

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

**BRUNA REGINA AVELAR**  
**EDUARDO CARREÃO FREIRE**

**ADEQUAÇÃO DO CONSUMO DE VAPOR DIRETO EM UM**  
**DESSOLVENTIZADOR-TOSTADOR DE FARELO DE SOJA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO 2**

**PONTA GROSSA**

**2018**

**BRUNA REGINA AVELAR**  
**EDUARDO CARREÃO FREIRE**

Trabalho apresentado como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química, do Departamento de Engenharia Química, do Câmpus Ponta Grossa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Cesar Arthur Martins Chornobai

**PONTA GROSSA**

**2018**



## TERMO DE APROVAÇÃO

ADEQUAÇÃO DO CONSUMO DE VAPOR DIRETO EM UM DESSOLVENTIZADOR-TOSTADOR DE  
FARELO DE SOJA

por  
Bruna Regina Avelar  
Eduardo Carreão Freire

Monografia apresentada no dia 14 de junho de 2018 ao Curso de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa. Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Juliana Martins Teixeira De Abreu Pietrobelli  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Joseane Pontes  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. César Arthur Martins Chornobai  
(UTFPR)  
Orientador

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

**A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Química.**

## RESUMO

AVELAR, Bruna, FREIRE, Eduardo. **Adequação do consumo de vapor direto em um dessolventizador-tostador de farelo de soja**. 2018. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

Há muitos anos, a soja está presente e consolidada em todo o mundo, tanto para consumo na alimentação, pois tem um alto índice de proteínas e outros nutrientes, quanto como matéria-prima para outros produtos, como o próprio óleo de soja, tintas, detergentes e até mesmo biocombustíveis. Para o Brasil, a soja tem um destaque ainda maior, pois é uma das culturas mais importantes economicamente, sendo o país um dos maiores produtores e exportadores do mundo, e estes dados tendem a ser ainda mais favoráveis ao longo dos próximos anos, visto que o Brasil tem grande potencial para expandir sua cultura e atender a crescente demanda mundial. No processamento da soja, resultando em farelo e óleo de soja, são necessárias algumas etapas industriais, das quais a etapa de dessolventização-tostagem é onde geralmente ocorre uma grande perda de solvente e, conseqüentemente, perda financeira para o processo em geral. Assim, o objetivo desse trabalho foi desenvolver uma pesquisa e testes com as variáveis que interagem nesta etapa e propor uma redução nas perdas do solvente utilizado. Para isso, foram analisados alguns fatores, alterando o valor da temperatura de setpoint do dessolventizador-tostador. Os dados foram avaliados e a temperatura anteriormente usada foi alterada para a que obteve um melhor desempenho nos testes, tornando possível, assim, uma economia de mais de 20 mil reais ao mês.

**Palavras-chave:** Soja. Óleo. Farelo. Extração. Dessolventizador-Tostador.

## ABSTRACT

AVELAR, Bruna, FREIRE, Eduardo. **Adequacy of direct steam consumption in a soybean meal desolventizer-toaster**. 2018. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Química. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

For many years, the soybean has been present and consolidated in the whole world, not only for the alimentention consume, due to the high level of proteins and other nutrients, but also as raw material for other products like the own soybean oil, inks, detergents and even biofuels. In Brazil, soybean has an even bigger emphasis, since it is one of the most economically important cultures, Brazil being one of the largest producers and exporters in the world, and these data tend to be even more favorable over the next few years, since Brazil has great potential to expand its culture and meet the growing world demand. In soybean processing, that results in soybean meal and oil, some industrial steps are required, of which the desolventization-toasting stage is where a large loss of solvent usually occurs and, therefore, financial loss to the process in general. Thus, the main objective of this paper was to develop a research and some variable tests and propose a reduction in the losses. For this purpose, some factors were analyzed, changing the values of the desolventizer-toaster's setpoint temperature. The data were assessed and the temperature previously used was changed for the one which had the best performance in the tests, making it possible to save more than 20 thousand reais per month.

**Keywords:** Soybean. Oil. Meal. Extractor. Desolventizer-toaster.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do Processamento da Soja .....	23
Figura 2 - Extrator Rotocel.....	27
Figura 3 – Dessolventizador-Tostador.....	28
Figura 4 – Fluxograma da Extração .....	32

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Grandes produtores mundiais de soja (1960/2017 – Mt) .....	18
--	----

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Variáveis Dependentes da Mudança de Parâmetros .....	35
Quadro 2 – Desvio Padrão dos resultados.....	39
Quadro 3 – Variáveis x Temperatura de melhor resultado .....	40



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Tabela de dados das exportações de soja no Brasil.....	21
Tabela 2 - Dados de receita de vendas (em milhões) da soja em grão do Brasil, por país importador.....	22
Tabela 3 – Cronograma de testes .....	34
Tabela 4 – Variáveis x Análises.....	36
Tabela 5 – Resultados das análises .....	37
Tabela 6 – Médias dos resultados das análises .....	38
Tabela 7 – Perda de Hexano residual no farelo do DT .....	42
Tabela 8 – Perda de Hexano residual no óleo bruto.....	42
Tabela 9 – Perdas totais de Hexano residual .....	43
Tabela 10 – Consumo total de vapor.....	44
Tabela 11 – Análise Econômica .....	45

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2.OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>3.REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
3.1 A SOJA .....	15
3.2 HISTÓRICO .....	16
3.3 EXPLORAÇÃO DE MERCADO .....	17
3.3.1 Produção de soja .....	17
3.3.2 Oferta e demanda .....	19
3.3.3 Exportação.....	20
3.4 PROCESSAMENTO DA SOJA.....	23
3.4.1 Recebimento.....	24
3.4.2 Preparação .....	24
3.4.3 Extração.....	26
3.4.3.1 <i>Extrator</i> .....	26
3.4.3.1.1 <i>Farelo Desengordurado</i> .....	28
3.4.3.1.1.1. <i>Farelo Tostado</i> .....	29
3.4.3.1.1.2. <i>Mistura de gases</i> .....	29
3.4.3.1.2 <i>Miscela</i> .....	30
<b>4.MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>32</b>
<b>5.RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>35</b>
5.1 AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS DEPENDENTES.....	35
5.2 RESULTADOS DOS TESTES .....	36
5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	38
<b>6.CONCLUSÃO</b> .....	<b>47</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>49</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de alimentos do mundo, e seu agronegócio tem grande importância no cenário nacional e, também, mundial. Neste contexto, a soja consolidou-se como um dos principais *commodities* de grande importância econômica e um dos produtos mais importantes do agronegócio brasileiro.

