

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
BACHARELADO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

**MARIANA CRISTINA PEREIRA DE SOUZA**

**ANÁLISE FINANCEIRA PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA  
DE ASPIRAÇÃO DE CASCAS NO SETOR DE PREPARAÇÃO EM  
UMA INDÚSTRIA DE PRODUÇÃO DE ÓLEO DE SOJA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2**

**PONTA GROSSA**

**2021**

**MARIANA CRISTINA PEREIRA DE SOUZA**

**ANÁLISE FINANCEIRA PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA  
DE ASPIRAÇÃO DE CASCAS NO SETOR DE PREPARAÇÃO EM  
UMA INDÚSTRIA DE PRODUÇÃO DE ÓLEO DE SOJA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química do Departamento de Engenharia Química, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Cesar Arthur Martins Chornobai.

**PONTA GROSSA**

**2021**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



---

### TERMO DE APROVAÇÃO

Análise financeira para a implantação de um sistema de aspiração de cascas no setor de preparação em uma indústria de produção de óleo de soja

por

Mariana Cristina Pereira de Souza

Monografia apresentada no dia 13 de maio de 2021 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Profa. Dra. Erica Roberta Lovo Da Rocha Watanabe  
(UTFPR)

---

Profa. Dra. Priscilla Dos Santos Gaschi Leite  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Cesar Arthur Martins Chornobai  
(UTFPR)  
Orientador

---

Profa. Dra. Juliana de Paula Martins  
Responsável pelo TCC do Curso de Engenharia Química

Dedico este trabalho aos meus pais, por  
sempre me apoiarem em todos os meus  
sonhos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu pai, minha mãe e minha irmã pelo apoio nesta jornada.

Ao meu orientador Prof Dr. Cesar Arthur Martins Chornobai pela disponibilidade e parceria ao longo deste trabalho.

Ao meu colega de trabalho Luiz Gustavo Pellissari que me ajudou na estruturação da proposta deste projeto.

Ao meu namorado, Luiz Guilherme, e aos amigos que fiz ao longo do curso que me ajudaram nos momentos mais difíceis.

## RESUMO

SOUZA, Mariana. **Análise financeira para implantação de um sistema separador de cascas no setor de preparação em uma indústria de produção de óleo de soja.** 2021. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2021.

Em uma indústria esmagadora de soja, o farelo da soja é um produto de alto valor proteico resultante da extração de óleo do grão. O farelo é comercializado de acordo com o seu teor de proteína e quando este valor mínimo não é atingido, multas são aplicadas ao fornecedor. Diante da diminuição da quantidade de proteína *in natura* no grão, decorrente do foco de melhoria genética em produtividade, tem-se como alternativa de processo a utilização de um sistema de aspiração de cascas que realiza a retirada de 3 a 3,5% de fibra no momento da quebra do grão, gerando um saturamento de proteína no farelo final. Com o propósito de promover incremento no portfólio de produtos, diminuição de prejuízos financeiros decorrentes do não atendimento dos valores proteicos previstos em contrato e de manobras de processo este trabalho realizou um estudo em uma indústria do setor através de uma análise financeira da prospecção de ganhos de produção e comerciais para a implantação do sistema de descasque. Deste modo, conclui-se um potencial de *payback* de dois anos e lucro de 10 milhões de reais ao fim deste período.

**Palavras-chave:** Aspiração de cascas. Proteína na soja. Análise financeira. Esmagadora de soja.

## ABSTRACT

SOUZA, Mariana. **Financial analysis for the implantation of a dehulling system in the preparation sector in a soybean oil production industry**. 2021. 63 f. Work of Conclusion Course (Graduation in Chemical Engineering) - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2021.

In the soybean crushing industry, soybean meal is a high-value protein resulted from the extraction of oils from the grains. The soybean bran is marketed according to its protein content, fines and penalties are imposed on the supplier when this minimum limit is not achieved. The focus of the plant genetic improvements on production yield had caused a significant decrease in the protein content of the soybean grains. It has been found that the utilization of a hull aspiration system can remove up to 3.5% of the grain fibers during the grain breakage stage, generating protein saturation in the final bran. In order to promote an increase in the product portfolio and reduce the financial losses resulted from contract violation of the minimum protein content value, this work carries out the study of a financial analysis for implantation this process in this industrial sector. In this context, it is concluded a two-year payback potential and a profit of R\$ 10 million at the end of the same period.

**Keywords:** Dehulling. Protein in soy. Financial analysis. Soybean Crushing.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Difusão da soja no mundo a partir da China. ....	15
Figura 2 - Delimitações da cadeia produtiva da soja no Brasil. ....	18
Figura 3 – Ranking dos 10 países com maior produção de óleo de soja no mundo em milhões de toneladas. ....	21
Figura 4 – Fluxograma do processo de recebimento da soja em uma indústria esmagadora. ....	23
Figura 5 – Fluxograma do processo de armazenagem da soja em uma indústria esmagadora. ....	24
Figura 6 – Fluxograma do processo de preparação da soja em uma indústria esmagadora. ....	25
Figura 7 – Processo de transferência de massa do solvente hexano com um grão de soja. ....	29
Figura 8 – Extrator por percolação “De Smet”. ....	30
Figura 9 – Extrator rotatório ou tipo “Rotocell”. ....	30
Figura 10 – Fluxograma completo do processo de obtenção de farelo e óleo bruto. ....	31
Figura 11 – Fluxograma do processo de dessolventização e tostagem do farelo. ....	32
Figura 12 – Dessolventizador-tostador (DT) de farelo ....	33
Figura 13 – Sistema básico de limpeza por aspiração de casca. ....	34
Figura 14 – Funcionamento da Coluna de Aspiração. ....	35
Figura 15 – Fluxos de entrada e saída na Armazenagem. ....	42
Figura 16 – Fluxos de entrada e saída na Preparação na condição de ausência de um sistema de separação de cascas. ....	45
Figura 17 – Fluxos de entrada e saída na Extração na condição de ausência de um sistema de separação de cascas. ....	45
Figura 18 – Fluxos de entrada e saídas na Preparação na condição de utilização de um sistema de separação de cascas ....	53
Figura 19 – Fluxos de entrada e saída na Extração na condição de utilização de um sistema de separação de cascas. ....	55



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Composição média da soja cultivada nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. ....</b>	<b>17</b>
<b>Tabela 2 - Produção de soja no mundo em milhões de toneladas entre as safras de 2017/2018 e 2020/2021. ....</b>	<b>19</b>
<b>Tabela 3 – Produção de soja no Brasil em mil toneladas nas safras de 2019/2020 e 2020/2021. ....</b>	<b>20</b>
<b>Tabela 4 – Exportação de soja no mundo em milhões de toneladas entre as safras de 2017/2018 a 2020/2021. ....</b>	<b>20</b>
<b>Tabela 5 – Produção de farelo de soja no mundo em milhões de toneladas entre as safras de 2017/2018 a 2020/2021. ....</b>	<b>21</b>
<b>Tabela 6 – Composição físico-química padrão do farelo de soja tostado de acordo com a portaria nº 795 de 15 de dezembro de 1993. ....</b>	<b>22</b>
<b>Tabela 7 – Especificações padrões para farelo de soja segundo a NOPA. ....</b>	<b>26</b>
<b>Tabela 8 – Composição média do grão de soja no recebimento. ....</b>	<b>43</b>
<b>Tabela 9 – Composição média das impurezas retiradas na pré-limpeza. ....</b>	<b>43</b>
<b>Tabela 10 – Composição média da soja limpa na saída da Armazenagem. ....</b>	<b>44</b>
<b>Tabela 11 – Composição média do farelo para operação com ausência de separação de cascas. ....</b>	<b>46</b>
<b>Tabela 12 – Composição média do grão de soja na entrada do secador na armazenagem. ....</b>	<b>48</b>
<b>Tabela 13 – Composição média do grão de soja na saída do secador na armazenagem. ....</b>	<b>48</b>
<b>Tabela 14 – Composição média do farelo de soja na saída do secador. ....</b>	<b>51</b>
<b>Tabela 15 – Composição média da casca retiradas pelo sistema de aspiração de cascas. ....</b>	<b>54</b>
<b>Tabela 16 – Composição média da massa expandida após o sistema de aspiração de cascas. ....</b>	<b>55</b>
<b>Tabela 17 – Composição média do farelo para operação com sistema de separação de cascas. ....</b>	<b>56</b>
<b>Tabela 18 – Prospecção de retorno para o investimento para a implantação do sistema de aspiração de cascas. ....</b>	<b>59</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS

°C	Graus Celcius
%	Porcentagem
a.C.	Antes de Cristo
mi	Milhões
n°	Número
Ton	Tonelada

## LISTA DE SIGLAS

CNA	Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil
DT	Dessolventizador-Tostador
EUA	Estados Unidos da América
h	Hora
Kcal	Quilocaloria
Kg	Quilograma
KJ	Quilojoule
m <sup>3</sup>	Metro Cúbico
ME	Mercado Externo
MI	Mercado Interno
PCI	Poder Calorífico Inferior
pH	Potencial hidrogeniônico
R\$	Real (moeda brasileira)
T	Transação
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

## LISTA DE ACRÔNIMOS

Anec	Associação Nacional dos Exportadores de Cereais
Conab	Companhia Nacional De Abastecimento
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Mapa	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
Nopa	Associação Nacional de Produtos de Oleaginosas dos Estados Unidos
SAG	Sistema Agroindustrial
Usda	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>14</b>
2.1 GERAL.....	14
2.2 ESPECÍFICOS.....	14
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>15</b>
3.1 HISTÓRICO .....	15
3.2 A SOJA .....	16
3.3 EXPLORAÇÃO DE MERCADO .....	17
3.4 PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DA SOJA.....	23
3.4.1 Recebimento.....	23
3.4.2 Armazenamento.....	24
3.4.3 Preparação .....	25
3.4.3.1 Quebra do grão.....	26
3.4.3.2 Aspiração de cascas ou “ <i>dehulling</i> ” .....	26
3.4.3.3 Condicionamento ou “cozimento” do quebrado .....	27
3.4.3.4 Laminação .....	27
3.4.3.5 Expansão ou extrusão .....	28
3.4.4 Extração.....	28
3.4.5 Separação do Solvente e Óleo Extraído (Destilação de Miscela).....	31
3.4.6 Dessolventização e Tostagem da Torta.....	32
3.5 SISTEMA DE ASPIRAÇÃO .....	34
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
4.1 GERAL.....	37
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
5.1 BALANÇO DE MASSA DO PROCESSAMENTO DE SOJA .....	41
5.1.1 Condição de Operação 1: Processamento da Soja com Ausência de um Sistema de Aspiração de Cascas na Preparação .....	42
5.1.1.1 Manobra de processo 1: ressecagem dos grãos na armazenagem.....	47
5.1.1.2 Manobra de processo 2: aumento da secagem do farelo .....	51
5.1.2 Condição de Operação 2: Processamento de Soja com Utilização de um Sistema de Aspiração de Cascas.....	53
5.1.2.1 Perdas esperadas para a implantação do sistema de aspiração de cascas	
57	
5.2 CÁLCULO DE PAYBACK DO SISTEMA DE ASPIRAÇÃO DE CASCAS.....	58
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio é um importante setor para economia brasileira, representando 21,4% do produto interno bruto do país em 2019 (CNA, 2021). Neste contexto, a soja se destaca devido ao seu alto valor comercial decorrente do grande teor de proteína contida no grão e as suas inúmeras aplicações nas indústrias de: esmagadoras, de derivados de óleo, de rações, cosméticos, farmacêutica, de carnes, vernizes tintas e de plásticos, por exemplo.

O grão é o maior responsável da produção agropecuária, com faturamento de aproximadamente R\$1,00 de cada R\$4,00 da produção do setor no Brasil (CNA, 2021). Na safra 2019/2020, o Brasil foi o maior produtor mundial de soja, alcançando 124,845 milhões de toneladas (EMBRAPA, 2020b) e com perspectiva de atender um volume de 134,95 milhões de toneladas para a safra de 2020/2021, o que representa um aumento de 8,1% em relação ao ano anterior, de acordo com (CONAB, 2020a).

Em uma indústria esmagadora de soja, a quantidade de proteína contida no grão é de extrema importância para a calibração do processo, para a qualidade do produto final e para o atendimento das especificações dos contratos. Porém, para Pípolo et al. (2015), este setor tem enfrentado problemas devido a imprevisibilidade da matéria prima decorrente do foco das empresas de melhoramento genético ser em produtividade ao invés de teor de proteína no grão. Estas grandezas são inversamente proporcionais, portanto, apesar dos recordes de produção, a qualidade do grão vem diminuindo ao longo dos anos. Sendo assim, como alternativa para saturar os teores de proteína no farelo, sem alterar o processo de extração, utiliza-se de um processo opcional que é o de aspiração de cascas. Este sistema trata-se de uma coluna pela qual é passado soja quebrada, um ventilador realiza a aspiração de ar em fluxo contracorrente e um ciclone realiza a retirada de materiais leves, de modo que possibilite a retirada de 3 a 3,5% de fibras

Portanto, este trabalho visa realizar uma análise financeira para a implantação de um sistema separador de cascas em uma indústria esmagadora de soja, instalada na região dos Campos Gerais, realizando um ensaio sobre os ganhos pretendidos a partir da melhoria na porcentagem de proteína final no farelo de soja, a diminuição de intervenções no processo e ao o aumento na variedade de produtos.

## 2 OBJETIVOS

Ao longo do presente contexto trabalhou-se em responder: Quais os ganhos pretendidos para implantação de um processo de aspiração de cascas em uma indústria esmagadora de processamento de soja?

### 2.1 GERAL

Realizar análise financeira para a implantação de um sistema de separação de cascas por aspiração na etapa de preparação, numa indústria de processamento de soja, localizada na Região dos Campos Gerais.

### 2.2 ESPECÍFICOS

Desenvolver estudo sobre o funcionamento do sistema de aspiração de cascas e seus benefícios;

Analisar o cenário de operação para o processamento de soja na condição de ausência de um sistema de aspiração de cascas no setor da Preparação e as possíveis manobras de processo para obtenção de farelo com teor de 46% de proteína;

Analisar o cenário de operação para o processamento de soja com a utilização de um sistema de aspiração de cascas no setor da Preparação e as possíveis perdas esperadas com implantação do equipamento;

Realizar análise financeira através de cálculo de *payback* levando em consideração os ganhos e perdas esperados para a implantação do sistema de aspiração de cascas e o investimento na aquisição do projeto pela indústria esmagadora de soja.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 HISTÓRICO

A soja cultivada atualmente se diferencia muito do passado quando eram desenvolvidas na costa leste da Ásia ao longo do rio Yangtse, na China. Inicialmente a planta era rasteira e, a partir de cruzamentos naturais com espécies de soja selvagem, pôde ser domesticada e melhorada na antiga China. As primeiras citações sobre a soja datam entre 2883 a 2838 a.C. no livro “Pen Ts'ao Kong Mu”, que descrevia as plantas da China ao Imperador Sheng-Nung (EMBRAPA, 2020a).

