usado nas indústrias de médio e grande portes é o semicontínuo do tipo Girdler (Figura 7). O aparelho tem um corpo de aço comum, no qual são colocadas cinco ou mais bandejas de aço inoxidável. Nas primeiras bandejas, o óleo é pré-aquecido,

nas intermediárias ele é aquecido à temperatura de 230 °C a 240 °C com insuflação de vapor direto e, na última, resfriado a 40 °C - 45 °C. O aquecimento é efetuado por "dow-therm" uma mistura de difenila e óxido de difenila (DPO ou éter difenílico), óleo térmico ou, às vezes, por vapor indireto de alta pressão. O óleo permanece em cada bandeja durante cerca de meia hora, passando de uma para outra por controle automático. O emprego das bandejas oferece duas vantagens importantes: economia de aço inoxidável e proteção contra oxidação, com a vantagem adicional de que o ar oriundo de qualquer vazamento escapa sem atingir o óleo.

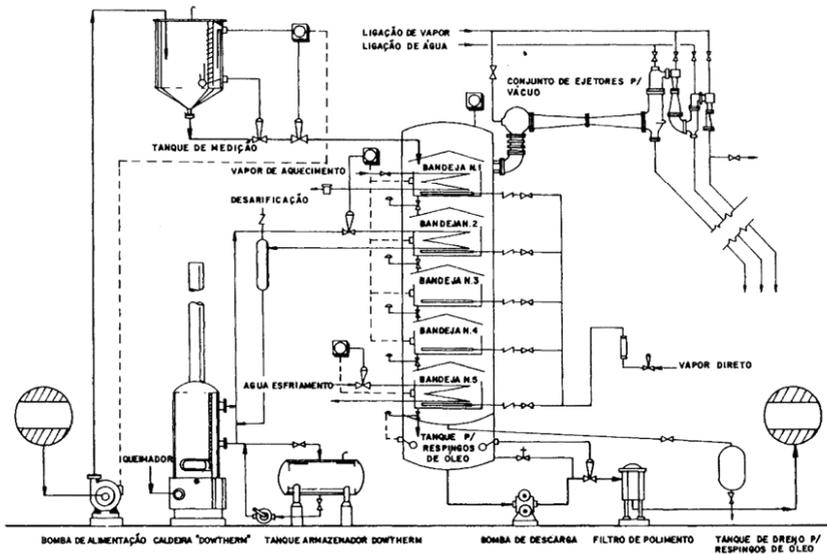


Figura 7. Equipamento Girdler de desodorização semicontínua.

Enquanto num desodorizador semicontínuo o resfriamento é sempre efetuado no próprio aparelho, o óleo processado num desodorizador descontínuo é usualmente transferido por gravidade a um tacho, munido com uma serpentina e um agitador, onde é resfriado à temperatura ambiente, a vácuo. Depois do resfriamento, em ambos os casos, o óleo é armazenado em tanques, preferencialmente de alumínio ou aço inoxidável, sob a atmosfera de um gás inerte, como nitrogênio.

5. Aproveitamento da “borra”

A borra, que consiste na mistura de sabão, óleo arrastado, substâncias insaponificáveis e impurezas, tais como gomas e fosfatídeos, pode ser usada como tal para a fabricação de sabão em pó ou em barra. O produto original contém cerca de 50% de água e, para reduzir o custo de seu transporte, a matéria graxa é, às vezes, recuperada por acidificação com ácido sulfúrico, em tachos de madeira revestidos com chumbo ou aço inoxidável, resistentes à ação dos ácidos minerais. Depois da separação da fase aquosa, a borra acidulada contém usualmente mais de 60% de ácidos graxos livres, sendo o restante glicerídeos e substâncias não graxas.

Existem instalações de acidulação contínua de borra, nas quais o ácido sulfúrico é adicionado por meio de um proporciômetro, seguido de aquecimento e separação de matéria graxa da fase aquosa por centrifugação.