Segundo dados levantados no mês de abril de 2018 pela Conab (Companhia Nacional de Abastecimento), o Brasil terá safra recorde de soja em 2017/2018, estimando-se uma colheita de 114,963 milhões de toneladas de soja, superando em mais de um milhão os resultados da safra de 2016/2017, que foi de 114,07 milhões de toneladas. Também segundo o órgão do governo, a soja é a principal responsável por uma boa estimativa de colheita na safra total de grãos e oleaginosas deste ano, representando cerca de 50% do total de 229,53 milhões previstos.

Sendo o Brasil, de acordo com um relatório publicado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (OECD/FAO, 2016), o segundo maior exportador global de soja, esta passa a ter um grande protagonismo do ponto de vista econômico. De acordo com os dados coletados pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), baseado no que foi levantado pelo Agrostat, sistema de divulgação de estatísticas do agronegócio, na safra de 2016/2017, o Brasil exportou 51,6 milhões de toneladas da soja em grão, 14,4 milhões de toneladas de farelo e 1,2 milhões de toneladas do óleo de soja. Assim, alcançou, financeiramente, um total de 25,4 bilhões de dólares com as três modalidades de exportação da soja.

Ainda sob o ponto de vista econômico, sabe-se que é sempre interessante manter crescentes as vantagens de todo tipo de negócio que é praticado. A partir disto, surge a necessidade de aumentar os benefícios e reduzir os custos atrelados à cultura de soja no país. Uma alternativa para alcançar este fim é estudar e analisar os métodos e processos existentes e utilizados atualmente, a fim de encontrar pontos a serem melhorados, possíveis simplificações, diminuição de perdas, etc.

O processo de extração do óleo da soja ocorre, principalmente, através da extração por solvente. Um dos solventes mais utilizados nos dias de hoje, por possuir um dos melhores custos/benefícios e interagir de forma vantajosa com o óleo, é o hexano, um derivado de petróleo, tóxico e altamente inflamável. Sendo assim, o interesse em evitar as perdas deste solvente não é estritamente econômico, mas também para evitar danos ambientais e à saúde.

A parte do processo na qual ocorrem as maiores perdas de solvente é a de dessolventização-tostagem, devido à grande vazão de hexano que passa por esta etapa do processo. O farelo, após passar pela extração por solvente no equipamento chamado de extrator, é direcionado para um equipamento chamado dessolventizador-tostador (DT), onde o farelo, com uma porcentagem de aproximadamente 26-30% de hexano, é aquecido utilizando vapor direto e indireto. Após este equipamento, o farelo sai em uma temperatura de aproximadamente 105°C e deve possuir um residual de hexano de no máximo 500 ppm.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Mendes (2017) mostra que, atualmente, a USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) estima que a demanda global de soja vem crescendo periodicamente. A previsão para as safras seguintes é de que o consumo de soja seja maior do que a quantidade que se é produzida, diferente do cenário que existia nos anos anteriores. Sendo assim, pode-se presumir que, como o padrão tende a se manter, será necessário um aumento na produção mundial da oleaginosa.

O DT, devido à grande vazão de hexano para dentro do equipamento, é o responsável pela maior perda de solvente em uma planta de extração. Por este motivo, há uma constante busca por métodos de trabalho e inovações que impactem de forma positiva nessa perda de solvente, que representa tanto uma perda econômica quanto um perigo ambiental, pois este farelo será utilizado na alimentação animal.

Desta forma, desencadeou-se uma motivação para analisar e determinar alguns fatores que podem ser modificados e/ou adaptados para contribuir significativamente com um melhor aproveitamento do solvente hexano na etapa de extração do óleo de soja, mais especificamente no dessolventizador-tostador, em uma indústria de extração de óleo de soja, instalada na Região dos Campos Gerais - PR.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Reduzir os custos do processo de dessolventização-tostagem do farelo de soja, numa indústria de extração do óleo de soja, instalada na Região dos Campos Gerais – PR;

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar quais variáveis têm influência direta no processo de dessolventização-tostagem do farelo de soja, numa indústria de extração do óleo de soja, instalada na Região dos Campos Gerais – PR;

- Verificar o impacto sobre as perdas do solvente hexano, através da mudança de parâmetros no processo de dessolventização-tostagem do farelo de soja, numa indústria de extração do óleo de soja, instalada na Região dos Campos Gerais – PR;

- Analisar os resultados obtidos por meio dos testes de mudanças de variáveis realizados no processo de dessolventização-tostagem do farelo de soja, numa indústria de extração do óleo de soja, instalada na Região dos Campos Gerais – PR;

- Adequar a vazão de vapor direto no dessolventizador-tostador, a fim de diminuir os custos relacionados à geração de vapor e consumo de hexano.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 A SOJA

A soja é um complexo composto por grão, farelo e óleo. É uma planta herbácea, de nome científico *Glycine max L*, pertencente à família Fabaceae (leguminosas). Como descrito por Nunes (2016), a soja “é uma planta com grande variabilidade genética, tanto no ciclo vegetativo [...], como no reprodutivo [...], sendo também influenciada pelo meio ambiente”.

Jardine e Barros (s.d.), da Agência Embrapa de Informação e Tecnologia (AGEITEC), explicam que se trata de um grão de cor amarela e forma arredondada, muito rico em proteínas. O grão contém de 18% a 20% de óleo e o farelo representa em torno de 79% do mesmo. “As sementes de soja são lisas, ovais, globosas ou elípticas. Podem também ser encontradas nas cores amarela, preta ou verde. O hilo é geralmente marrom, preto ou cinza.” (NUNES, 2016)

O Portal da EMBRAPA Soja enuncia que “em média, a soja possui 40% de proteínas, 20% de lipídios (óleo), 5% de minerais e 34% de carboidratos (açúcares como glicose, frutose e sacarose, fibras e os oligosacarídeos como rafinose e estaquiose)”. Também destaca que em 100 gramas de grãos de soja estão presentes entre 160 a 470 miligramas de cálcio, uma média de 580 mg de fósforo, 9,4 mg de ferro, 1900 mg de potássio, entre outros compostos.