Entre os séculos XIV e XIX, pesquisadores europeus obtiveram sementes e as distribuíram para os jardins botânicos e estações experimentais da Alemanha, Inglaterra, Áustria, Holanda, Suíça, Polônia, França, Itália e Hungria (CÂMARA, 2015).

A partir do século XX, o teor de óleo e proteína do grão começa a despertar o interesse das indústrias mundiais. No entanto, as tentativas de introdução comercial do cultivo do grão na Rússia, Inglaterra e Alemanha fracassaram, provavelmente, devido às condições climáticas desfavoráveis (EMBRAPA, 2020a). Apesar da difusão da soja ter iniciado na China em 2838a.c., o grão chegou nos Estados Unidos em 1804 e no Brasil apenas em 1882, conforme Figura 1.

Figura 1 - Difusão da soja no mundo a partir da China.



Fonte: Bonetti (1970).

Já no Brasil, a soja chegou no estado da Bahia em 1882, porém não obteve sucesso. Outra tentativa de cultivo foi realizada em São Paulo em 1892, mas só em 1908 melhores resultados foram obtidos por imigrantes japoneses que cultivaram cerca de 50 espécies norte-americanas. Em 1914, o grão foi estudado no Rio Grande do Sul pelo professor E. Craig, na antiga Escola Superior de Agronomia e Veterinária da Universidade Técnica, precursora da atual Universidade Federal do Rio Grande do Sul. A evolução cresceu nesse estado, resultando em uma produção consistente de 18 mil toneladas em 1949, o que acarretou na primeira exportação brasileira do grão (CÂMARA, 2015).

Câmara (2015) explica que o Estado do Paraná, atualmente grande produtor dessa leguminosa, iniciou seu cultivo em 1954, em substituição aos cafezais dizimados por fortes geadas. E, segundo Paraíso (2001), com o grande avanço da produção de grãos nas décadas de 70 e 80, instalaram-se nesta região grandes unidades industriais que contribuem significativamente ao atendimento da demanda tanto no mercado interno quanto no mercado externo, sendo o óleo e o farelo os principais produtos que compõem a receita destas empresas. Deste modo, de uma participação de apenas 0,5% da produção mundial em 1958, o Brasil atingiu 16% em 1976 (CÂMARA, 2015) e, atualmente, produz em torno de 37% do volume mundial de grãos de soja (USDA, 2021a).

### 3.2 A SOJA

A soja, de nome científico *Glycine max (L.) Merril*, é uma planta herbácea pertencente à família das Leguminosas, a qual é composta por proteínas, carboidratos, óleo, água e cinzas. Segundo Bordignon e Mandarino (1994), as frações de cada componente variam tanto de acordo com a herança genética do genótipo quanto das condições edafoclimáticas nas quais a planta se desenvolveu. Pode-se dizer que, de maneira geral, as sementes da região Sul e Sudeste apresentam em sua composição média de 37% de proteína, 28,3% de carboidratos, 20% de óleo, 10% de água e 4,7% de cinza, conforme descrito na Tabela 1.



**Tabela 1 - Composição média da soja cultivada nas regiões Sul e Sudeste do Brasil.**

Componentes	Porcentagem (%)
Proteína	37
Carboidratos	28,3
Óleo	20
Água	10
Cinzas	4,7

Fonte: Adaptado de (CUSTÓDIO, 2003).

### 3.3 EXPLORAÇÃO DE MERCADO

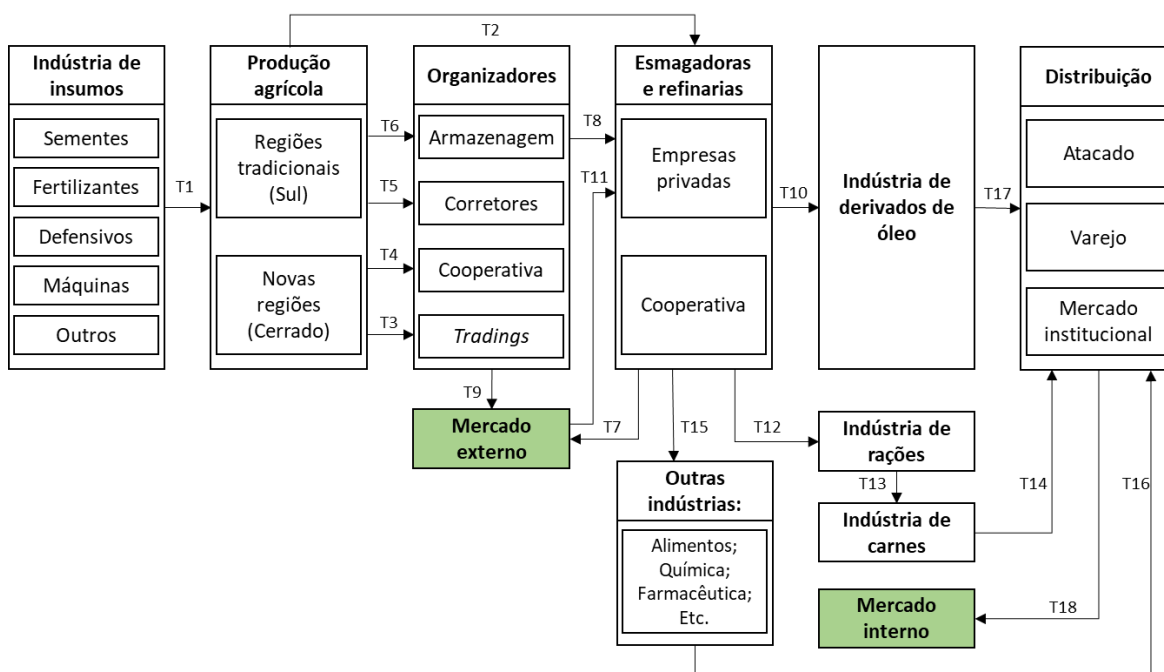
De acordo com Brasil (2007), o Sistema Agroindustrial (SAG) da soja é um dos mais expressivos e organizados da economia brasileira. Lazzarini e Nunes (2000) definem a cadeia produtiva na Figura 2 e consideram que o SAG da soja é delimitado pelos seguintes segmentos e transações, representadas pela letra “T”:

- A indústria de insumos agrícolas se relaciona com o setor de produção agrícola (transação T1) e se refere a produção de sementes, fertilizantes, defensivos, máquinas, entre outros.
- A produção agrícola ocorre predominantemente na região sul e centro-oeste, estando a “frente” do setor de insumos (T1) e “atrás” das indústrias esmagadoras e refinarias (T2) e dos organizadores, o que engloba *tradings* (T3), cooperativas (T4), corretores (T5) e armazenagem (T6).
- Os organizadores são os responsáveis pela originação da soja fazendo uma ponte entre os produtores e o mercado externo ou indústrias esmagadoras e refinarias. As *tradings* (T3) são agentes de comercialização intermediária entre o produtor e o mercado externo (T9). Essa comercialização também se dá através das unidades armazenadoras (T6), corretores (T5) e cooperativas (T4).
- As esmagadoras e refinarias são indústrias de iniciativa privada ou cooperativas que fazem o esmagamento da soja proveniente da produção agrícola nacional (T2), de organizadores (T8) ou de importação (T11). O processamento resulta em farelo de soja que é destinado a exportação (T7) ou indústria de rações no mercado interno (T12). Outro produto obtido é óleo degomado e o refinado que são enviados às indústrias de derivados de óleos

(T10). A obtenção de lecitina ocorre em algumas plantas de processamento de soja e pode ser destinada à exportação ou indústrias de alimentos, química, farmacêutica (T15), por exemplo.

- O segmento de derivados de óleo produz produtos como: margarina, maionese e gordura vegetal que são destinados para distribuição no atacado ou varejo (T17).
- A distribuição recebe os produtos provenientes da indústria de carnes (T14), outras indústrias (T16) e indústrias de derivados de óleo (T17) e realiza a comercialização via varejo ou atacado para o mercado interno (T18) que são os consumidores finais dos produtos.

**Figura 2 - Delimitações da cadeia produtiva da soja no Brasil.**



Fonte: Adaptado de Lazzarini e Nunes (2000).

Nos últimos anos, o Brasil tem ganhado grande representatividade na produção de soja. De acordo com o *United States Department of Agriculture (USDA, 2021a)*, a produção no país aumentou de 39,50 milhões de toneladas na safra 2000/2001 para 136 milhões de toneladas na contagem até o mês de abril da safra 2020/2021.

No cenário mundial, o Brasil e os Estados Unidos da América (EUA) têm sido os maiores produtores de soja no mundo há alguns anos. Na safra 2019/2020, o Brasil foi o maior atingiu a marca de 128,5 milhões de toneladas, enquanto os EUA produziu 96,6 milhões de toneladas. E até o mês de abril da safra de 2020/2021, o país continua na liderança com 136 milhões de toneladas produzidas, enquanto os EUA está na segunda posição com 112,55 milhões de toneladas, os dois países juntos produziram 68,44% de toda a soja do mundo (USDA, 2021a), conforme Tabela 2.

**Tabela 2 - Produção de soja no mundo em milhões de toneladas entre as safras de 2017/2018 e 2020/2021.**

<b>País / Safra</b>	<b>2017/2018</b>	<b>2018/2019</b>	<b>2019/2020</b>	<b>2020/2021</b>	<b>% 2020/2021</b>
<b>Brasil</b>	123,400	119,700	128,500	136,000	37,45%
<b>Estados Unidos</b>	120,065	120,515	96,667	112,549	30,99%
<b>Argentina</b>	37,800	55,300	48,800	47,500	13,08%
<b>China</b>	15,283	15,967	18,100	19,600	5,40%
<b>Índia</b>	8,350	10,930	9,300	10,700	2,95%
<b>Paraguai</b>	11,046	8,520	9,900	9,700	2,67%
<b>Outros</b>	27,892	30,112	27,729	27,138	7,47%
<b>Total</b>	<b>343,836</b>	<b>361,044</b>	<b>338,996</b>	<b>363,187</b>	<b>100,00%</b>

Fonte: Adaptado de (USDA, 2021a).

No Brasil, os maiores estados produtores de soja na safra de 2020/2021 foram Mato Grosso (35.751,80 mil de toneladas), Paraná (20.197,80 mil de toneladas), Goiás (13.719,50 mil de toneladas), Rio Grande do Sul (20.066,90 mil de toneladas) e Mato Grosso do Sul (11.620,20 mil de toneladas). Enquanto todos os outros estados brasileiros somados produziram 34.184,10 mil toneladas no mesmo período. Além disso, Mato Grosso e Paraná apresentaram queda de produção em relação à safra 2019/2020 de 0,37% negativos e 6,48% negativos respectivamente. Já Goiás, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul apresentaram aumento de produção de 4,25%, 75,35% e 2,26% respectivamente, conforme Tabela 3 (CONAB, 2020b).

Tabela 3 – Produção de soja no Brasil em mil toneladas nas safras de 2019/2020 e 2020/2021.

<b>Estado</b>	<b>Safra 19/20 (a)</b>	<b>Safra 20/21 (b)</b>	<b>Var. % (b/a)</b>
<b>Mato Grosso</b>	35884,700	35751,800	-0,370
<b>Paraná</b>	21598,100	20197,800	-6,483
<b>Goiás</b>	13159,400	13719,500	4,256
<b>Rio Grande do Sul</b>	11443,600	20066,900	75,355
<b>Mato Grosso do Sul</b>	11362,800	11620,200	2,265
<b>Outros</b>	31396,200	34184,100	8,880

Fonte: Adaptado de (CONAB, 2020b).

De acordo com (USDA, 2021a), o Brasil também bate recorde de exportação de soja no mundo. Na safra de 2019/2020, o país atingiu a marca de 92,14 milhões de toneladas de soja exportadas e até o mês de abril da safra 2020/2021 cerca de 86 milhões de toneladas, o que representa 50,32% do total exportado no mundo, conforme Tabela 4.

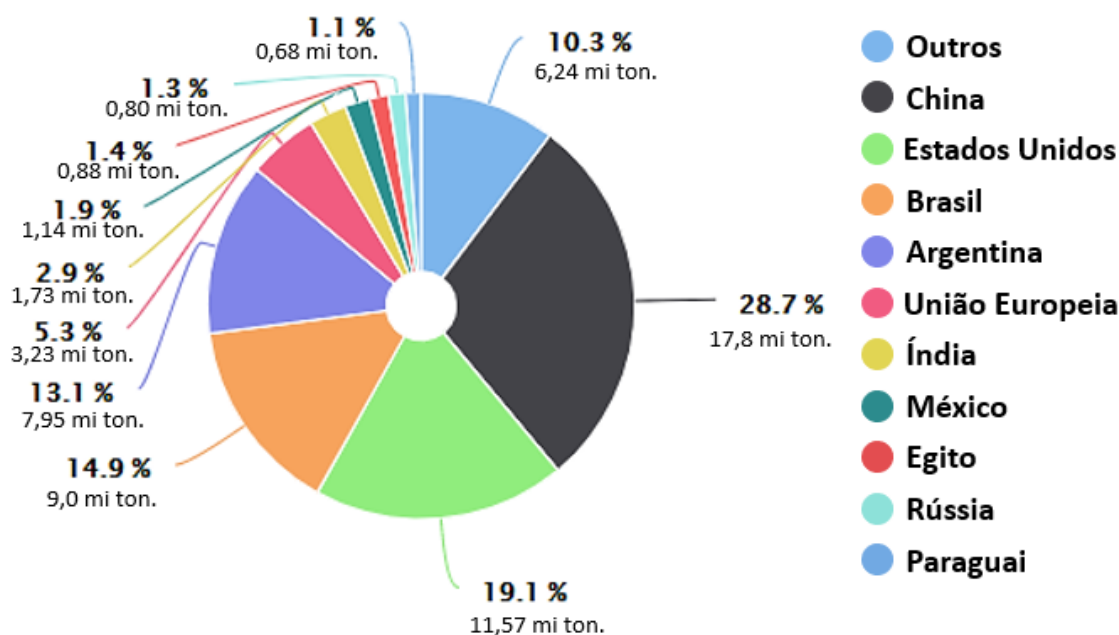
Tabela 4 – Exportação de soja no mundo em milhões de toneladas entre as safras de 2017/2018 a 2020/2021.

<b>País / Safra</b>	<b>2017/2018</b>	<b>2018/2019</b>	<b>2019/2020</b>	<b>2020/2021</b>	<b>% 2020/2021</b>
<b>Brasil</b>	76,136	74,887	92,135	86,000	50,32%
<b>Estados Unidos</b>	58,071	47,676	45,777	62,051	36,31%
<b>Argentina</b>	2,132	9,104	10,002	6,850	4,01%
<b>Paraguai</b>	6,029	4,901	6,619	6,000	3,51%
<b>Outros</b>	10,799	12,258	10,519	10,011	5,86%
<b>Total</b>	153,167	148,826	165,052	170,912	100,00%

Fonte: Adaptado de (USDA, 2021a)

De acordo com (USDA, 2021b), a produção de óleo de soja no mundo cresceu de 26,818 milhões de toneladas na safra 2000/2001 para 60,598 milhões de toneladas até o mês de abril da safra 2020/2021. E quando analisado os três países maiores produtores para o mesmo período, pode-se observar pela Figura 3 que o Brasil está em terceiro lugar com 9 milhões de toneladas (14,9%), perdendo apenas para China com 17,80 milhões de toneladas (28,7%) e Estados Unidos com 11,57 milhões de toneladas (19,1%).