O produto assim obtido tem tonalidade mais clara e seu conteúdo de impurezas é menor do que com a acidulação descontínua.

6. Refinação física

A refinação, como é realizada geralmente no Brasil e no exterior, é uma mistura de processos químicos e físicos. Das três operações principais da refinação, a neutralização com álcalis é um processo químico, enquanto o branqueamento e a desodorização são processos físicos de adsorção e destilação, respectivamente. Isso significa que, para tornar o processo atual em um processo físico, é necessário substituir a neutralização com álcalis por uma desacidificação de caráter diferente.

Como mencionado anteriormente, a neutralização alcalina apresenta alguns aspectos desfavoráveis: saponificação e arraste de óleo neutro,

com resultantes perdas de refinação, dificuldades de se tratar óleos com alta acidez e produção de “borras” com baixo valor comercial. Pode-se também considerar que o tratamento de um óleo comestível com soda cáustica (hidróxido de sódio) é um método excessivamente drástico.

Essas e outras considerações conduziram ao desenvolvimento de sistemas alternativos de refinação. Um dos mais utilizados é a substituição da neutralização com álcalis por destilação dos ácidos graxos livres, o que tornou este tipo de refinação em um processo essencialmente físico.

As primeiras patentes industriais para a remoção de ácidos graxos livres por destilação tiveram a finalidade de reduzir a acidez até um valor suficientemente baixo para possibilitar a neutralização alcalina e evitar perdas de refinação. A finalidade é dispensar completamente a neutralização alcalina. Para isso, são necessárias algumas modificações no processo usual.

A degomagem é indispensável na refinação física e deve ser tão completa quanto possível. Ela é seguida pelo branqueamento, e o óleo assim pré-tratado é submetido à destilação a vácuo, para remover os ácidos graxos livres, e depois desodorizado, podendo ambos os processos serem conduzidos simultaneamente em um desacidificador/desodorizador.

A degomagem completa apresenta problemas quando os óleos contêm alto conteúdo de fosfatídeos, como é o caso do óleo de soja. O tratamento com ácido fosfórico parece ter um efeito favorável. O tratamento com pequenas quantidades (de 0,1% a 1%) de anidrido acético, seguido por lavagem com água, produz um óleo de soja de boa qualidade comestível sem neutralização alcalina. A degomagem do óleo de soja com detergentes sintéticos também foi proposta.

A segunda fase da refinação física é o branqueamento, e é esta fase que determina a possibilidade de aplicar a desacidificação sem o emprego de álcalis. Essa etapa é conduzida com terras clarificantes, com ou sem adição de carvão ativado. Às vezes, a adição de um ácido, por exemplo, ácido oxálico, ajuda no branqueamento.

A possibilidade de remover os ácidos graxos livres por destilação baseia-se na considerável diferença entre os pontos de ebulição de ácidos alifáticos e seus ésteres de glicerol. Esses pontos de ebulição variam de acordo com a pressão absoluta. Com a diminuição da pressão, ocorre também a diminuição nos pontos de ebulição, tanto dos ácidos graxos quanto dos ésteres de glicerol e, conseqüentemente, do óleo. Por exemplo, o ponto de ebulição do óleo de soja a uma pressão absoluta de 0,05 mm de Hg é de 308 °C e a 0,001 mm Hg é de 254 °C, e os pontos de ebulição dos ésteres trilaurina, tripalmitina e triestearina são, respectivamente, 244 °C, 298 °C e 313 °C a 0,05 mm de Hg e 188°C, 239°C e 253°C a 0,001 mm de Hg.

Além do vácuo, o emprego do vapor de água permite baixar a temperatura de destilação dos ácidos graxos. O processo pode ser conduzido em desodorizadores descontínuos de aço inoxidável, que trabalham com temperatura acima de 200 °C e à pressão absoluta de 3 a 5 mm de Hg, com algumas modificações para transformá-lo em um desacidificador. Entretanto, melhores resultados são obtidos em desodorizadores semicontínuos tipo Girdler, equipados com bandejas de aço inoxidável, que trabalham a pressão de 0,5 mm de Hg a 1 mm de Hg.