Segundo Mandarino (2017), “o consumo de soja diretamente na alimentação humana ainda é muito restrito, [...] simplesmente por não fazer parte do hábito alimentar do brasileiro”. Embora, de acordo com Zanin (2017), a soja é a mais completa fonte de proteína de origem vegetal, já que possui 36% de proteína em sua composição no grão cru, e é muito utilizada nas dietas vegetarianas, por ser ideal para substituir as carnes.

A soja é uma cultura que possui grande importância para a economia brasileira, sendo considerada por muitos a principal cultura do agronegócio do país. Na visão de Federizzi (2013), é, também, “considerada uma das mais importantes

culturas para a vida humana na terra, especialmente pela sua capacidade de produzir grandes quantidades de proteínas de excelente qualidade para a alimentação animal e de óleo para consumo humano”. Além de ter outras aplicabilidades, como por exemplo em biocombustíveis.

### 3.2 HISTÓRICO

A soja, originária do continente asiático, é uma das culturas mais antigas do mundo. Como destacou Câmara (2015), há registros desta leguminosa sendo utilizada como alimento há, pelo menos, cinco mil anos na China Antiga. Provavelmente, espalhou-se pelo ocidente por intermédio de viajantes europeus e imigrantes orientais.

De acordo com a entidade APROSOJA BRASIL (Associação Brasileira dos Produtores de Soja), o cultivo comercial da soja nos Estados Unidos se deu no início do século XX, e foi após o fim da Primeira Guerra Mundial, 1919, que o grão de soja se tornou um importante item de comércio exterior.

A primeira referência da existência de soja no Brasil foi na Bahia, trazida por Gustavo D’Utra, em 1882, porém sem muito sucesso. Dez anos mais tarde, foi cultivada pela primeira vez em São Paulo, no Instituto Agrônomo de Campinas.

Melhores resultados foram obtidos por imigrantes japoneses, a partir de 1908 e, em 1923, quando Henrique Löbbe trouxe cerca de cinquenta variedades norte-americanas. Nas décadas seguintes, foi estudada em algumas instituições oficiais e cultivada, em pequenas áreas, para a alimentação de famílias de imigrantes japoneses (CÂMARA, 2015).

“Entretanto, oficialmente, a cultura foi introduzida no Brasil no Rio Grande do Sul em 1914 na chamada região pioneira de Santa Rosa, onde foram iniciados os primeiros plantios comerciais a partir de 1924”. (MANDARINO, 2017). Após isso, diversos estudos e pesquisas se iniciaram a fim de aprimorar e impulsionar o cultivo de soja no país, para atender, principalmente, as demandas internacionais. Mas foi a



partir da década de 70 que a soja iniciou um processo de grande expansão e se tornou uma das principais culturas do agronegócio nacional.

A explosão do preço da soja no mercado mundial, em meados de 1970, desperta ainda mais os agricultores e o próprio governo brasileiro. O País se beneficia de uma vantagem competitiva em relação aos outros países produtores: o escoamento da safra brasileira ocorre na entressafra americana, quando os preços atingem as maiores cotações. Desde então, o país passou a investir em tecnologia para adaptação da cultura às condições brasileiras, processo liderado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, s.d.).

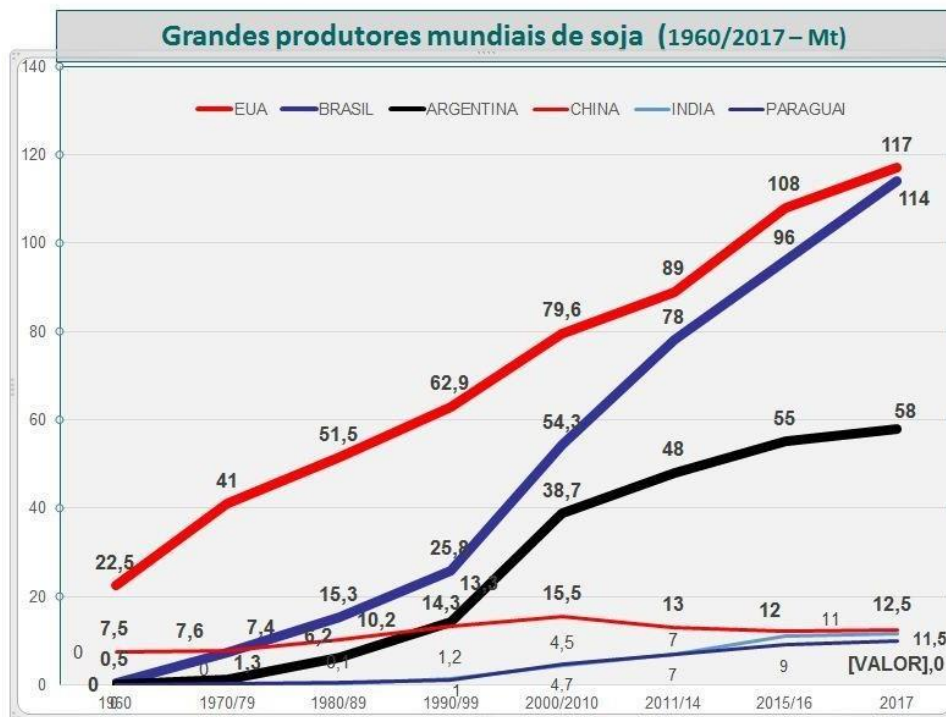
Como enuncia Câmara (2015), atualmente, a soja é cultivada em todo o território nacional, praticamente. Segundo a APROSOJA, uma das muitas consequências positivas da sojicultura no país foi o processo de desenvolvimento urbano que gerou nos municípios ligados à cultura, principalmente no Norte, Nordeste e Centro-Oeste brasileiro.

### 3.3 EXPLORAÇÃO DE MERCADO

#### 3.3.1 Produção de soja

“A soja, além de ser a principal oleaginosa cultivada no mundo, faz parte do conjunto de atividades agrícolas com maior destaque no mercado mundial” (IMEA, 2015). Dados coletados pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), em junho de 2017, mostram que a produção mundial de soja na última safra (safra 2016/2017) foi de 351,311 milhões de toneladas, sendo 117,208 milhões destas, equivalente ao que foi produzido nos Estados Unidos, atualmente o maior produtor mundial, e 113,923 milhões produzido no Brasil, o segundo maior produtor.