Figura 3 – Ranking dos 10 países com maior produção de óleo de soja no mundo em milhões de toneladas.



Fonte: Adaptado de (USDA, 2021b).

O farelo da soja é outro produto resultante do processamento do grão da soja e é uma das principais fontes de proteína na dieta animal. De acordo com Usda (2021c), até o mês de abril da safra 2020/2021, os maiores produtores deste produto no mundo foram China (76,032 milhões de toneladas), Estados Unidos (46,955 milhões de toneladas), Brasil (36,24 milhões de toneladas) e Argentina (31,22 milhões de toneladas), estes países juntos produzem 75,18% de todo o farelo do mundo, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Produção de farelo de soja no mundo em milhões de toneladas entre as safras de 2017/2018 a 2020/2021.

País / Safra	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	% Safra 2020/2021
China	71,280	67,320	72,468	76,032	30,01%
Estados Unidos	44,657	44,283	46,358	46,955	18,54%
Brasil	34,300	32,960	35,650	36,240	14,31%
Argentina	28,450	31,250	29,870	31,220	12,32%
União Europeia	11,811	12,324	12,917	13,429	5,30%
Índia	6,160	7,680	6,720	7,760	3,06%
Outros	35,499	38,056	40,558	41,687	16,46%
<b>Total</b>	<b>232,157</b>	<b>233,873</b>	<b>244,541</b>	<b>253,323</b>	<b>1,000</b>

Fonte: Adaptado de (USDA, 2021c).

No Brasil, o padrão de especificação do farelo de soja é de responsabilidade da Associação Nacional dos Exportadores de Cereais (ANEC) para exportação (mercado externo) e do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) - Portaria 795, para o mercado interno, de acordo com Pípolo et al. (2015). Segundo o MAPA, o farelo tostado é resultado de um processo térmico ao qual a torta é submetida após a extração e tem como característica a ausência de matérias estranhas em sua composição e atividade ureática com variação de pH inferior a 0,5. O farelo de soja é a principal fonte de proteínas na dieta animal e é negociado de acordo com as suas composições físico-químicas, em especial com quantidade de proteína contida no produto. Este produto pode ser classificado em três tipos diferentes de acordo com a portaria n° 795 de 15 de dezembro de 1993, conforme ilustrado na Tabela 6 (BRASIL, 1993).

**Tabela 6 – Composição físico-química padrão do farelo de soja tostado de acordo com a portaria n° 795 de 15 de dezembro de 1993.**

Característica de qualidade	Farelo do tipo 1 ("Hipro")	Farelo do tipo 2 ("Pellet")	Farelo do tipo 3 ("Low pro")
Teor de umidade	Máximo 12,5%	Máximo 12,5%	Máximo 12,5%
Teor de proteína	Mínimo 48%	Mínimo 46%	Mínimo 44%
Residual de gordura	Máximo 2,5%	Máximo 2,5%	Máximo 2,5%
Teor de fibra	Máximo 5%	Máximo 6%	Máximo 7%
Teor de cinzas	Máximo 6%	Máximo 6%	Máximo 6,5%
Teor de sílica	Máximo de 0,3%	Máximo de 0,5%	Máximo de 0,5%
Atividade ureática	pH na faixa de 0,05 a 0,25	pH na faixa de 0,05 a 0,25	pH na faixa de 0,05 a 0,25
Matérias estranhas	Isento	Isento	Isento

Fonte: Adaptado de (BRASIL, 1993).

O farelo do tipo 1 "*Hipro*" apresenta 48% de proteína em sua composição final e tem seu teor proteico ajustado pela remoção das cascas dos grãos antes do processo de extração do óleo. O farelo do tipo 2 "*Pellet*" apresenta 46% de proteína bruta e, na maioria dos casos, tem o seu valor proteico balanceado através das cascas presentes no grão. O farelo do tipo 3 "*Lowpro*" apresenta 44% de proteína bruta e

semelhante ao farelo “*Pellet*”, tem seu valor ajustado naturalmente ou através da adição de cascas no farelo “*Hipro*” (WIETZIKOSKI, 2018).

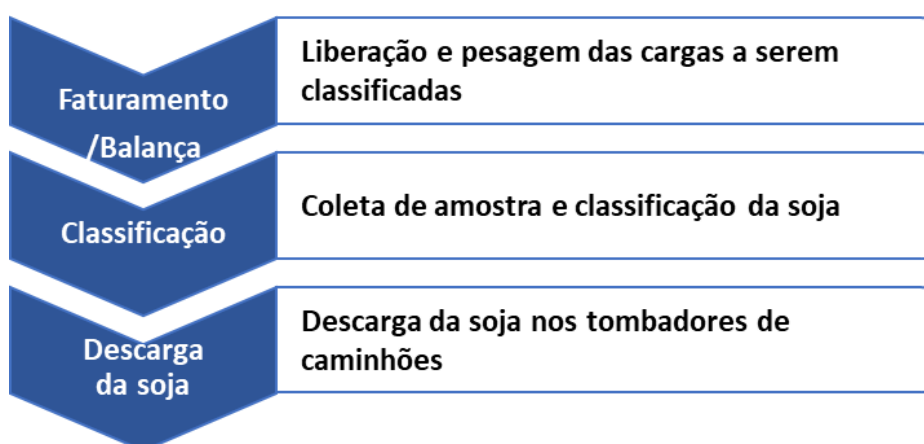
### 3.4 PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DA SOJA

O processo de obtenção de óleo de soja bruto é uma parte importante na indústria de óleo de soja comestível. As etapas do processamento são: recebimento, armazenagem, preparação dos grãos, extração do óleo bruto de soja, separação do solvente e óleo extraído e dessolventização e tostagem do farelo.

#### 3.4.1 Recebimento

A etapa de recebimento envolve as áreas de faturamento, classificação, descarga de soja dos caminhões (Figura 4).

Figura 4 – Fluxograma do processo de recebimento da soja em uma indústria esmagadora.



Fonte: Autoria própria.

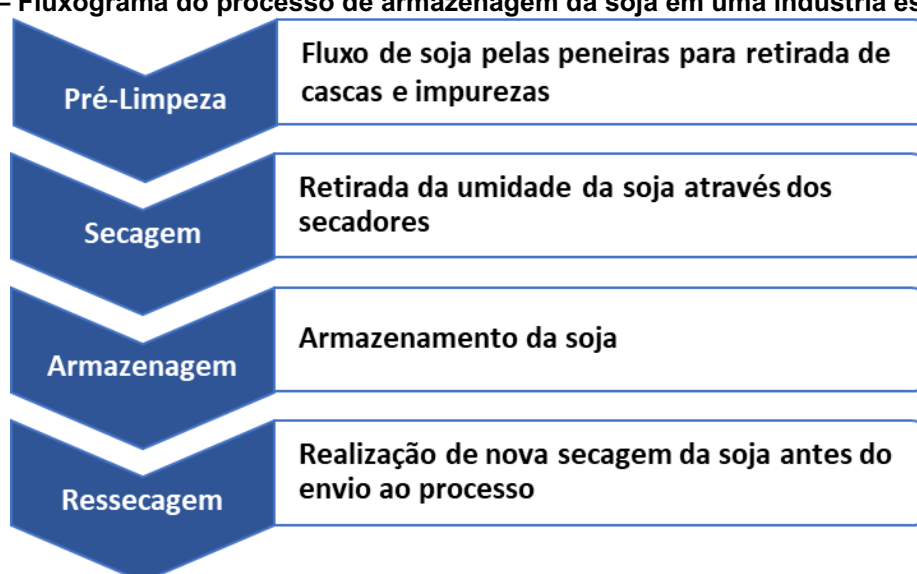
O faturamento é o setor onde os caminhões são pesados e liberados para a classificação da carga e para onde eles voltam após o descarregamento de cargas, ou seja, é a porta de entrada e saída da fábrica. Na etapa de classificação, o grão da soja é avaliado de acordo com padrões de qualidade, seus índices de umidade, impurezas, avariados e grãos esverdeados. A importância desse processo está em

conhecer as características do grão que será esmagado. Após isso, os caminhões aprovados são direcionados para a área dos tombadores, onde a soja é descarregada.

### 3.4.2 Armazenamento

A etapa de armazenamento envolve as áreas de pré-limpeza, secagem, armazenamento e ressecagem, se necessário (Figura 5).

Figura 5 – Fluxograma do processo de armazenagem da soja em uma indústria esmagadora.



Fonte: Autoria própria.

A soja descarregada é direcionada para a pré-limpeza, onde ocorre o peneiramento dos grãos. Esta etapa é importante para realizar a retirada de impurezas que podem interferir no processo de armazenagem, produção ou danificar equipamentos. Após isso, de acordo com os resultados de classificação, o grão é direcionado para armazenagem ou secagem, o que varia de acordo com a umidade do grão.

No processo de secagem, os grãos passam por secadores alimentados a lenha que produzem ar quente que entram em contato direto com a soja e retira a umidade do grão. Quando armazenados, os grãos são estocados nos silos, onde é controlado a temperatura versus o tempo sem movimentação da soja.



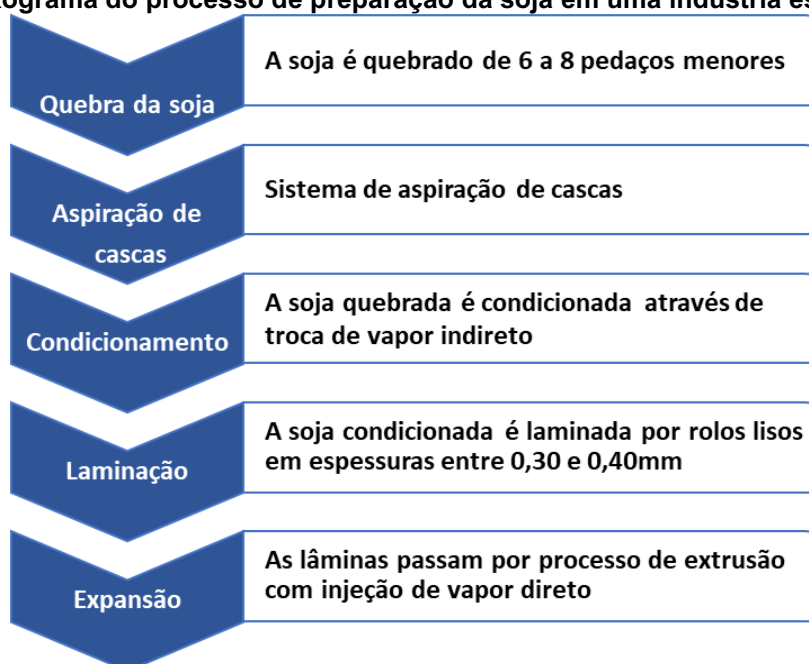
“Quando as sementes oleaginosas são armazenadas em más condições, podem ocorrer problemas, tais como: aquecimento da semente, chegando até a carbonização, caso esteja com umidade acima da crítica (13%); aumento de acidez; escurecimento do óleo contido na semente, tornando difícil a refinação e a clarificação; 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.” (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015, p. 9)

Após isso, a soja pode passar novamente pelos secadores, se necessário, e então é enviada a processo (preparação e extração).

### 3.4.3 Preparação

Nesta etapa o grão da soja tem seu tamanho diminuído, passando por vários equipamentos que, para Amaral (2006), permitem que ocorra o rompimento do tecido das paredes das células, diminuindo a distância entre o centro da semente e sua superfície, aumentando a superfície de saída do óleo. Convencionalmente, este processo consiste na quebra do grão, aspiração de cascas (opcional), condicionamento do quebrado, laminação e expansão, conforme mostrado na Figura 6, e é uma etapa de extrema importância para a posterior extração do óleo do grão.

**Figura 6 – Fluxograma do processo de preparação da soja em uma indústria esmagadora.**



Fonte: Autoria própria.

### 3.4.3.1 Quebra do grão

Inicialmente a soja passa por dois pares de rolos quebradores, onde, segundo Prado (2013), ocorre a quebra dos grãos de 4 a 8 partes nos cilindros superiores e posteriormente de 8 a 16 partes nos cilindros inferiores. Sendo que as estrias são mais profundas e menos numerosas no primeiro par e em maior número no segundo par de rolos.

### 3.4.3.2 Aspiração de cascas ou “*dehulling*”

Esta etapa é opcional e consiste em um sistema de aspiração, onde parte da casca é separada da polpa do grão quebrado para que o alto teor de fibra não prejudique as etapas posteriores (PRADO, 2013). Segundo Woerfel (1995), a aspiração de cascas é feita para produzir um farelo de alta proteína para consumo humano ou animal. A quantidade de fibras irá influenciar diretamente no balanço de massa do farelo e o padrão de comércio de acordo com a Associação Nacional de Produtos de Oleaginosas dos Estados Unidos (NOPA) segue os padrões mostrados na Tabela 7.

**Tabela 7 – Especificações padrões para farelo de soja segundo a NOPA.**

<b>Componente</b>	<b>44% de proteína</b>	<b>Proteína alta</b>
<b>Proteína (mínimo)</b>	44%	47.5 - 49%*
<b>Óleo (mínimo)</b>	0.5%	0.5%
<b>Fibra (máximo)</b>	7%	3.3 - 3.5%*
<b>Umidade</b>	12%	12%

\*Determinado pelo vendedor e comprador no momento da compra

Fonte: Adaptado de (WOERFEL, 1995).

Inicialmente, 8% da composição do grão da soja é casca. Na prática não é possível retirar toda essa quantidade em massa, porém a intenção é retirar fibra suficiente para a produção do farelo de alta proteína. Existem exceções e por vezes, a proteína inerente do grão pode ser tão baixa que dificulta a produção de farelo com alta proteína (WOERFEL, 1995).

Durante a aspiração, pequenas partículas de soja são aspiradas juntamente com as cascas. De maneira geral, é aceitável para o processo que se tenha 1,5% de óleo na casca. Como vantagem o processo traz menor quantidade de óleo residual no farelo e aumento da capacidade de extração da planta porque as cascas não passam pelo extrator, com isso o processamento pode aumentar em até 10% ou mais. Outro fator de extrema relevância é que quando o farelo não atinge os valores comerciais acordados entre a empresa e o comprador, altos descontos ou até mesmo a rejeição da carga podem ser exercidos sobre o expedidor (WOERFEL, 1995).