A refinação física reduz as perdas do óleo e produz, ao invés de "borra", ácidos graxos 80% a 90% puros. Entretanto, a contínua melhora na qualidade dos óleos brutos, com decréscimo da acidez, diminui as vantagens do processo. Assim, encontram-se agora no mercado óleos de soja brutos com 0% a 1% de ácidos graxos livres. Considerando

esta baixa acidez e a dificuldade de sua satisfatória degomagem, o óleo de soja não se apresenta como uma matéria- prima própria para a refinação física.

7. Hidrogenação

Antes da hidrogenação, todos os óleos vegetais devem ser submetidos ao processo de refinação e isto, é claro, inclui o óleo de soja. O hidrogênio usado no processo deve ser de alta pureza (99,5% ou mais). O monóxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e, em menor grau, o vapor d'água, agem diminuindo gradativamente a atividade do catalizador, por meio do "envenenamento" de seus centros ativos e, portanto, essas substâncias não devem estar presentes durante o processo de hidrogenação. No processo, são utilizados diferentes catalizadores que aumentam sua eficiência e rapidez.

A hidrogenação visa conservar o óleo de soja, por meio da eliminação das duplas ligações entre os átomos de carbono dos ácidos graxos insaturados, que formam os triglicerídeos que compõem o óleo, bem como dos ácidos graxos livres. Essas duplas ligações constituem-se em pontos de oxidação dos óleos e sua conseqüente rancificação. O óleo de soja hidrogenado constitui-se numa das matérias primas que entram na formulação para a produção de margarinas.

7.1. Hidrogenação descontínua

O óleo purificado e seco é bombeado para a autoclave que serve como hidrogenador. Normalmente, esses equipamentos têm capacidade de cinco a vinte toneladas, e sua altura deve ser duas vezes maior que o diâmetro. É munido de um agitador, de preferência na forma de uma turbina. Uma serpentina serve para o aquecimento com vapor e para resfriamento com água, que é necessário para eliminar o considerável calor de reação e reduzir a temperatura do óleo no final do processo.

Há duas maneiras de suprir o equipamento com hidrogênio: o gás é circulado através do óleo em agitação por meio de uma bomba, enquanto no sistema alternativo a dispersão do gás é efetuada somente por agitação.

A reação é exotérmica, ou seja, gera e libera calor para o meio, o que resulta em um aumento de temperatura de 1,4 °C até 1,7 °C para diminuição de cada unidade no índice de iodo. A temperatura ótima do processo situa-se entre 160 °C e 180 °C, mas na fase final pode alcançar 200 °C. A pressão de hidrogênio é de duas atmosferas a seis atmosferas na autoclave, normalmente construída para uma pressão máxima de 10 atmosferas.

O controle do processo é efetuado retirando periodicamente amostras e determinando o índice de refração do óleo de soja, que está estritamente relacionado ao índice de iodo. Após a obtenção do desejado grau de insaturação, o óleo é resfriado e filtrado através de um filtro-prensa.

7.2. Hidrogenação contínua

Teoricamente, um sistema de hidrogenação contínua oferece uma série de vantagens. Na instalação descontínua, a autoclave serve não somente como reator, mas também como pré-aquecedor e recipiente durante a filtração, o que torna o processo descontínuo demorado. No processo contínuo, o pré-aquecimento e o resfriamento podem ser efetuados utilizando a troca de calor, que possibilita economia energética e melhor utilização do equipamento. Existe uma variedade de sistemas que visam a hidrogenação contínua na forma de uma série de tanques reatores com agitação vertical. Outros modelos consistem em colunas empacotadas com catalizador na forma de "pellets", através dos quais o óleo de soja e o hidrogênio passam no mesmo sentido ou em contracorrente.