**Gráfico 1 – Grandes produtores mundiais de soja (1960/2017 – Mt)**



Fonte: Dall'Agnol (2017)

Das informações contidas no Gráfico 1, extrai-se que 33,4% da produção mundial concentra-se nos EUA, e aproximadamente 32,45% diz respeito à produção brasileira. É possível destacar, também, que a produção na última safra de soja da Argentina, terceiro maior produtor mundial da oleaginosa, foi de aproximadamente 58 milhões. Assim, os três maiores produtores mundiais totalizaram cerca de 82% da produção total de soja.

Vale destacar, também, que os países China, Índia e Paraguai, que compõem, respectivamente, o quarto, quinto e sexto lugar da produção de soja, somados aos três primeiros, constituem mais de 89% da produção total. Isso implica que pouco mais de 10% da produção de soja mundial está espalhada entre outras regiões do planeta.

A nível nacional, baseando-se no que foi publicado em 2017 pela EMBRAPA, o cenário possui o estado do Mato Grosso como maior produtor brasileiro de soja, sendo responsável por 26,78% da produção total brasileira da

safra 2016/2017. Em segundo lugar, aparece o estado do Paraná, com 17,15% do total, seguido por Rio Grande do Sul, representando 16,43% do total produzido no país.

### 3.3.2 Oferta e demanda

Uma das grandes preocupações, quando existe uma produção crescente, é se a demanda será capaz de acompanhar o que está sendo produzido, pois produção muito maior que demanda, indica um acúmulo de estoque, e estoque, por sua vez, causa baixa no valor do produto. De acordo com Nehmi (2012):

Se o preço de algum produto estiver alto, diversos produtores passarão a produzi-lo, aumentando a produção. Se a produção for grande, os estoques aumentam e o preço cai. Se o preço cai, diversos produtores perdem o interesse no produto, fazendo com que a safra diminua. Os estoques ficam reduzidos e o preço volta a subir (NEHMI, 2012).

Por isso, é importante sempre existir um equilíbrio entre oferta e demanda, de forma que não haja deficiência de produtos, nem mesmo acúmulo de estoque em excesso. Para tal, são realizadas várias previsões ao longo do ano, buscando preparar-se para o cenário que vier. “A Conab produz um quadro que estima, bem antes da época de plantio, como estarão os valores de oferta e demanda dos principais produtos agrícolas no final do período de safra” (CONAB, s.d)

Pode-se interpretar da visão de Dall’Agnol (2017), que um dos fatores determinantes para o crescimento da demanda é o aumento da população humana e, conseqüentemente, o aumento do consumo de soja, principalmente via consumo de carnes de animais que têm como alimentação a ração a base de farelo. Outro fator importante se dá porque, de acordo com o autor supracitado, o poder aquisitivo desta população em crescimento também vem aumentando, de modo geral.

Além disso, o fato da soja poder ser usada como matéria-prima de outras indústrias, como a de tintas, vernizes, detergentes, etc, também contribui para essa alta na demanda. Um forte exemplo é o biodiesel, obtido através das sementes de oleaginosas, pois, como enuncia Silva (2017), a volatilidade do preço do petróleo e a, cada vez maior, preocupação com a emissão de gases como o CO<sub>2</sub> na atmosfera

está impulsionando a produção de biocombustíveis como alternativa para os combustíveis fósseis.

Este acréscimo na demanda mundial de soja traz expectativas positivas para a economia brasileira, uma vez que o país é cotado como a grande promessa de fornecimento desta demanda adicional. Considerando-se os cinco maiores produtores globais, o Brasil tem maior potencial de expansão de produção.

“O Brasil deverá ser o grande provedor do esperado aumento da demanda mundial de soja, por possuir, apenas no ecossistema do Cerrado, mais de 50 milhões de hectares de terras ainda selvagens ou com pastagens degradadas e aptas para a sua imediata incorporação ao processo produtivo de soja e outros grãos” (DALL’AGNOL, 2017).

No caso dos Estados Unidos, China e Índia a produção de soja só poderia aumentar em detrimento de outras culturas, pois suas fronteiras agrícolas já estão comprometidas. A Argentina, por sua vez, ainda poderá aumentar sua área de produção, acompanhando o Brasil na expansão em favor da cultura da soja. Contudo, possui como inconveniência o fato de que estão se esgotando as áreas bastante férteis e bem localizadas. O país “poderá incrementar a área cultivada com soja, mas longe dos portos e explorando solos muito menos férteis que as tradicionais pradarias do ecossistema denominado ‘Pampa Húmeda’”. (DALL’AGNOL, 2017)

Desta forma, há uma tendência muito forte de que o Brasil, já a curto prazo, se torne o maior produtor global de soja. “Além de possuir área abundante para aumentar sua produção, o Brasil, também, domina a tecnologia para produzir a soja em climas tropicais” (DALL’AGNOL, 2017).

### 3.3.3 Exportação

O Brasil é um dos maiores exportadores de soja do mundo, e a oleaginosa tem grande protagonismo diante de todas as exportações do país. Dall’Agnol (2017)

aponta que a soja “reina no lugar que já foi da cana-de-açúcar (Brasil Colônia) e do café (Brasil Império/República)”, sendo o destaque do agronegócio nacional.

De acordo com dados da EMBRAPA (2017), a soja, na safra de 2016/2017, foi responsável por mais de 25 bilhões de dólares, ou cerca de 15% de tudo o que o Brasil exportou. Sabe-se, também, pela publicação de Gomes (2018) que “as exportações de soja do Brasil cresceram cerca de 32 por cento em 2017 ante 2016 e alcançaram um recorde de 68,15 milhões de toneladas”.