#### 3.4.3.3 Condicionamento ou “cozimento” do quebrado

O condicionador, também chamado de “cozinhador”, trata-se de um tubo cilíndrico rotativo que possui tubos que passam vapor em seu interior. Segundo Prado (2013), o quebrado é aquecido por vapor indireto no condicionador, o que dá plasticidade para facilitar a laminação e traz os bolsões de óleo para a superfície. O vapor indireto é injetado aumentando ao mesmo tempo a umidade e a temperatura dos grãos. A temperatura de trabalho do equipamento é em torno de 70°C.

O condicionamento apresenta vários benefícios que segundo Custodio (2003), são: controle da umidade e da coagulação parcial de proteínas; Incremento na permeabilidade das células; Aglomeração das gotículas de óleo; Redução na viscosidade do óleo; Melhora na plasticidade do material a ser laminado; Aquecimento para extração em temperatura ótima.

#### 3.4.3.4 Laminação

Nesta etapa, a soja passa por dois rolos horizontais e oblíquos, onde ocorre a diminuição da distância entre o centro do grão e sua a superfície que faz com que aumente a área disponível para extração do óleo. As lâminas são formadas resultantes deste processo com cerca de dois a quatro milímetros de espessura e dois centímetros de superfície (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015). As dimensões das lâminas são importantes pois a interação sólido/líquido é facilitada, o que faz com que os flocos formados determinem a velocidade de extração através da

permeabilidade no interior das partículas sólidas e a percolabilidade do solvente num meio composto por camadas de flocos (CUSTODIO, 2003).

#### 3.4.3.5 Expansão ou extrusão

Segundo Custodio (2003), nesta etapa as partículas são comprimidas a temperaturas superiores à do ponto de ebulição da água. Ao atingirem a saída do expansor (a pressão atmosférica), o vapor de água expande-se, modificando as propriedades do material extrudado.

As principais vantagens da expansão de acordo com Prado (2013) são: Acréscimo da densidade em relação ao material laminado; Melhor percolabilidade do material expandido e menos finos; Melhor drenagem do material sólido ao final da extração, com menor arraste de solvente pelos sólidos.

De acordo com Perkins (1995), a composição média do grão de soja destinado ao processo de extração do óleo e da parte sólida (torta) é de 11% de umidade, 37,9% de proteína, 17,8% de óleo, 4,7% de fibra e 4,5% de cinzas.

#### 3.4.4 Extração

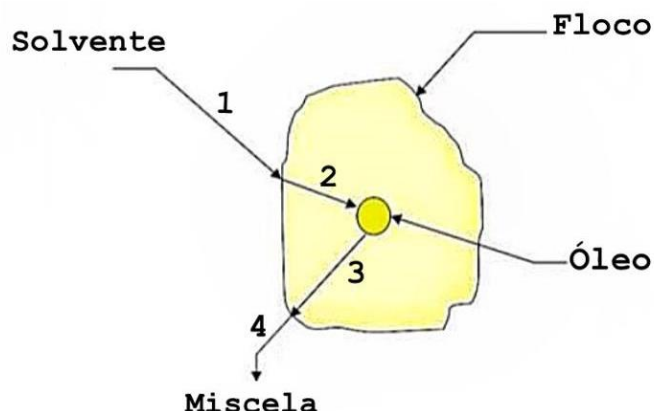
O sistema de extração de óleo vegetais pode ser subdividido em três partes distintas que são interligadas e interdependentes entre si: extração, destilação da miscela e tratamento do farelo.

Para extração do óleo do grão da soja utiliza-se n-hexano, um solvente altamente inflamável e explosivo, onde ocorre uma operação de transferência de massa que se baseia em:

“Etapa 1 – refere-se ao contato do solvente com a superfície do floco; Etapa 2 – refere-se ao fenômeno de difusão do solvente da superfície do floco até o óleo a fim de dissolvê-lo; Etapa 3 – refere-se ao fenômeno de difusão da mistura do solvente e óleo (miscela) através do floco até atingir a sua superfície; e Etapa 4 – refere-se à drenagem da miscela para outra posição distante do floco extraído.” (PRADO, 2013, p. 43)

O processo é ilustrado na Figura 7:

Figura 7 – Processo de transferência de massa do solvente hexano com um grão de soja.



Fonte: Adaptado de (PRADO, 2013).

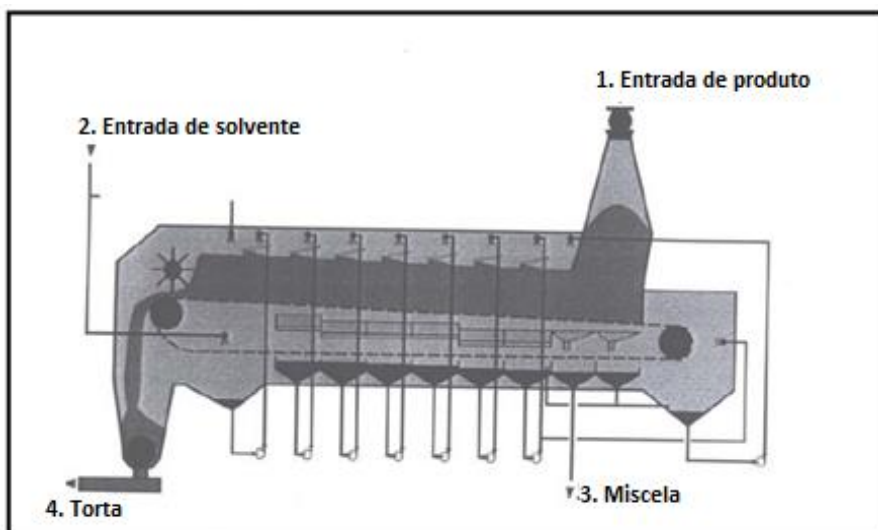
A extração de óleo por prensas foi utilizada até meados de 1920.

“As prensas, embora extraíam um óleo de boa qualidade, deixam resíduos no material sólido (torta) superiores, por exemplo a 5% para grãos como o de soja. Tais resíduos além de implicarem em perda de óleo, afetam a qualidade da torta, que é também um dos produtos efluentes do extrator.” (CUSTODIO, 2003, p. 7)

A extração por solvente, por outro lado, é capaz de retirar o óleo, deixando resíduos inferiores a 1%. Antes de serem submetidos ao extrator, os grãos necessitam preparo inicial para que possam ter seus conteúdos de óleo devidamente removidos (CUSTODIO, 2003). Os extratores são equipamentos que tem como meta reduzir o teor de óleo dos flocos da semente de soja de um valor em torno de 19%, em massa, para um valor inferior a 1% utilizando o hexano como solvente, segundo Paraíso (2001).

De acordo com Thomas (2003), a empresa “De SMET” construiu o primeiro extrator de correia transportadora horizontal (Figura 8). Este equipamento utiliza do método de percolação onde a matéria prima é carregada pela esteira e é lavada por distribuidores de miscela em fluxo contracorrente. A miscela sai pelo fundo através de placas perfuradas ou telas de sustentação e é recirculada por bombas para a lavagem de massa.

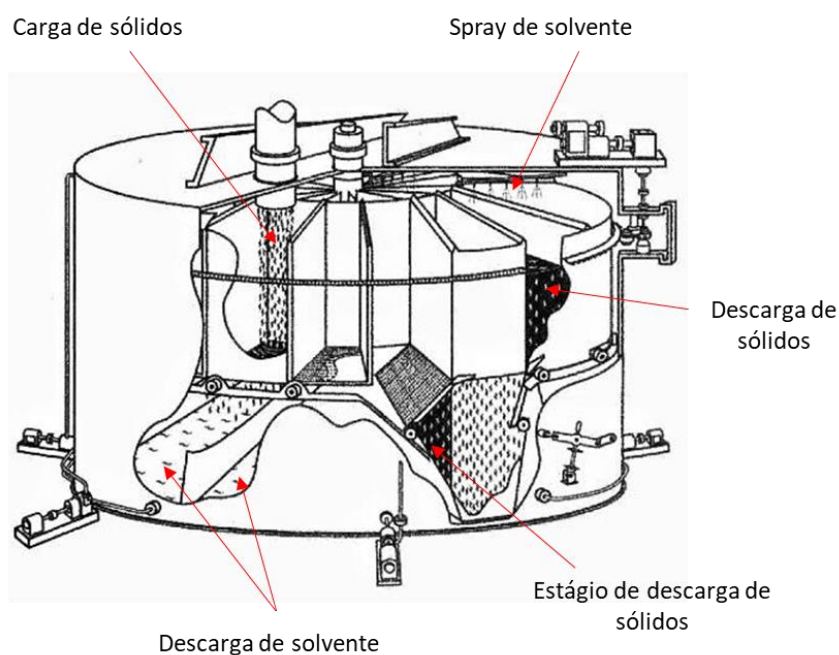
Figura 8 – Extrator por percolação “De Smet”.



Fonte: Adaptado de (WOERFEL, 1995).

Os extratores rotatórios ou “Rotocell” (Figura 9) consistem numa carcaça cilíndrica no interior das quais existem células rotatórias em torno de um eixo central. À medida que giram, o solvente é aspergido sobre a massa em contracorrente (CUSTODIO, 2003).

Figura 9 – Extrator rotatório ou tipo “Rotocell”.



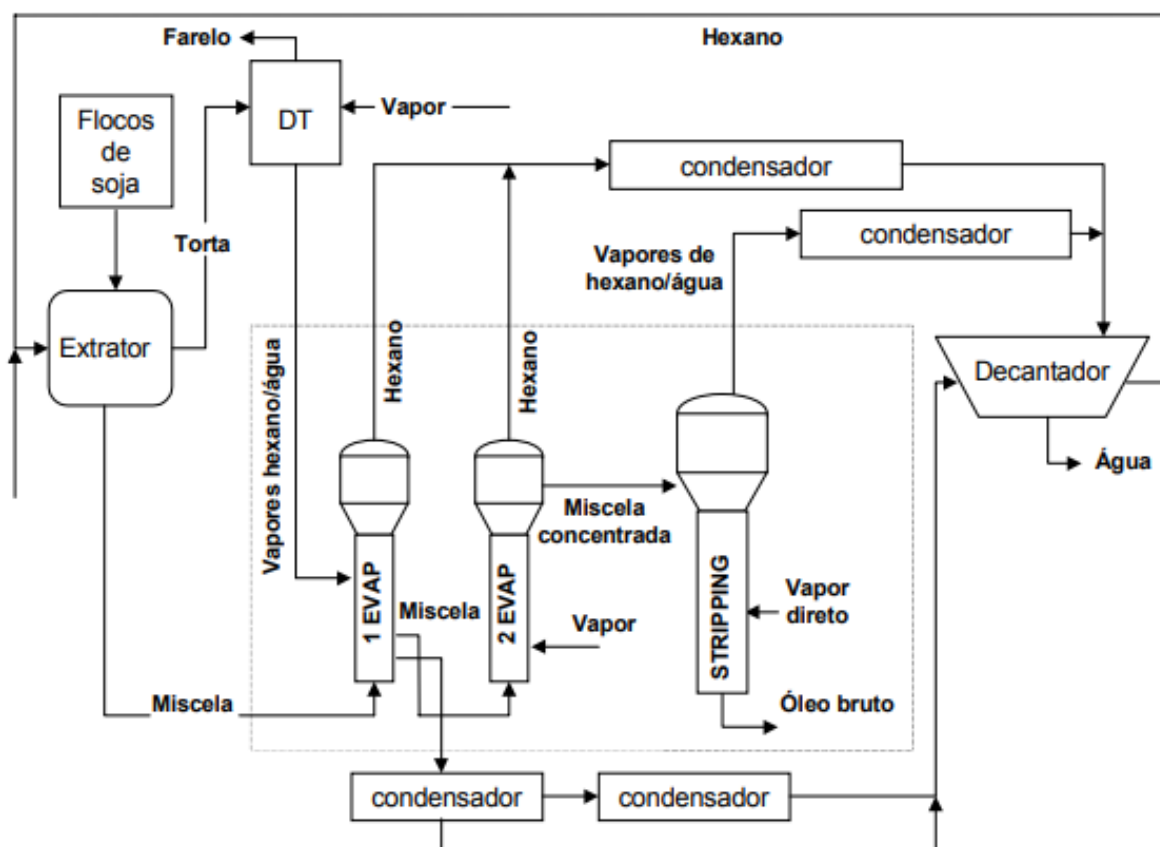
Fonte: (WOERFEL, 1995).

### 3.4.5 Separação do Solvente e Óleo Extraído (Destilação de Miscela)

A miscela é um produto do extrator que contém uma mistura de óleo e hexano. Zanetti (1981) explica que a miscela sai do extrator com cerca de 20 a 30% em massa de óleo e a destilação dessa mistura consiste em um conjunto de operações que visa à separação do solvente/óleo com o aquecimento da mistura.

Neste processo, a miscela passa por um evaporador, um economizador e uma coluna de *Stripping* (Figura 10). Estes equipamentos são interligados em séries e ao longo deste processo é injetado vapor indireto que em contato com a miscela evapora o hexano presente no óleo que é condensado e reutilizado. Como segundo produto tem-se o óleo com pouco residual de hexano que é enviado ao secador de óleo. Após isso, tem-se como resultado o óleo bruto. Nesta etapa também é reaproveitado os vapores quentes dos Dessolventizadores-Tostadores (DT's) que auxiliam na recuperação do hexano e geram economia ao processo.

Figura 10 – Fluxograma completo do processo de obtenção de farelo e óleo bruto.



Fonte: (CUSTODIO, 2003).

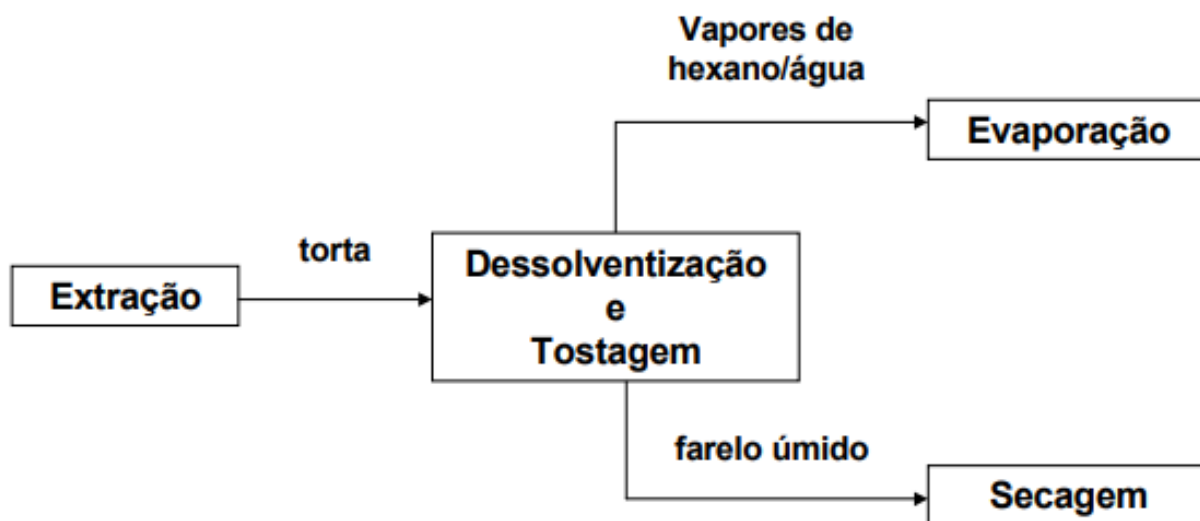
### 3.4.6 Dessolventização e Tostagem da Torta

Nesta etapa ocorre a retirada de solvente e a tostagem do farelo, onde:

“[...] além da retirada do solvente residual, o farelo de soja recebe um tratamento de calor e de umidade visando à qualidade nutricional, pois a tostagem inativa as enzimas da tripsina e desnaturam proteínas da soja, tornando-a suscetível ao ataque das enzimas proteolíticas, ou seja, torna o farelo de soja, que é praticamente todo usado para ração animal, digerível pelos mesmos.” (CUSTODIO, 2003, p. 41)

Como resultado deste processo têm-se o farelo úmido e vapores formados por hexano e água que irão posteriormente ser utilizados como fluido de aquecimento na destilação da miscela, em especial, no primeiro evaporador (CUSTODIO, 2003), conforme mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Fluxograma do processo de dessolventização e tostagem do farelo.