8. Custo de processamento de produtos derivados da soja: farelo e óleo

A produção do óleo de soja consiste em um processo de duas etapas, que pode ser executado por uma mesma empresa ou empresas diferentes: extração e refino. Para estimar os custos com a extração do óleo bruto e farelo de soja, foram considerados os itens descritos na Tabela 2. Por sua vez, no cálculo do custo de refino do óleo bruto de soja utilizou-se a composição descrita na Tabela 3.

Por meio de dados coletados junto a empresas processadoras entre os meses de março e abril de 2015, estimou-se para o óleo de soja, um custo de extração da ordem de US\$ 18,83 por toneladas de grãos. Para o processo de refino do óleo bruto de soja, tem-se um custo de US\$ 42,02 por toneladas de grãos.

Tabela 2. Custo da extração do óleo bruto e do farelo de soja (US\$ por tonelada).

Itens	US\$/tonelada
1. Energia elétrica	3,20
2. Combustíveis	6,23
3. Insumos e ingredientes	1,20
4. Mão-de-obra	2,56
5. Materiais e despesas de manutenção	1,67
6. Depreciação	1,75
7. Remuneração do investimento	0,83
8. Serviços administrativos	1,39
9. Custo total da extração	18,83

Fonte: a partir de dados de empresas do setor.

Tabela 3. Custo do refino do óleo bruto de soja (US\$ por tonelada).

Itens	US\$/tonelada
1. Energia elétrica	8,42
2. Combustíveis	7,42
3. Insumos e ingredientes	10,11
4. Mão-de-obra	3,65
5. Materiais e despesas de manutenção	2,39
6. Depreciação	5,88
7. Remuneração do investimento	2,83
8. Serviços administrativos	1,32
9. Custo total do refino	42,02

Fonte: a partir de dados de empresas do setor.

A partir dos custos de extração, descrito na Tabela 2, foi estimado o custo para se produzir uma tonelada de óleo bruto, como consta na Tabela 4. O cálculo deste indicador é realizado da seguinte maneira:

- a) O custo de esmagamento de uma tonelada de soja é a soma do valor pago pela aquisição de uma tonelada de grãos com o gasto de extração estimado na Tabela 2. Para o cálculo, utilizou-se o preço médio da tonelada da soja em março de 2015 (BIO-MERCADO, 2015);
- b) Considerando como base o mês de dezembro de 2014, tem-se que 76,5% da soja processada foi transformada em farelo (ABIOVE, 2015). Desse modo, utilizou-se um coeficiente de multiplicação de 0,765 para o cálculo do valor monetário do farelo produzido a partir da extração de uma tonelada de grãos;
- c) O gasto com óleo bruto gerado a partir de uma tonelada de grãos será a diferença entre o custo do esmagamento e o valor monetário do farelo produzido;
- d) Para se obter uma tonelada de óleo bruto é necessário esmagar cinco toneladas de grãos (uma tonelada de soja = 20% de óleo). Nesse sentido, basta multiplicar por cinco, o custo do óleo produzido a partir da tonelada de grãos.

Tabela 4. Custo do óleo bruto em uma planta extratora (US\$ por tonelada).

Itens	US\$/tonelada
Preço da tonelada de soja em grão na indústria	331,69
Custo de extração da tonelada de soja em grão	18,83
Custo de esmagamento da tonelada de soja	350,52
Valor monetário do farelo produzido (0,765 x preço)	267,01
Custo do óleo bruto a partir de 1,0 t de soja em grão	83,52
Custo de 1,0 t de óleo bruto	417,59

Fonte: a partir de dados de empresas do setor.

Comparado com o valor estimado em 2001 (US\$ 316,31), na primeira edição deste documento, houve um significativo avanço no custo de produção do óleo bruto, não obstante o farelo de soja ter um elevado valor monetário (US\$ 267,01).

Na Tabela 5 são apresentados os custos de produção do óleo refinado, considerando duas opções de negócios: (1) indústria com uma extratora integrada à refinadora; (2) indústria independente que adquire o óleo bruto para refinamento.