A Tabela 1 mostra dados de receita, embarques e preços médios da soja no Brasil nos últimos onze anos:

**Tabela 1- Tabela de dados das exportações de soja no Brasil**

<b>ANO</b>	<b>Receita (US\$ Bilhões)</b>	<b>Embarques (milhões ton.)</b>	<b>Preço (US\$ por ton.)</b>
<b>2006</b>	\$ 5,66	24,96	\$ 226,92
<b>2007</b>	\$ 6,71	23,73	\$ 282,69
<b>2008</b>	\$ 11,04	24,50	\$ 450,70
<b>2009</b>	\$ 11,42	28,56	\$ 399,97
<b>2010</b>	\$ 10,90	29,07	\$ 374,81
<b>2011</b>	\$ 16,33	32,99	\$ 494,98
<b>2012</b>	\$ 17,46	32,92	\$ 530,29
<b>2013</b>	\$ 22,81	42,87	\$ 532,14
<b>2014</b>	\$ 23,28	45,69	\$ 509,44
<b>2015</b>	\$ 20,98	54,32	\$ 386,26
<b>2016</b>	\$ 19,33	51,58	\$ 374,77
<b>2017</b>	\$ 25,72	68,15	\$ 377,34

Fonte: Formigoni (2018)

Os dados mostram que, em 2017, o Brasil obteve recorde em sua exportação de soja, tanto no quesito receita, superando os US\$23,28 bilhões de 2014, quanto no quesito de embarques, no qual superou o ano de 2015, que detinha o recorde de 54,32 milhões de toneladas exportadas. Formigoni (2018) diz que boa parte do faturamento do mercado brasileiro de exportação de soja se dá devido ao aumento da demanda dos chineses pelo produto brasileiro. Também segundo Formigoni (2018), a China é o principal importador de soja em grão do Brasil e sua participação no mercado brasileiro fica próxima de 80,0%, muito superior a Espanha,

que ocupa a segunda posição no rank entre os principais compradores (2,9%).  
(FORMIGONI, 2018)

**Tabela 2 - Dados de receita de vendas (em milhões de dólares) da soja em grão do Brasil, por país importador**

<b>Países</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>Var.</b>
<b>China</b>	\$ 14386,1	\$ 20310,2	41,2%
<b>Espanha</b>	\$ 598,7	\$ 757,7	26,6%
<b>Tailândia</b>	\$ 586,6	\$ 622,8	6,2%
<b>Holanda</b>	\$ 571,5	\$ 592,4	3,7%
<b>Irã</b>	\$ 467,9	\$ 469,1	0,3%
<b>Rússia</b>	\$ 411,4	\$ 415,7	1,0%
<b>Outros</b>	\$ 2309,1	\$ 2549,8	10,4%

Fonte: Formigoni (2018)

Avaliando os dados da Tabela 2, pode-se verificar que todos os principais países importadores de soja do Brasil tiveram variância positiva de 2016 para 2017, ou seja, a receita aumentou de um ano para o outro. Este representa um cenário muito positivo para a economia brasileira, pois mesmo com um crescimento menor em países como Irã e Rússia, o aumento da receita causado por China e Espanha foi bastante expressivo.

### 3.4 PROCESSAMENTO DA SOJA

Para ter como produtos farelo e óleo, a soja passa por várias etapas de processamento, cada uma tendo a sua finalidade. Este processo pode ser dividido em 3 etapas: recebimento, preparação e extração. A Figura 1, contendo um fluxograma, explica, de forma simplificada, as etapas de recebimento e preparação dos grãos de soja.

**Figura 1 - Fluxograma do Processamento da Soja**



Fonte: Autoria Própria.

Já da etapa de extração, que é mais complexa, será explicada, mais adiante, apenas o que é fundamental para o entendimento do projeto e seus objetivos.

#### 3.4.1 Recebimento

O recebimento é composto da descarga da soja nas moegas, sua pré-limpeza, secagem e armazenagem. A soja que chega na fábrica possui grande quantidade de impurezas e umidade. Estes fatores influenciam negativamente na armazenagem dos grãos, e por este motivo é necessário estes passem por peneiras e por um secador antes de irem para os silos de armazenagem.

Para que a armazenagem ocorra de modo seguro e correto, os grãos devem estar com umidade em torno de 12,5% e com uma porcentagem de impurezas de no máximo 1%. Quando a soja precisa ser retirada do silo para seguir o caminho do esmagamento, ela passa novamente por um secador, o que resulta em uma umidade final de 10,0 a 10,5% de umidade (para produção de farelo Hipro  $\approx$  48,0% de proteína) ou 10,5 a 11,0% de umidade (para farelo Pellet  $\approx$  46,0% de proteína).

Caso a umidade da semente esteja acima de 12,5% e estas não passem pelo secador, “pode ocorrer a degradação de proteínas, decarboidratos, de fosfolipídios, gerando compostos lipossolúveis que contaminam o óleo, afetando a cor, odor e o sabor” (GUARIENTI, 2009). Após isso, os grãos também passam por outra peneira que deve diminuir a porcentagem de impurezas para no máximo 0,40%.

#### 3.4.2 Preparação

A seguir, vem a etapa da preparação da soja. Nessa etapa, a soja é basicamente preparada da melhor forma possível para ter seu óleo extraído.

Primeiramente, o grão de soja é quebrado em um equipamento chamado moinho quebrador, que é composto de 2 cilindros raiados que giram em sentidos opostos e com velocidades diferentes. Desta forma, obtém-se uma melhor quebra, o que, conseqüentemente, resulta em uma melhor separação da casca, que dificulta o



processo de extração do óleo. Os grãos de soja passam por 2 quebradores e são quebradas, na maior parte, em 1/4 e 1/8 de grão.

Após a quebra, a mistura de soja quebrada e casca solta é separada através de um sistema de separação de cascas, composto de peneiras, colunas separadoras de casca, colunas de recuperação de finos, ventiladores e ciclones. Como enuncia d'Arce (2006), "a casca contém menos de 6% de óleo, o que justifica sua separação". Assim, no final desta etapa, apenas uma pequena quantidade de casca segue para o processo, e a maior parte é direcionada para o silo de cascas.

A soja quebrada segue, então, para um condicionador, que é um equipamento grande e cilíndrico que possui uma pequena angulação e funciona girando. Através de seu giro e de seu ângulo de inclinação, a soja é movida de uma extremidade à outra. O equipamento trabalha com vapor direto e indireto e tem como finalidade cozinhar a soja, "de modo a aumentar de forma conjunta a umidade e a temperatura dos grãos" (GUARIENTI, 2009) e, também, amolecer os grãos, para que o processo a seguir seja facilitado.