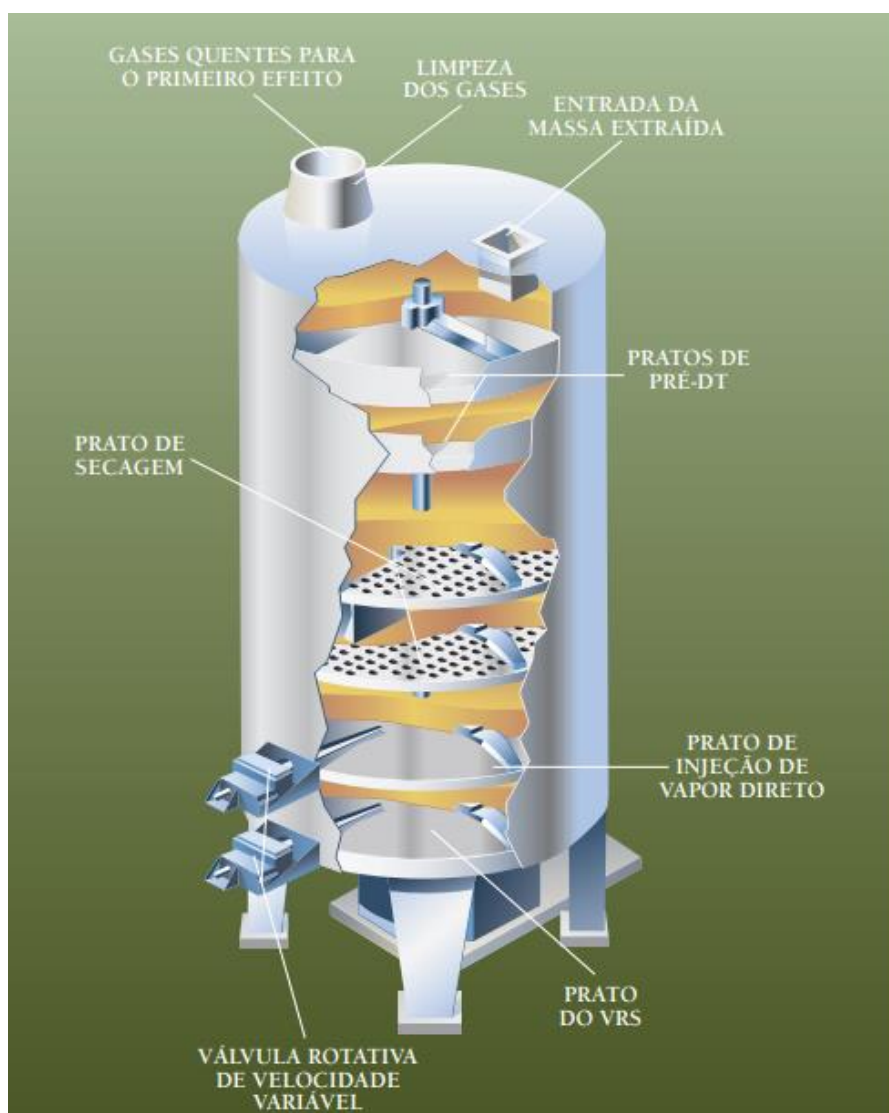
Fonte: (CUSTODIO, 2003).

O Dessolventizador-Tostador (DT) consiste em sete estágios, onde o vapor direto entra no segundo estágio, sendo distribuído pelo farelo no terceiro estágio através de venezianas laterais (Figura 12). 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.

**Figura 12 – Dessolventizador-tostador (DT) de farelo**



Fonte: (CROWN, 2021).

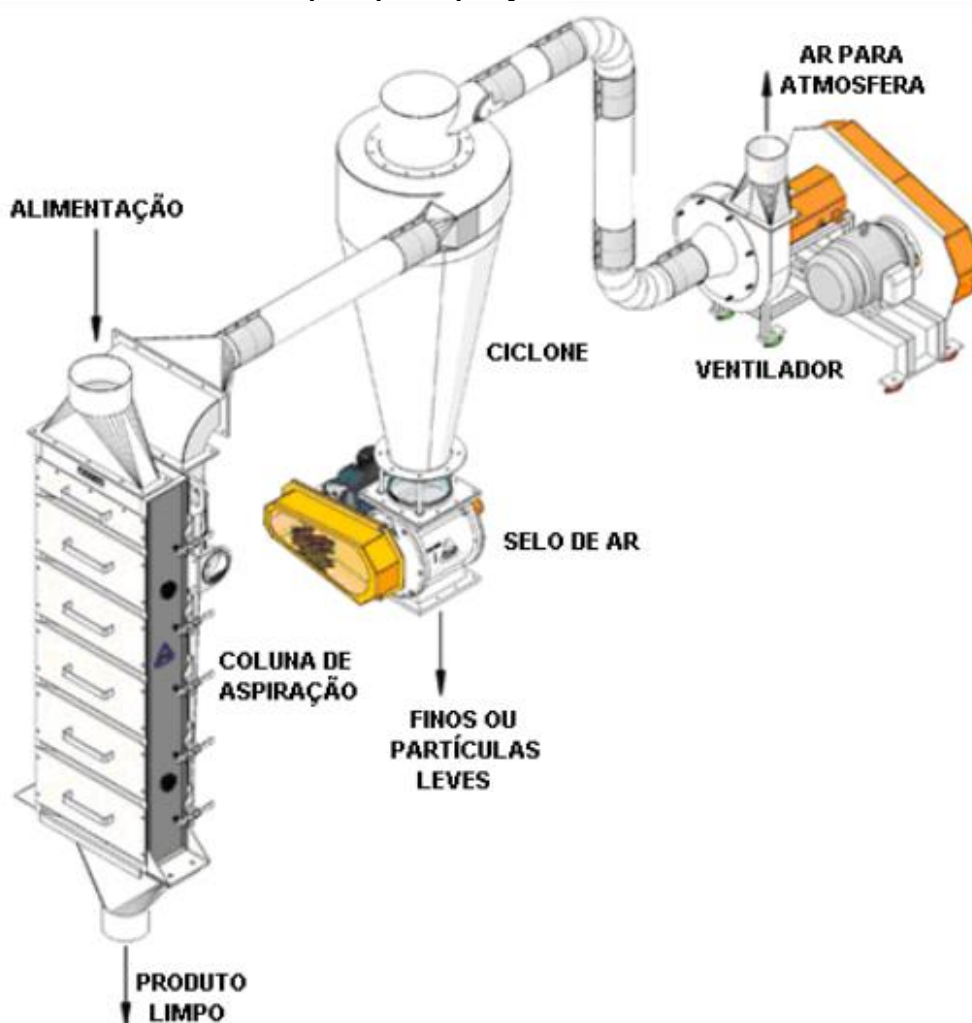
O tempo de permanência do farelo no tostador é de cerca de uma hora e a temperatura nos estágios individuais é de 85°C a 115°C. O produto é então armazenado em silos e sua umidade não deve ultrapassar 12% (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015). Após estes procedimentos, o farelo tostado pode ser comercializado à granel ou ensacado, e se apresentar na forma moída ou peletizada (BRASIL, 1993).

### 3.5 SISTEMA DE ASPIRAÇÃO

Um sistema de aspiração de cascas realiza a separação dos materiais de acordo com a diferença de suas velocidades terminais. O ar é utilizado para classificar os materiais de acordo com seus tamanhos, formas e densidades (KICE, 2020). Um sistema de aspiração de cascas é mostrado na Figura 13 e consiste em:

“[...] um alimentador (espalhador rotatório de corrente, alimentador rotatório de ventoinha, etc.), uma fonte de sucção (ventilador centrífugo com controle de damper), um receptor/separador (ciclone separador coletor ou filtro de manga), um selo de ar para descarregar os finos (válvula de câmara rotatória) e um duto de conexão. Todos estes componentes são avaliados e combinados para obter em conjunto a máxima eficiência.” (PIVATTO, 2011, p. 27)

Figura 13 – Sistema básico de limpeza por aspiração de casca.



Fonte: (PIVATTO, 2011).



O ciclone realiza a separação do material pesado arrastado para fora do separador onde, através de uma trajetória tangencial dentro do equipamento, os sólidos saem pela parte inferior enquanto o ar é removido pela parte superior. O selo de ar garante que a entrada de ar ocorra apenas pelo duto de alimentação e evita entrada de ar falso através do transportador de descarga dos grãos. O ventilador fornece vazão de ar ao ciclone, o qual é descartado para a atmosfera ou reciclado para o sistema. A remoção das cascas durante a etapa da Preparação irá promover benefícios como aumento da capacidade de esmagamento da planta, menor perda de solvente, menor consumo de vapor, entre outros fatores (WIETZIKOSKI, 2018).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será descrito o enquadramento metodológico do presente estudo.

### 4.1 GERAL

Quanto a natureza do objetivo da pesquisa, pode-se dizer que a mesma se encaixa no grupo das pesquisas exploratórias e descritivas. Segundo Gil (2002), as pesquisas exploratórias têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses, sendo as suas considerações construídas a partir de levantamento bibliográfico e análises de exemplos que “estimulem a compreensão”, por exemplo. Enquanto as descritivas têm como objetivo o estabelecimento de relações entre as variáveis. Essas características ficam claras considerando que ao longo do presente trabalho analisou-se a viabilidade de um investimento para o setor de preparação do grão.

A abordagem do presente trabalho é classificada como quantitativa pois segundo Richardson (1989, p. 70), caracteriza-se pela quantificação na coleta e no tratamento dos dados por meio de técnicas estatísticas, o que garante precisão nos resultados, evitando distorções de análise e interpretação. O que Santos (2001) complementa ao trazer que “o objetivo básico da análise de investimento é avaliar uma alternativa de ação ou escolher a mais atrativa entre várias, usando métodos quantitativos.”

Quanto a natureza do trabalho, o mesmo pode ser considerado uma pesquisa aplicada, pois segundo Da Silva e Menezes (2000) “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais.” Onde segundo Turrioni e Mello (2012), os resultados serão aplicados ou utilizados na solução de problemas que ocorrem na realidade.

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, a pesquisa pode ser classificada como bibliográfica, documental e estudo de caso. Segundo Da Silva e Menezes (2000), a pesquisa bibliográfica é elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e atualmente com material

disponibilizado na Internet. Para Gil (2002, p. 46), a pesquisa documental utiliza de documentos que de alguma forma já foram analisados, tais como: relatórios de pesquisa, relatórios de empresas, tabelas estatísticas, etc. E de acordo com Da Silva e Menezes (2000), o estudo de caso envolve o estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o seu amplo e detalhado conhecimento.

Para a elaboração dos resultados, estudou-se a comercialização de farelo com teor de 46% de proteína levando em consideração dois cenários de operação e os ganhos e perdas associados a cada um deles. Realizou-se cálculos de balanço de massa para a ilustração dos sistemas levando em consideração os fluxos de entrada, saída e acúmulo, utilizando a Equação 4.1:

$$\dot{m}_{\text{entrada}} - \dot{m}_{\text{saída}} = \dot{m}_{\text{acumulado}} \quad (4.1)$$

Adaptou-se a Equação 4.1 para o cenário da empresa, onde o processamento da soja (S), resulta em óleo (O), farelo (F), cascas (C) e impurezas (I), conforme a Equação 4.2:

$$S = O + F + C + I \quad (4.2)$$

Para o cálculo de fração mássica (fração mássica (i)) dos componentes de cada fluxo, utilizou-se a Equação 4.3, onde este valor é uma relação da massa do elemento de estudo (massa (i)<sub>x</sub>) pela massa total do produto (massa total<sub>x</sub>):

$$\text{Fração mássica (i)} = \left( \frac{\text{Massa(i)}_x}{\text{Massa total}_x} \right) \quad (4.3)$$

No primeiro cenário de produção, analisou-se o processamento de soja com a ausência de um sistema de aspiração de cascas no setor da Preparação. Dividiu-se este estudo em três etapas, realizando o balanço de massa na armazenagem, levando em consideração como entrada a soja do recebimento, a retirada de impurezas nas peneiras de pré-limpeza e a saída de soja limpa ao fim desta etapa. Após isso, realizou-se o balanço de massa na preparação, levando em consideração a entrada de soja limpa e a saída de massa expandida. E, por fim, realizou-se o balanço de massa na extração, levando em consideração a entrada de massa expandida e água e a saída de óleo bruto e farelo.

Para a base de cálculos foram utilizados como instrumentos o referencial bibliográfico, cotações de órgãos confiáveis e dados operacionais fornecidos pela indústria esmagadora de soja. Além disso, utilizou-se dados fornecidos pela Empresa A para composição média do grão de soja no recebimento, composição média das impurezas retiradas nas peneiras de pré-limpeza, composição média do material retirada por aspiração (cascas), massa de injeção de água como vapor direto durante expansão das lâminas de soja e massa de óleo bruto produzido, nas condições de operação com presença e ausência do sistema de aspiração de cascas.

Devido à ausência de descasque, é produzido farelo de baixo teor proteico e, deste modo, faz-se necessário realizar a retirada de água para consequente saturação da proteína no farelo que pode ocorrer através da ressecagem da soja na armazenagem ou do aumento da secagem do farelo. No primeiro caso, calculou-se o impacto no consumo de lenha ( $C_{lenha}$ ) nos secadores que, de acordo com Queiroz (2003), é uma relação de umidade de entrada da soja ( $U_i$ ), umidade de saída da soja ( $U_f$ ), capacidade nominal do secador ( $C_{ns}$ ), consumo de combustível ( $C_c$ ), consumo específico de combustível ( $C_{ec}$ ), poder calorífico inferior do combustível (PCI), de acordo com Equação 4.4, Equação 4.5 e Equação 4.6:

$$q = C_{ns} \left( \frac{U_i - U_f}{100 - U_i} \right) \quad (4.4)$$

$$C_c = C_{ec} \cdot q \quad (4.5)$$

$$C_{lenha} = \frac{C_c}{PCI} \quad (4.6)$$

No segundo caso, calculou-se o impacto no consumo de cavaco na caldeira a partir de balanço de massa levando em consideração o rendimento de farelo, o processamento anual de soja, o rendimento do secador de farelo e da caldeira e o PCI e o preço médio do cavaco.