Tabela 5. Custo do óleo refinado de soja, segundo o nível de integração da refinadora.

Custo da lata de óleo refinado em 2015		
Itens	Integrada	Independente
Custo de aquisição do óleo bruto	417,59	570,20
Custo do refino do óleo bruto	42,02	42,02
Custo da tonelada de óleo refinado	459,61	612,22
Custo da caixa com 20 latas de 900 ml de óleo refinado	8,02	10,69
Custo da embalagem (PET)	1,03	1,03
Custo da caixa de papelão	0,36	0,36
Custo total da caixa de óleo refinado	9,41	12,08
Custo por lata de 900 ml	0,471	0,604
Custo da lata de óleo refinado em 2001		
Itens	Integrada extratora	Independente
Custo de aquisição do óleo bruto	316,31	319,47
Custo do refino do óleo bruto	21,19	21,19
Custo da t de óleo refinado	337,50	340,66
Custo do óleo refinado da caixa com 20 latas de 900 ml	5,89	5,94
Custo da embalagem (lata)	2,82	2,82
Custo da caixa de papelão	0,15	0,15
Custo total da caixa de óleo refinado	8,86	8,91
Custo por lata de 900 ml	0,443	0,446

Fonte: a partir de dados de empresas do setor.

Analisando os dados da Tabela 5, comparando-os com os valores obtidos no ano de 2001, verificou-se que o custo da produção de uma lata de 900 ml de óleo refinado em uma indústria com extratora integrada aumentou apenas 6,3%, passando de US\$ 0,443 para US\$ 0,471. De outro modo, em uma indústria independente, o aumento foi de 35,6%, com o custo passando de US\$ 0,446 para US\$ 0,604.

No que tange à indústria com extratora integrada, o custo da caixa de óleo refinado, sem considerar embalagem e caixa de papelão, saltou de US\$ 5,89 para US\$ 8,02. Isso se deveu ao crescimento nos custos de obtenção do óleo bruto (Tabela 4). Contudo, a substituição da lata para a “embalagem PET” propiciou reduzir o dispêndio com embalagem de US\$ 2,82 para US\$ 1,03. A referida substituição foi fundamental para amenizar a evolução dos custos de produção (6,3%).

Concernente à indústria com refinadora independente, o aquecimento do mercado da soja e com novas opções de negócios para o óleo de soja (e.g. biodiesel) propiciaram uma elevada valorização do produto derivado. E tal aumento se configurou em um significativo incremento no custo de aquisição de óleo bruto, que subiu de US\$ 319,47 para US\$ 570,20.

A comparação entre os tipos de negócios descrita na Tabela 5 permite verificar que a integração vertical do processo por meio de uma extratora integrada à indústria propicia uma economia de escopo, que se torna vital para a viabilidade econômica da indústria nacional de transformação.

A Figura 8 apresenta o ambiente institucional da soja no Brasil. Embora exista uma diversidade de produtos à base de soja, a demanda mundial pelo grão ainda é derivada do seu farelo proteico direcionado para a alimentação animal. Em outros termos, o portfólio de mercado para a soja cresceu, com a inserção de novos negócios, como os bio-

combustíveis, mas o óleo de soja ainda não possui efeito significativo nos preços da commodity.