A seguir, os grãos quebrados e condicionados vão para os moinhos laminadores, responsáveis por transformar os pedaços de soja em lâminas (flocos). Seu funcionamento é parecido com o de um quebrador, porém, os laminadores possuem rolos lisos. "Os flocos (lâminas ou flakes) obtidos possuem uma espessura de dois a quatro décimos de milímetro" (MANDARINO et al, 2015), com uma maior área superficial e com os vasos lipídicos mais evidentes, o que facilita a extração do óleo.

Depois dos laminadores, os flocos de soja vão para as expanders, que são responsáveis por comprimir estes flocos, transformando-os em uma massa ainda mais suscetível à extração. Dentro do equipamento, os flocos são arrastados por uma rosca helicóide enquanto recebem vapor direto. No final do equipamento, existe um cone que comprime o material em alta pressão. Após o cone, o material volta novamente à pressão atmosférica, e essa queda brusca de pressão faz com que a água presente na massa, vinda do vapor direto injetado no equipamento, evapore instantaneamente, resultando em poros na massa. Essa massa porosa tem maior área superficial e facilita a passagem do solvente na etapa da extração.

Após as expanders, a massa expandida passa uma esteira resfriadora, que resfria a massa até uma temperatura de 58 a 62 °C através de ventiladores. Então, a massa é enviada à Extração.

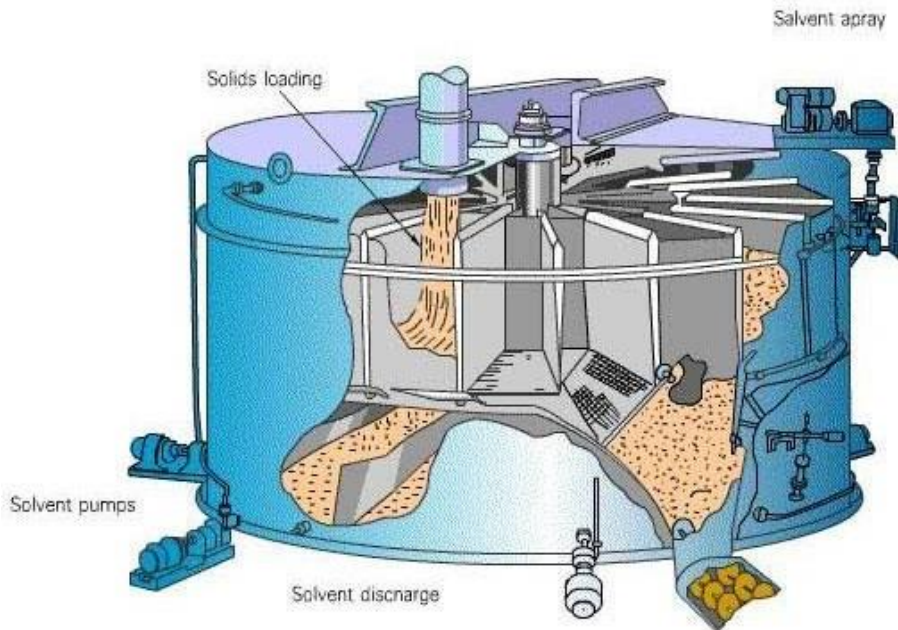
### 3.4.3 Extração

O setor da extração é um setor mais complexo que os anteriores, pois possui várias linhas de produtos e processos mais dinâmicos. O setor é composto de um extrator, uma dessolventizador-tostador, um secador de farelo, um lavador de gases, uma linha de condensadores, um sistema de óleo mineral, um conjunto de torres de resfriamento de água, uma linha de recuperação de vapor condensado, um tanque separador água-solvente e trocadores de calor, além de ventiladores, ciclones e radiadores. Aqui, vamos focar apenas em alguns equipamentos que interessam ao projeto, que são o extrator, o DT e alguns equipamentos da linha dos gases de saída do DT, que são o evaporador 60A e aquecedor 18A.

#### 3.4.3.1 Extrator

O primeiro equipamento no qual a massa expandida passa é o extrator, o coração da extração. O corpo do equipamento é circular e, dentro dele, existem vários compartimentos, chamados de “caçambas”, que recolhem a massa.

**Figura 2 - Extrator Rotocel**



Fonte: <http://oil-expeller.net>

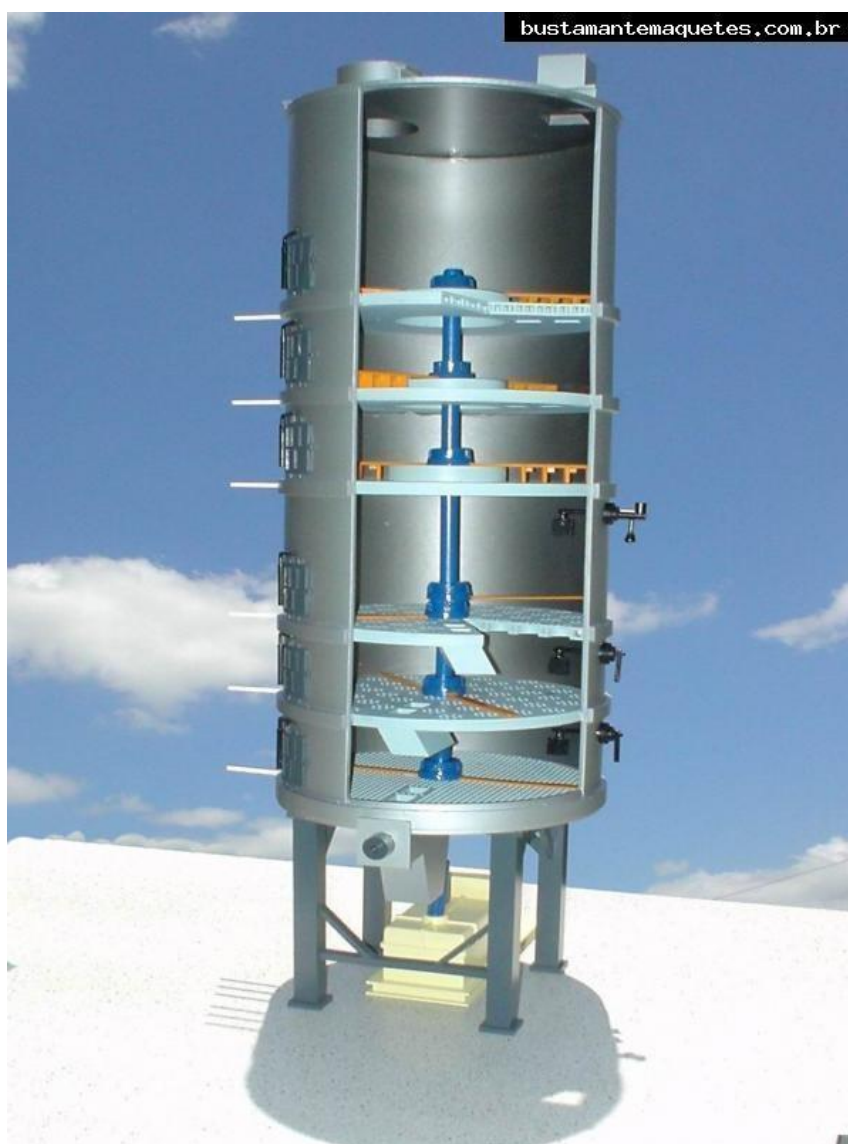
O equipamento, e conseqüentemente a massa, giram no sentido anti-horário, enquanto a massa recebe vários banhos de hexano e miscela (mistura de hexano e óleo de soja) no sentido horário. Os banhos e a massa giram em sentidos opostos para que a massa, ao entrar no equipamento possuindo uma grande quantidade de óleo, não receba um banho de solvente puro, e sim um banho de miscela concentrada, ou seja, com alta concentração de óleo. Isso porque, devido à alta quantidade de óleo na massa quando entra no equipamento, o arraste do óleo pela miscela e também a difusão do óleo contido na massa é mais fácil.