Para o segundo cenário de produção, analisou-se o processamento de soja com a utilização de um sistema de aspiração de cascas no setor da Preparação, de maneira similar ao realizado anteriormente na condição de ausência do equipamento,

com exceção que neste caso haverá perda de casca na etapa da preparação, o que irá alterar a composição final do farelo. Neste caso considerou-se os prejuízos que podem ocorrer após a instalação do equipamento que estão associados ao valor financeiro atrelado a massa de óleo retirada durante o descasque e a perda de rendimento de farelo.

A partir destes resultados, calculou-se o *payback* para a implantação do sistema de aspiração de cascas. Para o primeiro ano após a instalação do equipamento considerou-se como potenciais de entrada o lucro proveniente da diferença entre a comercialização do farelo com teor 44% e 46% de proteína, a queda no consumo anual de lenha e a queda no consumo anual de cavaco. Considerou-se como potenciais de perda o óleo na casca, a perda de rendimento do farelo e o valor investido no projeto. Para o segundo ano de operação levou-se em consideração os mesmos parâmetros citados anteriormente, com exceção do investimento do projeto que é pago uma única vez.



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O processo de aspiração de casca é um sistema muito eficaz na retirada de fibra após a quebra do grão. Os assuntos discutidos neste capítulo mostram uma projeção de cobertura do investimento para um projeto de implantação de um sistema de descasque. Para isso, levou-se em consideração o cumprimento de contratos de venda de farelo com teor de 46% de proteína, as alterações de processo que necessitam ser feitas antes da instalação do equipamento e um orçamento fornecida pela Empresa A.

### 5.1 BALANÇO DE MASSA DO PROCESSAMENTO DE SOJA

O balanço de massa trata de um conceito de conservação de massa, onde se realiza uma análise dos componentes na entrada e saída de um sistema, os quais são genericamente representados pela Equação 5.1:

$$\dot{m}_{\text{entrada}} - \dot{m}_{\text{saída}} = \dot{m}_{\text{acumulado}} \quad (5.1)$$

Em que:

$\dot{m}_{\text{entrada}}$  – Taxa mássica na entrada do processo;

$\dot{m}_{\text{saída}}$  – Taxa mássica na saída do processo;

$\dot{m}_{\text{acumulada}}$  – Taxa mássica acumulada no processo.

Para se entender os benefícios da implantação do sistema de aspiração de cascas, é necessário conhecer o balanço de massa do processamento da soja. Para isso, reescrevendo a Equação 5.1, chega-se à Equação 5.2:

$$S = O + F + C + I \quad (5.2)$$

Em que:

S – Soja;

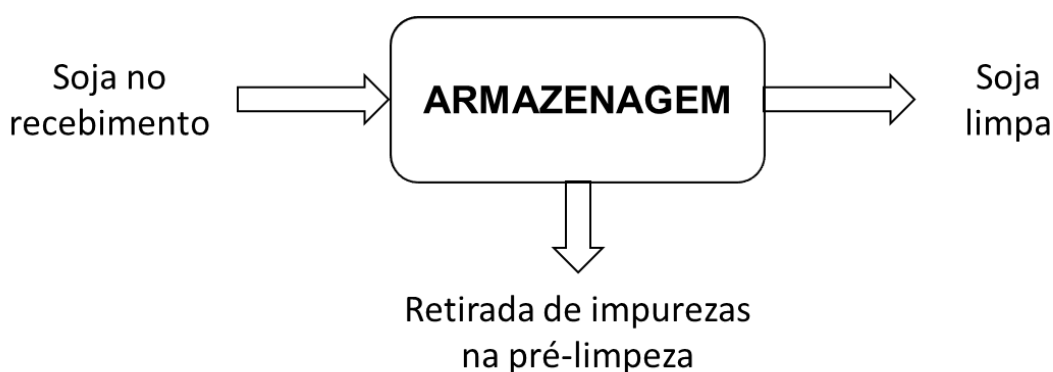
O – Óleo;

- F – Farelo;
- C – Cascas;
- I – Impurezas.

### 5.1.1 Condição de Operação 1: Processamento da Soja com Ausência de um Sistema de Aspiração de Cascas na Preparação

Realizou-se um estudo de balanço de massa das entradas e saídas da Armazenagem, Preparação (sem o auxílio de um sistema de aspiração de cascas) e Extração. Para a realização dos cálculos, dividiu-se o processo em três etapas. Na primeira, calculou-se o balanço de massa na Armazenagem, onde ocorre passagem da soja recebida pelas peneiras de pré-limpeza para retirada de cascas e impurezas, conforme ilustrado na Figura 15.

**Figura 15 – Fluxos de entrada e saída na Armazenagem.**



**Fonte: Autoria própria.**

A composição média do grão da soja *in natura* varia devido a diversos fatores como: modo de plantio, variação da cultivar, fotoperíodo (exposição a luz solar), micro região geográfica, momento de colheita e variações climáticas. Para entendimento do balanço de massa do processo e como base de cálculos, utilizou-se os valores descritos na Tabela 8 para composição média do grão de soja no recebimento. Tais valores foram fornecidos pela Empresa A, responsável pelo orçamento do sistema de aspiração de cascas.

**Tabela 8 – Composição média do grão de soja no recebimento.**

Componente	Fração (%)	Massa (kg)
Óleo	21,20%	212,00
Água	8,75%	87,50
Fibra	4,95%	49,50
Proteína	35,09%	350,90
Outros	30,01%	300,10
Total	100,00%	1000,00

Fonte: Autoria própria.

A partir destas informações, fez-se necessário conhecer a composição média das impurezas retiradas durante a pré-limpeza, a qual foi fornecida pela Empresa A e está descrita na Tabela 9.

**Tabela 9 – Composição média das impurezas retiradas na pré-limpeza.**

Componente	Fração (%)	Kg
Óleo	2,00%	0,39
Água	8,75%	1,69
Fibra	34,96%	6,75
Proteína	11,12%	2,15
Outros	43,17%	8,33
Total	100,00%	19,31

Fonte: Autoria própria.

Com as informações referentes as características da soja e impurezas, rearranjando a Equação 5.2, tem-se a Equação 5.3:

$$SL = S - I \quad (5.3)$$

Em que:

SL – Soja limpa;

S – Soja no recebimento;

I – Impurezas.

Considerando-se uma massa de 1000 Kg de soja recebida na entrada da Armazenagem e uma perda de 19,31 Kg de impurezas, tem-se que a massa de soja limpa é de 980,70 Kg. Em seguida, rearranjando a Equação 5.1, calculou-se a massa de cada elemento que compõe a soja limpa utilizando a Equação 5.4:

$$\text{Massa}(i)_{\text{SL}} = \text{Massa}(i)_{\text{SR}} - \text{Massa}(i)_{\text{Imp}} \quad (5.4)$$

Em que:

Massa(i)<sub>SL</sub> – Massa do componente “i” na soja limpa;

Massa(i)<sub>SR</sub> – Massa do componente “i” na soja recebida;

Massa(i)<sub>Imp</sub> – Massa do componente “i” nas impurezas.

Após isso, calculou-se a fração mássica de cada elemento da soja limpa através da Equação 5.5:

$$\text{Fração mássica (i)} = \left( \frac{\text{Massa}(i)_x}{\text{Massa total}_x} \right) \quad (5.5)$$

Em que:

Fração mássica (i) – Fração mássica do componente “i”;

Massa(i)<sub>x</sub> – Massa do componente “i” no produto “x”;

Massa total<sub>x</sub> – Massa total do produto “x”.

Considerando a soja limpa como o produto “x”, realizou-se os cálculos e os resultados estão descritos na Tabela 10.

**Tabela 10 – Composição média da soja limpa na saída da Armazenagem.**

Componente	Fração (%)	Massa (kg)
Óleo	21,58%	211,61
Água	8,75%	85,81
Fibra	4,36%	42,75
Proteína	35,56%	348,75
Outros	29,75%	291,77
Total	100,00%	980,69

Fonte: Autoria própria.

Para a segunda etapa, analisou-se os fluxos de entrada e saída da soja na Preparação, conforme Figura 16.

**Figura 16 – Fluxos de entrada e saída na Preparação na condição de ausência de um sistema de separação de cascas.**

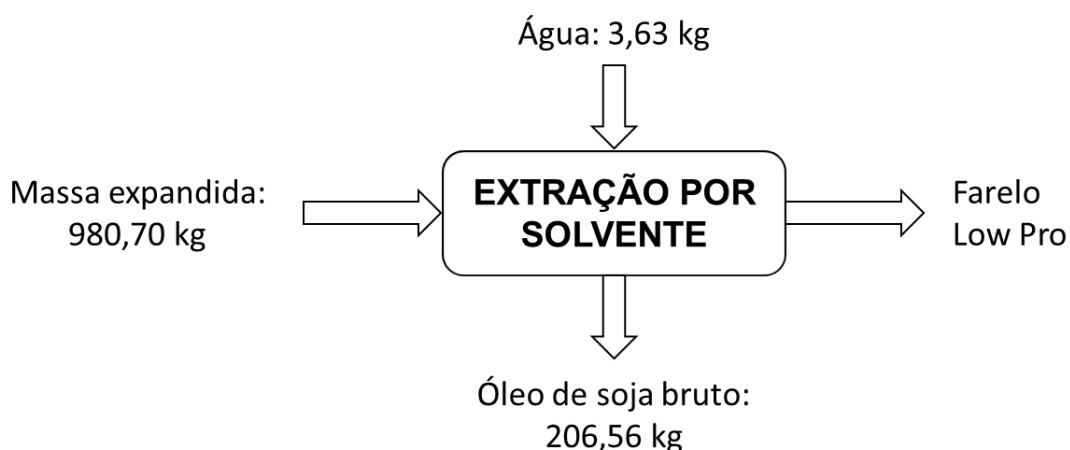


Fonte: Autoria própria.

Como neste processo não há perda de água ou cascas devido à ausência do sistema de aspiração de cascas, partindo do princípio da Equação 5.1, têm-se que a composição da soja na entrada Preparação é a mesma que a da massa expandida na saída, a qual está descrita na Tabela 10.

Em seguida, calculou-se o balanço de massa referente ao processo de extração de óleo bruto e farelo. Nesta etapa, ocorre a entrada de massa expandida e água, proveniente da injeção de vapor no processo de expansão da massa, e a saída de óleo de soja bruto a 20,66% de rendimento e farelo *Low pro*, conforme ilustrado na Figura 17.

**Figura 17 – Fluxos de entrada e saída na Extração na condição de ausência de um sistema de separação de cascas.**



Fonte: Autoria própria.

Para os cálculos desta etapa, considerou-se a composição de massa expandida na entrada da Extração equivalente aos valores da massa expandida descritos na Tabela 10. A partir disto, calculou-se a massa final de farelo, utilizando a Equação 5.6:

$$\text{Massa}_F = \text{Massa}_{ME} + \text{Massa}_{EXP} - \text{Massa}_{OB} \quad (5.6)$$

Em que:

Massa<sub>F</sub> – Massa final de farelo;

Massa<sub>ME</sub> – Massa de massa expandida na entrada da Extração;

Massa<sub>EXP</sub> – Massa de água adicionada durante expansão;

Massa<sub>OB</sub> – Massa no óleo bruto.

Após isso, calculou-se a massa de água no farelo a partir da Equação 5.7:

$$\text{Massa}_{AF} = \text{Massa}_{AME} + \text{Massa}_{EXP} \quad (5.7)$$

Em que:

Massa<sub>AF</sub> – Massa água no farelo;

Massa<sub>AME</sub> – Massa de água na massa expandida na entrada da Extração;

Massa<sub>EXP</sub> – Massa de água adicionada durante a expansão.

Os demais componentes (fibras, proteínas e outros) não tiveram alteração mássica. Por fim, utilizou-se a Equação 5.5 para realizar o cálculo da fração mássica dos componentes do farelo. Os resultados estão descritos na Tabela 11.

**Tabela 11 – Composição média do farelo para operação com ausência de separação de cascas.**

Componente	Fração (%)	Kg
Óleo	0,65%	5,06
Água	11,50%	89,44
Fibra	5,50%	42,75
Proteína	<b>44,84%</b>	348,75
Outros	37,51%	291,77
Total	100,00%	777,77

Fonte: Autoria própria.

A partir destes cálculos, conclui-se que para uma condição de operação com ausência de um sistema de separação de cascas, o rendimento de farelo é de 77,77% na base soja, com 44,84% de proteína e 11,5% de umidade, o que condiz com o problema enfrentado pela empresa esmagadora de soja do presente estudo.

De acordo com cotação de abril de 2021 concedida pela empresa, o farelo de soja com 44% de proteína é comercializado a R\$ 2.618,37 por tonelada para mercado externo (ME), considerando cotação do dólar a R\$ 5,62. A partir destas informações, calculou-se a renda gerada em 330 dias (um ano de produção) e processamento diário de 2700 toneladas:

$$2700 \frac{\text{ton soja}}{\text{dia}} \cdot 330 \text{ dias} \cdot 77,77\%_{\text{farelo}} \cdot R\$ 2618,37 = R\$ 1.814.348.957,00 \text{ (ME)}$$

Deste modo, verifica-se que a venda de farelo de soja com 44% de proteína traz a possibilidade de lucro de R\$ 1.814.348.957,00 para atendimento de mercado externo.

Considerando o atendimento dos contratos firmados para farelo com 46% de proteína bruta, tem-se como opção a retirada de umidade da matéria-prima ou do produto final através a interferência em duas etapas do processo: ressecagem dos grãos na armazenagem e aumento na secagem do farelo.

#### 5.1.1.1 Manobra de processo 1: ressecagem dos grãos na armazenagem

A ressecagem da soja é uma alternativa para realizar a saturação da proteína no grão. Esta etapa se faz necessária pois os equipamentos existentes na Preparação não são suficientes para reduzir a quantidade de água no grão ou retirar quantidade suficiente de fibras e, conseqüentemente, aumentar o teor de proteína.

Para exemplificar esta etapa, realizou-se um de um balanço de massa do processo de ressecagem dos grãos. Para isso, considerou-se uma carga de 100 Kg de soja na entrada do secador, com características apresentadas na Tabela 12, cujos dados são hipotéticos apenas para ilustração do caso.

Tabela 12 – Composição média do grão de soja na entrada do secador na armazenagem.

Componente	Fração (%)	Kg
Óleo	19,60%	19,60
Água	14,00%	14,00
Proteína	<b>34,21%</b>	34,21
Outros	32,19%	32,19
Total	100,00%	100,00

Fonte: Autoria própria.