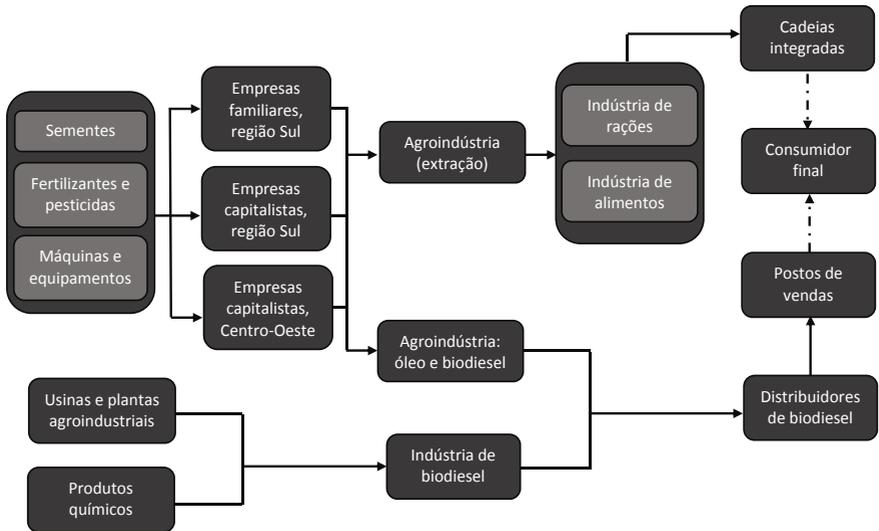


Figura 8. Modelo da cadeia produtiva da soja, baseado em Castro e Lima (2010).

Referências

ABIOVE. Brasil - **Complexo Soja - Setor Processador**. Disponível em: <<http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE>>. Acesso em: 04 mai. 2015.

ASCAR, J. M.; WINZER, G. E. **Bromatologia**: análise de alimentos. São Leopoldo: UNISINOS, [19--]. 85p.

BAILEY, A. E. **Aceites y grasas industriales**. Barcelona: Reverté, 1961. 236p.

BIOMERCADO. **Boletim Complexo Soja Março 2015**. Disponível em: <<http://www.biomercado.com.br/boletim.php?arquivo=166>>. Acesso em: 04 mai. 2015.

BRAVERMAN, J. B. S. **Introduction to the biochemistry of foods**. New York: Elsevier, 1963. 285p.

CASTRO, A. M. G.; LIMA, S. M. V. O Complexo Agroindustrial [CAI] do Biodiesel no Brasil. In: CASTRO, A. M. G. de; LIMA, S. M. V.; SILVA, J. F. V. (Ed.). **Complexo agroindustrial de biodiesel no Brasil**: competitividade das cadeias produtivas de matérias-primas. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2010. p. 113-140.

DUGAN JUNIOR, L. Lípidos. In: FENNEMA, O. R. **Introducción a la ciencia de los alimentos**. Barcelona: Reverté, 1982. v.1, p.161-236.

GRISWALD, R. M. **Estudo experimental dos alimentos**. São Paulo: Edgard Blucher, 1972. 98p.

GURR, M. I. **Role of fats in food and nutrition**. 2.ed. London: Elsevier, 1995. 207p.

MONTES, A. L. **Bromatologia**. 2.ed. Buenos Aires: Editorial Universitaria, 1981. Tomo 1-2.

MORETO, E.; ALVES, R. F. **Óleos e gorduras vegetais: processamento e análises**. Florianópolis: UFSC, 1986, 179p.

NORUM, K. R. Dietary fat and blood lipids. **Nutrition Reviews**, v.50, p.430-37, 1992.

PEIXOTO, A. R. **Plantas oleaginosas herbáceas**. São Paulo: Nobel, 1972. 171p.

POTTER, N. N. **La ciencia de los alimentos**. México: Centro Regional de Ayuda Técnica, 1968. 468p.

ROHR, R. **Óleos e gorduras vegetais: seus subprodutos protéicos**. 4.ed. Campinas: Fundação Tropical de Pesquisas e Tecnologia, 1972. 320p.

STUMPF, C. E. E. **Manual de bioquímica**. Brasília: MEC, 1973. 89p.

TURATTI, J. M. **Extração de óleos vegetais utilizando-se enzimas no pré-tratamento**. 2000. 92f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia e Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

WEISS, T. J. **Fat and oils in processing**. In: JOSLYN, M. A.; HEID, J. L. Operations. West Port: Avi Publishing, 1981. v.2, 258p.