Conforme a massa gira com o equipamento, vai recebendo banhos menos concentrados de óleo e mais concentrados de hexano. Ao fim do último banho, a massa deve estar com um residual de óleo, chamado de LEX, de aproximadamente 0,60 a 0,90% e com uma concentração de solvente de 26,0 a 30,0%. Ao fim do processo, são gerados dois subprodutos: farelo desengordurado e miscela.

### 3.4.3.1.1 Farelo Desengordurado

O farelo é enviado para o **Dessolventizador-Tostador**, equipamento de estudo deste trabalho. O equipamento é composto de 7 pisos, todos com “facões” que giram ao redor de um eixo presente no meio do equipamento, responsáveis pelo movimento do farelo dentro do mesmo. Em cada piso, existe uma “bica”, posicionada de forma a fazer com que o farelo permaneça o maior tempo possível dentro do equipamento, que permite a passagem do farelo de um piso para o outro.

**Figura 3 – Dessolventizador-Tostador**



Fonte: <http://www.bustamantemaquetes.com.br>

Guarienti (2009) explica que, nos 3 primeiros pisos, o farelo tem contato somente com vapor indireto, que passa pelo piso. Esta parte é responsável pela maior parte da dessolventização do farelo. Já os 4 últimos pesos utilizam vapor direto e indireto para retirar o restante de solvente do farelo e para tostá-lo.

No final, sai do equipamento um farelo com temperatura próxima a 105 °C e umidade de em torno de 15,5%. O residual de hexano no farelo deve ser de no máximo 500 ppm. O equipamento trabalha com uma depressão de aproximadamente -70 mmH<sub>2</sub>O que é responsável por retirar a mistura de gases (vapor+hexano) pelo topo do equipamento por uma tubulação. Portanto, do equipamento saem duas linhas de produtos: farelo tostado e mistura de gases.

#### 3.4.3.1.1.1. *Farelo Tostado*

O farelo tostado é então direcionado para o secador, que é composto de 4 pisos, também com facões. Nele, há a secagem do farelo, que é feito através de ventiladores e radiadores. O ar utilizado para secagem é levado para ciclones, que separam o ar das pequenas partículas de farelo, que são despejadas no transportador responsável por levar o farelo final para a britagem de farelo. O farelo final possui de 12,0 a 13,5% de umidade.

#### 3.4.3.1.1.2. *Mistura de gases*

Após sair do DT, a mistura de gases passa por um lavador de gases, onde entra por baixo do equipamento em fluxo ascendente, enquanto recebe um jato de água quente em fluxo descendente. Como a água do lavador trabalha em circulação, ela se encontra praticamente na mesma temperatura que os gases. O jato de água retém a maior parte do conteúdo de sólidos que foram arrastados do DT.

Os gases seguem, então, para o primeiro evaporador, de nomenclatura 60A, onde passam pelo casco, enquanto pelos tubos passa a miscela originada no extrator. Neste evaporador, os gases se condensam parcialmente, transferindo calor latente para a miscela.

Os gases que não foram condensados no 1º evaporador seguem para os condensadores, que são responsáveis por condensar o hexano e enviá-lo para o tanque separador, onde o hexano é armazenado e enviado novamente para o processo de extração. Porém, a condensação não é completa. Por este motivo, o resto da mistura dos gases é enviado para o sistema de óleo mineral, que é composto de duas colunas de óleo mineral e trocadores de calor. O óleo mineral, por interagir de forma vantajosa com o hexano, é utilizado para absorvê-lo da mistura e depois ser separado novamente, recuperando, desta forma, a grande maioria do hexano utilizado na extração.

#### 3.4.3.1.2 *Miscela*

A miscela resultante do processo de extração do óleo no extrator vai para a destilaria, que é composta de trocadores de calor, um stripper de óleo e um secador de óleo. Após sair do extrator, a miscela vai para um tanque pulmão, que tem como objetivo absorver as variações de vazão de miscela na extração.

Do tanque, segue para o 1º evaporador, onde troca calor com a mistura de gases que saiu do DT. No equipamento, cerca de 85-90% do hexano presente na miscela é evaporado, e essa evaporação acontece a vácuo. Para que a evaporação do hexano seja ideal, é preciso que a temperatura de trabalho do equipamento seja controlada. Em caso de os gases estarem com temperatura menor que a ideal ou a troca não estar ocorrendo da forma correta, o equipamento conta com uma entrada de vapor auxiliar para que a temperatura correta seja mantida.

A miscela concentrada é tomada do domo do equipamento 60A (Domo Separador 60B) e enviada para o economizador 81-P60/P22, onde a miscela troca calor com o óleo vegetal quente proveniente da coluna 22 (óleo quente). O equipamento nada mais é que um trocador de calor, mas devido ao fato de utilizar óleo quente que deve perder para calor para os processos futuros, é chamado de economizador.