No processo de secagem ocorre apenas a perda de água. Para realização do cálculo da composição da soja na saída do secador, utilizou-se a Equação 5.1 de balanço de massa para determinação da quantidade de água após a secagem. Considerando-se uma massa de 14 Kg de água na entrada e uma perda de 5 Kg de água durante o processo de secagem, subtraindo tem-se que:

$$14 \text{ Kg} - 5 \text{ Kg} = 9 \text{ Kg}$$

Considerando essa perda de água, tem-se que a massa de soja na saída é 9 Kg. Em seguida, calculou-se a nova fração mássica dos demais componentes do grão utilizando a Equação 5.5, os resultados são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Composição média do grão de soja na saída do secador na armazenagem.

Componente	Fração (%)	Kg
Óleo	20,63%	19,60
Água	9,47%	9,00
Proteína	<b>36,01%</b>	34,21
Outros	33,89%	32,19
Total	100,00%	95,00

Fonte: Autoria própria.

Os resultados mostram que a quantidade em peso de proteína não se altera, mas a fração mássica de soja a ser processada aumenta de 34,21% para 36,01%, ocorrendo, deste modo, a saturação de proteína a partir da ressecagem dos grãos.



Para entender os impactos da ressecagem, é necessário entender o que está envolvido neste processo. De acordo com Queiroz (2003), o custo da secagem está relacionado a fatores como: tipo do produto, quantidade de água a ser evaporada, características dos equipamentos de secagem e capacidade efetiva do sistema de secagem. O mesmo autor define que a quantidade de água removida por hora pelo secador é dada pela Equação 5.8:

$$q = C_{ns} \left( \frac{U_i - U_f}{100 - U_i} \right) \quad (5.8)$$

Em que,

$q$  – Quantidade de água a ser removida (ton/h);

$C_{ns}$  – Capacidade nominal de secagem (ton/h);

$U_i$  – Umidade inicial do produto (%);

$U_f$  – Umidade final do produto (%).

De acordo com Queiroz (2003), a capacidade nominal de secadores é considerada com base em uma umidade inicial de 18%. Deste modo, considerou-se a capacidade nominal de secagem de 60 ton/h e a redução de umidade do grão de 18% para 17% durante a secagem, calculou-se através da Equação 5.8 que a quantidade de água necessária a ser removida é de 731,71 Kg/h.

O consumo de combustível é dado pela Equação 5.9 (QUEIROZ, 2003):

$$C_c = C_{ec} \cdot q \quad (5.9)$$

Em que,

$C_c$  – Consumo de combustível (KJ/h);

$C_{ec}$  – Consumo específico de combustível (KJ/Kg de água);

O processo de secagem da armazenagem conta com secadores de fluxos cruzados sem reaproveitamento de ar que, segundo Queiroz (2003), apresentam consumo específico de combustível ( $C_{ec}$ ) entre 4700 e 7000 KJ/h. Neste caso, considerou-se o menor valor e, a partir da Equação da 5.9, calculou-se:

$$C_C = 4700 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg de água}} \cdot 731,71 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} = 3439024,3 \frac{\text{KJ}}{\text{h}}$$

O consumo de lenha é dado pela Equação 5.10:

$$C_{\text{lenha}} = \frac{C_C}{\text{PCI}} \quad (5.10)$$

Em que,

$C_{\text{lenha}}$  – Consumo de lenha (Kg de lenha/h);

PCI – Poder calorífico inferior (Kcal/Kg lenha)

O combustível utilizado nos secadores de grãos é a lenha de eucalipto contendo em média 40% de umidade e Poder Calorífico Inferior (PCI) de 2630 Kcal/Kg. Portanto, a partir da Equação 5.10, calculou-se:

$$C_{\text{lenha}} = 3439024,39 \frac{\text{KJ}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ Kg lenha}}{2630 \text{ Kcal}} \cdot \frac{1 \text{ Kcal}}{4,184 \text{ KJ}} = 312,53 \frac{\text{Kg lenha}}{\text{h}}$$

É realizada a compra da lenha verde com densidade média de 530 Kg/m<sup>3</sup> e preço de custo de R\$ 60,00/m<sup>3</sup>. A partir destas informações, calculou-se o custo de lenha para a secagem de 60 toneladas por hora:

$$312,53 \frac{\text{Kg lenha}}{\text{h}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{530 \text{ Kg}} \cdot \frac{\text{R\$ } 60,00}{1 \text{ m}^3} = \text{R\$ } 35,38$$

Isto indica que, para uma secagem de 1% de água em 60 toneladas, são gastos R\$ 35,38 reais em lenha. Analisando a produção anual de processamento diário de 2700 toneladas de soja, 330 dias e média de secagem de 1% de água, calculou-se o gasto anual em lenha:

$$\frac{\text{R\$ } 35,38}{60 \text{ ton}} \cdot \frac{2700 \text{ ton}}{1 \text{ dia}} \cdot \frac{330 \text{ dias}}{1 \text{ ano}} = \text{R\$ } 525.399,51 \text{ por ano}$$

Deste modo, pode-se concluir que a necessidade de ressecagem do grão, ou seja, aumentar a diferença entre a umidade de entrada e saída, irá influenciar

diretamente na energia consumida, na vazão mássica e na quantidade de combustível para atendimento do volume final na especificação desejada, gerando um custo anual de R\$ 525.399,51 por ano. Além disso, esse custo de operação pode variar de acordo com a eficiência dos secadores que pode ser afetada por fatores como: qualidade da lenha, lenha molhada, falta de manutenção, qualidade dos equipamentos do secador, entre outros.

#### 5.1.1.2 Manobra de processo 2: aumento da secagem do farelo

Para entendimento deste processo, supôs-se a produção de farelo com 44,84% de proteína, conforme apresentado anteriormente na Tabela 11. Nota-se que este farelo não atinge o percentual mínimo de 46% de proteína, necessário para comercialização. Necessita-se então, realizar a dosagem deste produto com outro farelo de maior valor proteico para que se tenha um produto com média de teor de proteína dentro da especificação necessária. Neste caso, uma opção é produzir farelo com menor teor de água, ou seja, aumentar o tempo de permanência do produto dentro do secador de farelo.

Para exemplificar, utilizou-se as informações da Tabela 11 e supôs-se uma retirada de 3% de água no processo de secagem que, por regra de três, representa uma massa de 23,33 Kg de água. Sabendo que a massa de farelo era de 777,77 Kg, por subtração, tem-se que após a secagem essa massa será de 754,43 Kg. Então, calculou-se a nova fração mássica dos componentes utilizando a Equação 5.5. Os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 14.

**Tabela 14 – Composição média do farelo de soja na saída do secador.**

Componente	Fração (%)	Massa (kg)
Óleo	0,67%	5,05
Água	8,77%	66,16
Fibra	5,67%	42,78
Proteína	<b>46,22%</b>	348,70
Outros	38,67%	291,74
Total	100,00%	754,43

Fonte: Autoria própria.

A partir destes resultados, verifica-se que é possível realizar a dosagem de 1020,33 Kg de farelo com 46,22% de proteína com 1000 Kg de farelo com 44,84% de proteína, resultando em 2020,33 Kg de produto com média de 46% de proteína.

Em situações como esta, a redução do teor de umidade irá impactar no consumo de cavaco de eucalipto, devido a necessidade de produção extra de vapor para secagem do farelo. Para quantificar este valor, considerou-se o rendimento de farelo em 77,77% para um processamento de 2700 toneladas de soja e calculou-se a massa de água contida em 3% de água através de:

$$2700 \frac{\text{ton soja}}{\text{dia}} \cdot 77,77\%_{\text{farelo}} \cdot 3\%_{\text{água}} = 62,9937 \frac{\text{ton água}}{\text{dia}}$$

O calor latente de vaporização da água é o calor necessário para que cada grama de água mude de estado, no caso da água este valor é 540 cal/g ou Kcal/Kg. Portanto, a energia necessária para evaporar 2% de água do farelo é:

$$62,9937 \frac{\text{ton água}}{\text{dia}} \cdot 540 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \cdot \frac{1000 \text{ Kg}}{1 \text{ ton}} = 34016598 \frac{\text{Kcal}}{\text{dia}}$$

A eficiência de operação dos secadores de farelo é de 75%, portanto, nessa condição, a energia necessária para evaporar 2% de água do farelo é:

$$34016598 \frac{\text{Kcal}}{\text{dia}} \cdot \frac{1}{0,75\%} = 45355464 \frac{\text{Kcal}}{\text{dia}}$$

Na caldeira o vapor é gerado a partir da energia liberada pela combustão do cavaco de eucalipto. De acordo com a empresa, o valor médio do PCI do cavaco de eucalipto é 2300 Kcal/Kg e a caldeira opera com eficiência de 80%, portanto:

$$45355464 \frac{\text{Kcal}}{\text{dia}} \cdot \frac{\text{Kg de cavaco}}{2300 \text{ Kcal}} \cdot \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ Kg}} \cdot \frac{1}{0,80\%} = 24,649 \frac{\text{ton de cavaco}}{\text{dia}}$$

De acordo com dados fornecidos pela empresa, o valor médio da tonelada de cavaco de eucalipto com média de 40% de umidade é R\$ 117,00, portanto:

$$24,649 \frac{\text{ton de cavaco}}{\text{dia}} \cdot 117 \frac{\text{R\$}}{\text{ton de cavaco}} = \text{R\$ } 2884,01$$

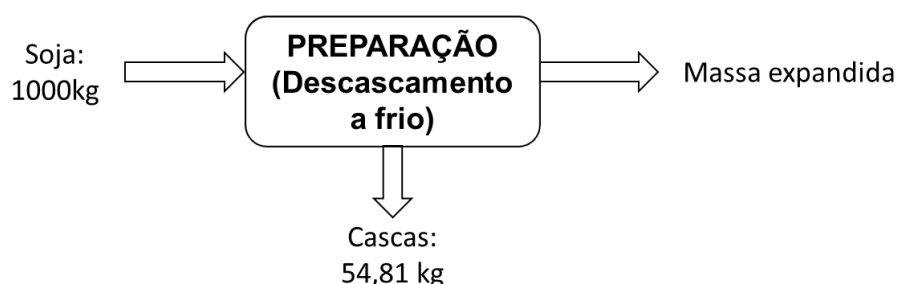
Nota-se que esta manobra impacta diretamente no consumo de cavaco custando R\$ 2.884,01 por dia de operação. Considerando um ano de produção, ou seja, 330 dias, este valor é de R\$ 951.725,10.

Além disso, ocorrem outros impactos como queda na qualidade do farelo final devido ao excesso de geração de partículas finas em consequência da baixa umidade e prejuízo financeiro devido a necessidade de adição de maior massa de farelo para substituir a massa de água retirada do produto.

#### 5.1.2 Condição de Operação 2: Processamento de Soja com Utilização de um Sistema de Aspiração de Cascas

Realizou-se um estudo de balanço de massa das entradas e saídas da Preparação com o auxílio de um sistema de aspiração de cascas e Extração. Para a realização dos cálculos, dividiu-se o processo em duas etapas. Na primeira etapa, calculou-se o balanço de massa referente ao processo de descasque na Preparação levando em consideração a entrada de soja e as saídas de cascas e massa expandida, conforme ilustrado na Figura 18.

**Figura 18 – Fluxos de entrada e saídas na Preparação na condição de utilização de um sistema de separação de cascas**



**Fonte: Autoria própria.**

A composição da soja na entrada da Preparação é a mesma descrita na Tabela 10. Para realizar o balanço de massa, é necessário conhecer a composição das cascas separadas, a qual equivale a cerca de 5,48% massa da soja, valores a partir de orçamento fornecido pela Empresa A, os quais estão descritos na Tabela 15.

Tabela 15 – Composição média da casca retiradas pelo sistema de aspiração de cascas.

Componente	Fração (%)	Massa (kg)
Óleo	1,70%	0,93
Água	8,75%	4,80
Fibra	35,43%	19,42
Proteína	10,75%	5,89
Outros	43,37%	23,77
Total	100,00%	54,81

Fonte: Autoria própria.

Com as informações referentes as características da soja e casca na entrada da Preparação, rearranjando a Equação 5.2, tem-se a Equação 5.11:

$$ME = S - C \quad (5.11)$$

Em que:

ME – Massa Expandida;

S – Soja;

C – Cascas.

Considerando-se uma massa de 1000 Kg de soja e perda de 54,81 Kg de casca, tem-se que a massa expandida equivale a 945,20 Kg. Em seguida, calculou-se a massa de cada elemento que compõe a massa expandida utilizando a Equação 5.12:

$$\text{Massa}(i)_{ME} = \text{Massa}(i)_{soja} - \text{Massa}(i)_{casca} \quad (5.12)$$

Em que:

Massa(i)<sub>ME</sub> – Massa do componente “i” na massa expandida;

Massa(i)<sub>soja</sub> – Massa do componente “i” na soja;

Massa(i)<sub>casca</sub> – Massa do componente “i” na casca.

Após isso, calculou-se a fração mássica de cada elemento utilizando a Equação 5.5. Considerando o produto “x” como a massa expandida, obteve-se os resultados dos cálculos, descritos na Tabela 16.

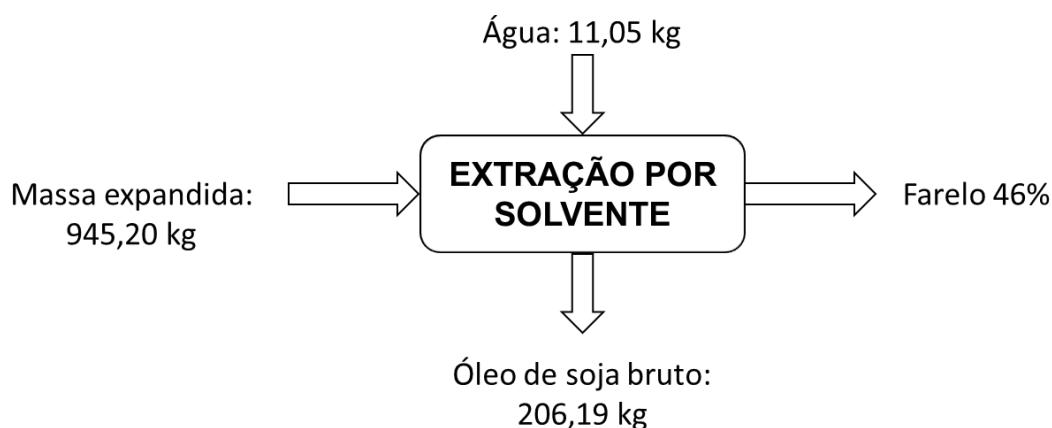
**Tabela 16 – Composição média da massa expandida após o sistema de aspiração de cascas.**

Componente	Fração (%)	Massa (kg)
Óleo	22,33%	211,07
Água	8,75%	82,71
Fibra	3,18%	30,08
Proteína	36,50%	345,01
Outros	29,24%	276,33
Total	100,00%	945,20

Fonte: Autoria própria.

Para a segunda etapa, calculou-se o balanço de massa na Extração referente ao processo de obtenção de óleo bruto e farelo, conforme ilustrado na Figura 19.

**Figura 19 – Fluxos de entrada e saída na Extração na condição de utilização de um sistema de separação de cascas**



Fonte: Autoria própria.

Nesta etapa, ocorre a entrada de 11,05 Kg água e a saída de 206,19 Kg de óleo bruto de soja. Considerou-se a composição de massa expandida na entrada da

Extração equivalente aos valores descritos na Tabela 16. A partir destas informações, calculou-se a massa de óleo no farelo utilizando a Equação 5.6.

Após isso, calculou-se a massa de água final no farelo a partir da Equação 5.7. Os demais componentes (fibras, proteínas e outros) não tiveram alteração mássica. Por fim, utilizou-se a Equação 5.5 para realizar o cálculo da fração mássica dos componentes do farelo. Os resultados estão descritos na Tabela 17.

**Tabela 17 – Composição média do farelo para operação com sistema de separação de cascas.**

Componente	Fração (%)	Massa (kg)
Óleo	0,65%	4,88
Água	12,50%	93,76
Fibra	4,01%	30,08
Proteína	<b>46,00%</b>	345,01
Outros	36,84%	276,33
Total	100,00%	750,06

**Fonte: Autoria própria.**

A partir dos cálculos de balanço de massa, pode-se concluir que o sistema de descasque promove uma remoção de aproximadamente 5,5% de cascas na Preparação, obtendo rendimento 75,01% na produção farelo na base soja com 46% de proteína, 12,5% de umidade em sua composição final, atendendo as especificações necessárias para comercialização de farelo.

Os preços de venda de farelo variam de acordo com o destino do cliente. De acordo com cotação de abril de 2021 concedida pela empresa, o farelo de soja com 46% de proteína é vendido a R\$ 2921,25 por tonelada para mercado externo (ME) e a R\$ 2400,00 para mercado interno (MI), considerando a taxa do dólar em R\$ 5,62. A partir destas informações, calculou-se a renda gerada em 330 dias (um ano de produção) e processamento diário de 2700 toneladas para os dois tipos:

$$2700 \frac{\text{ton soja}}{\text{dia}} \cdot 330 \text{ dias} \cdot 75.01\%_{\text{farelo}} \cdot \text{R\$ } 2921,25 = \text{R\$ } 1.952.385.596,00 \text{ (ME)}$$

$$2700 \frac{\text{ton soja}}{\text{dia}} \cdot 330 \text{ dias} \cdot 75.01\%_{\text{farelo}} \cdot \text{R\$ } 2400,00 = \text{R\$ } 1.604.013.840,00 \text{ (MI)}$$



Deste modo, verifica-se que a venda de farelo de soja com 46% de proteína traria a possibilidade de lucro de R\$ 1.952.385.596,00 para atendimento de mercado externo e R\$ 1.604.013.840,00 para o mercado interno.

#### 5.1.2.1 Perdas esperadas para a implantação do sistema de aspiração de cascas

A instalação do equipamento de separação de cascas causa queda no rendimento de óleo degomado devido a quantidade de óleo perdida durante a separação. Considerando a produção diária de 2700 toneladas, a operação de 330 dias por ano, a separação de 5,48% de cascas na base soja e fração mássica de 1,7% de óleo na casca, calculou-se o potencial de perda de óleo em um ano de produção:

$$2700 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} \cdot 330 \text{ dias} \cdot 5,48\%_{\text{casca}} \cdot 1,70\%_{\text{óleo}} = 830,0556 \text{ ton de óleo}$$

De acordo com dados fornecidos pela indústria esmagadora em cotação do mês de abril de 2021, a tonelada de óleo degomado custa R\$5.176,00. Deste modo, multiplicou-se 830,05 toneladas de óleo por R\$5.176,00 e têm-se como resultado o valor de R\$ 4.296.367,79 como potencial de perda de óleo na casca durante um ano de produção.

Outra perda se traduz em queda de rendimento do farelo devido a perda de parte da soja durante o processo de separação de cascas. Considerando a quantidade de cascas de 5,48% na base soja, o rendimento do farelo 75,01%, um processamento diário de 2700 toneladas, 330 dias de operação, calculou-se:

$$2700 \frac{\text{ton}}{\text{dia}} \cdot 330 \text{ dias} \cdot 75,01\%_{\text{farelo}} \cdot 5,48\%_{\text{casca}} = 36.624,98 \text{ toneladas de casca}$$

Considerando os valores de venda de farelo com 46% de proteína descritos anteriormente, multiplicando têm-se como resultado o potencial de perda de R\$ 106.990.730,07 para mercado externo e R\$ 87.899.958,43 para o mercado interno.

## 5.2 CÁLCULO DE PAYBACK DO SISTEMA DE ASPIRAÇÃO DE CASCAS

Levando em consideração todos os aspectos de perdas e ganhos apresentados anteriormente, realizou-se uma prospecção de retorno para o investimento para a implantação do sistema de aspiração de cascas. Deste modo, calculou-se a simulação de *payback* do investimento no projeto, considerando os seguintes pontos:

- a) Lucro proveniente do cumprimento dos contratos de farelo, onde subtraiu-se a receita anual para venda farelo com 46% de proteína para o mercado externo no valor de R\$ 1.952.385.596,00 pela receita anual de farelo com 44% de proteína para o mercado externo no valor de R\$ 1.814.348.957,00;
- b) Lucro com a queda do consumo de lenha anual devido a diminuição da secagem da soja nos secadores da Armazenagem antes do envio para o processamento no valor de R\$ 951.725,10;
- c) Lucro com a queda do consumo de vapor devido a ausência do processo de ressecagem do farelo nos secadores da Extração para a saturação de proteína no valor R\$ 602.273,10;
- d) Valor referente ao investimento no projeto com impostos, o que envolve: construção de armazém de cascas, estrutura do armazém, adequação do prédio da Preparação, compra dos equipamentos para o sistema de descasque, construção de transportadores, instalações elétricas e mão de obra para construção e gerenciamento da obra totalizando a quantia de R\$45.659.213,48;
- e) Prejuízo anual referente a perda de óleo junto a casca durante o descasque no valor de R\$ 4.296.367,79;
- f) Prejuízo anual referente a perda de rendimento de farelo devido ao descasque no valor de R\$ 106.990.790,07;
- g) Valor remanescente referente ao primeiro ano após o investimento no valor de R\$ 17.355.734,14.

A quantia referente a cada item descrito anteriormente está disposta na Tabela 18, onde valores em verde indicam o potencial de ganho e os valores em vermelho indicam o potencial de perda anuais para a implantação do sistema de aspiração de cascas.

**Tabela 18 – Prospecção de retorno para o investimento para a implantação do sistema de aspiração de cascas.**

<b>Item</b>	<b>Indicador</b>	<b>Receita ano 1</b>	<b>Receita ano 2</b>
a)	Contrato farelo (46%ME - 44%ME)	R\$ 138.036.639,00	R\$ 138.036.639,00
b)	Consumo de lenha	R\$ 951.725,10	R\$ 951.725,10
c)	Consumo de vapor	R\$ 602.273,10	R\$ 602.273,10
d)	Investimento no projeto	-R\$ 45.659.213,48	-
e)	Perda de óleo na casca	-R\$ 4.296.367,79	-R\$ 4.296.367,79
f)	Perda de rendimento farelo ME	-R\$ 106.990.790,07	-R\$ 106.990.790,07
g)	Remanescente ano 1	-	-R\$ 17.355.734,14
<b>Total</b>		<b>-R\$ 17.355.734,14</b>	<b>R\$ 10.947.745,20</b>

Fonte: Autoria própria.

Realizou-se o cálculo subtraindo o potencial de ganho pelo de perda anual, onde os resultados indicam que no primeiro ano de operação o investimento não se pagaria, ficando com um débito de R\$ 17.355.734,14 para o segundo ano. No próximo ano, seguindo o mesmo raciocínio, esperaria que investimento se pagasse com prospecção de um potencial de ganho de R\$ 10.947.745,20 para a indústria esmagadora de grãos.

## 6 CONCLUSÃO

A indústria esmagadora detém processos muito complexos, onde a composição da matéria-prima é muito variável, sendo necessário inúmeras adaptações para o processamento da soja e, conseqüentemente, a produção de óleo degomado, farelo e lecitina.

O sistema de aspiração de casca se mostra muito eficaz na retirada de fibra no momento da quebra do grão. A implantação do equipamento na indústria de estudo traria como principal benefício o aumento da gama de produtos podendo abranger a produção de farelo “Hipro” e “Pellet”. O que influencia diretamente no fechamento de contratos e na entrega do farelo de soja dentro das especificações necessárias.

A utilização do sistema afetaria indiretamente outros setores produtivos que atualmente necessitam adequar sua operação em ocasiões que é necessário aumentar a proteína no farelo final para atendimento do cliente final. Isto envolve consumo de energia elétrica, consumo de vapor, consumo de lenha, vida útil de equipamentos, aumento de mão de obra, entre outros.

Antes do desenvolvimento deste ensaio, esperava-se que os ganhos sobre o investimento se dariam em grande parte pela ausência dos impactos durante produção do farelo da soja. Mas a partir da análise dos resultados, nota-se que na verdade o ganho comercial proveniente da venda de farelo 46% é o maior responsável pelo *payback* do projeto. Além de outros ganhos como a possibilidade do uso da casca para dosagem do produto final em situações de produção de farelo com teor de proteína acima do valor especificado nos contratos e a redução de multas contratuais devido ao não atendimento.

Deste modo, a partir do presente estudo, pôde-se concluir que o sistema de aspiração de cascas se pagaria no segundo ano de operação, apresentando potencial de lucro de R\$ 10.947.745,20 para a indústria esmagadora de grãos.

## REFERÊNCIAS

- AMARAL, L.; JAIGOBIND, S. J.; JAIGOBIND, A. G. A. **Óleo de Soja. Dossiê Técnico**. Paraná: Instituto de Tecnologia do Paraná. 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Portaria nº. 795, de 15 de dezembro de 1993**: Norma de identidade, qualidade, embalagem, marcação e apresentação do farelo de soja. Diário Oficial da União de 29 de dezembro de 1993.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Cadeia produtiva da soja volume 2**. Brasília: IICA: MAPA/SPA. 2007.
- BONETTI, L. P. **Distribuição da soja no mundo**. In: MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. A soja no Brasil. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1977. p. 1-6.
- BORDINGNON, J. R.; MANDARINO, J. M. G. **Soja: composição química, valor nutricional e sabor**. Londrina: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA) - CNPSO, 1994.
- CÂMARA, G. M. S. **LPV 584: Produção de Cana, Mandioca e Soja** - Introdução ao agronegócio soja. 2015.
- CNA (Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil). **Panorama do Agro**. 2021. Disponível em: [https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro#\\_ftn1](https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro#_ftn1). Acesso em: 20 abril. 2021.
- CONAB (Companhia Nacional De Abastecimento). **Acompanhamento de safra brasileira: grãos - safra 2020/21 - 2º levantamento: novembro 2020**. Brasília: Conab, 2020a.
- CONAB (Companhia Nacional De Abastecimento). **Acompanhamento de safra brasileira: GRÃOS - safra 2020/21 - 7º levantamento**. Brasília: Conab, 2020b.
- CROWN, Iron Works. **Dessolventizador/Tostador**: Crown Iron Tecnologias. 2021.
- CUSTODIO, A. F. **Modelagem-Simulação do processo de separação de óleo de soja-hexano por evaporação**. 2003. 247 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química. Campinas, 2003.
- DA SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. UFSC, Florianópolis, 4a. edição, 2005.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária). **Embrapa soja**. 2020a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/historia>. Acesso em: 07 out. 2020.
- EMBRAPA (Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária). **Soja em números (safra 2019/20)**. 2020b. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>. Acesso em: 07 out. 2020.

PERKINS, E. G. Composition of Soybeans and Soybean Products. In: ERICKSON, D. R. **Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization**. St. Louis, Missouri: AOCS Press e United Soybean Board, 1995. p. 15.

GIL, A. C. **Como elaborar projeto de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002

KICE, Industries. **Multi-Aspiration 101**. 2020. Disponível em: <https://www.kice.com/blog-of-kice/multi-aspiration-101/>. Acesso em: 01 nov. 2020

LAZZARINI, S. G.; NUNES, R. **Competitividade do sistema agroindustrial da soja**. São Paulo: Pensa/USP, 2000.

MANDARINO, J. M. G.; HIRAKURI, M. H.; ROESSING, A. C. **Documento 171: Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos**. 2.ed. – Londrina: Embrapa Soja, 2015.

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

PÍPOLO, A. C.; HUNGRIA, M.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; MANDARINO, J. M. G. **Comunicado Técnico 86: Teores de óleo e proteína em soja: fatores envolvidos e qualidade para a indústria**. Londrina: Embrapa Soja, 2015.

PIVATTO, R. S. **Desenvolvimento de um sistema de separação por aspiração de farelo de soja**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. Curitiba, 2013.

PRADO, E. R. A. **Modelagem e simulação do sistema de evaporadores de miscela de uma destilaria de óleo de soja**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Maringá: 2013.

QUEIROZ, D. M. **Custo de secagem de grãos**. 2003. 47 slides. Disponível em: [http://www.centreinar.org.br/software/custo\\_de\\_secagem.pdf](http://www.centreinar.org.br/software/custo_de_secagem.pdf). Acesso em: 15 abril 2021.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e pesquisa**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1989.

SANTOS, E. O. **Administração financeira da pequena e média empresa**. São Paulo: Atlas, 2001.

THOMAS, G. C. **Análise teórico-experimental da extração de óleo de soja em instalação industrial do tipo rotocell**. 2003. 140 f. Tese (Doutorado), Universidade

Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Porto Alegre: 2003.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**. 2012. Apostila do curso de Especialização em Qualidade e Produtividade. Universidade Federal de Itajubá.

USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE) - FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **Oilseed, Soybean World as of April 2021 - All Attributes**. 2021a. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/compositeViz>. Acesso em: 17 abril 2021.

USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE) - FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **Oil, Soybean World as of April 2021 - All Attributes**. 2021b. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/compositeViz>. Acesso em: 17 abril 2021.

USDA (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE) - FOREIGN AGRICULTURAL SERVICE. **Meal, Soybean World as of April 2021 - All Attributes**. 2021c. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/app/index.html#/app/compositeViz>. Acesso em: 17 abril 2021.

WIETZIKOSKI, M. **Preparação de Soja para Extração por Solvente**. LinkedIn. 2018. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/prepara%C3%A7%C3%A3o-de-soja-para-extra%C3%A7%C3%A3o-por-solvente-gerber-wietzikoski/?originalSubdomain=pt>. Acesso em: 13 abril 2021.

WOERFEL, J. B. Handling, Storage, and Transport of Crude and Crude Degummed Soybean Oil. In: ERICKSON, D. R. **Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization**. St. Louis, Missouri: AOCS Press e United Soybean Board, 1995. p. 161-173.

ZANETTI, E. L. S. Industrialização da Soja. In: MIYASAKA, S; MEDINA, C. **A Soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981.