Depois do economizador, a miscela segue para o aquecedor 18A, onde passa pelos tubos e troca calor com vapor vivo passando pelo casco. Este

equipamento aquece a miscela até a temperatura necessária para que o próximo equipamento possa funcionar de forma adequada e os resultados esperados em relação à evaporação do hexano sejam alcançados. A temperatura final de aquecimento é obtida com a regulagem da pressão de vapor no equipamento.

Após o aquecedor, a mistura de miscela e gases vai para o Domo Separador 18B, que é um separador líquido-vapor. Abaixo do domo separador, em conjunto, se encontra a coluna 22, que é um *stripper de óleo*, composto de várias grelhas e que utiliza vapor direto em sua parte de baixo. O vapor sobe em forma de bolhas pelo meio da miscela, evaporando e arrastando consigo o hexano. Estes fatores, em conjunto, maximizam a evaporação do resto de hexano presente na miscela.

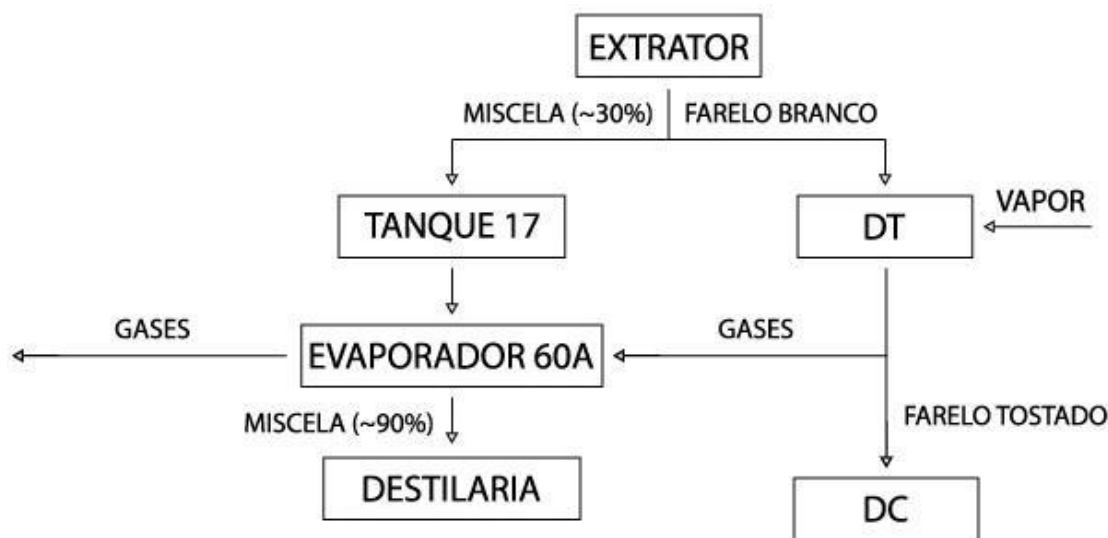
Então, o óleo, já com um residual quase nulo de hexano, vai para o secador de óleo, de nomenclatura 506, onde é retirado a maior parte da água que foi incorporada pelo óleo ao se utilizar o vapor direto. Tem-se, então, o óleo bruto.

#### 4. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na planta de uma indústria de extração do óleo de soja, instalada na região dos Campos Gerais - PR. A empresa possui, globalmente, aproximadamente 19 mil colaboradores. Deste total, aproximadamente 200 pessoas trabalham na unidade de Ponta Grossa, presente na cidade desde 1974.

Visto que o maior objetivo deste trabalho é a redução das perdas do solvente hexano, o principal objeto deste estudo será o farelo da soja em seu processo de dessolventização-tostagem, que é a etapa em que se tem a maior perda de hexano na planta. O processo de extração começa com alguns pré-tratamentos à semente de soja, até que a mesma esteja triturada e facilite a penetração do solvente. A seguir, encontra-se um fluxograma que explica o essencial do processo de extração para que haja o entendimento do projeto em questão.

Figura 4 – Fluxograma da Extração



Fonte: Autoria própria (2018)

Quando chega ao extrator, a massa resultante recebe vários banhos de solvente – puro e em mistura com o óleo –, momento em que a maior parte do óleo é retirado. Após isso, a massa com uma concentração de aproximadamente 26-32% de hexano é encaminhada ao dessolventizador-tostador (DT), onde o solvente deve



ser evaporado, quase em sua totalidade, e separado do farelo resultante. Para se evaporar este solvente, utiliza-se vapor direto e indireto.

No topo do DT, a mistura de gases (vapor+hexano) é expelida através de uma tubulação, sendo direcionada para os condensadores, onde, através de sucessivas trocas de calor, o hexano é condensado e redirecionado para o processo de extração do óleo da soja.

Assim, para iniciar a pesquisa, o processo será avaliado para se obter quais são as variáveis que interagem com a mudança de parâmetro proposta pelo projeto. Após obtidas as variáveis, serão testados diferentes setpoints da temperatura de saída dos gases no equipamento DT, o que, conseqüentemente, alterará somente a quantidade de vapor direto utilizada. Para a realização dos testes, foi estabelecido um cronograma. Serão testados 4 valores de temperatura de setpoint dos gases de saída do DT e serão realizadas 3 análises para cada temperatura.

A temperatura usual de setpoint dos gases de saída do DT é de 79 °C. Portanto, os primeiros testes serão realizados com essa temperatura. Para as outras análises, será reduzido a temperatura de 1 em 1 °C até atingir uma temperatura de 76 °C.

As coletas das amostras para análise serão sempre realizadas nas quartas-feiras, quintas-feiras e sextas-feiras, de 09:00 às 10:00 horas da manhã, desde que o processo esteja estabilizado. As análises das amostras serão realizadas pela equipe de laboratório da própria empresa no período da tarde do mesmo dia da coleta. A equipe de laboratório é composta por 4 analistas júnior, divididos em 4 turnos, 1 analista pleno, 1 supervisor de qualidade e 1 estagiário, estes 3 últimos em horário administrativo. O cronograma é mostrado na Tabela 3:

Tabela 3 – Cronograma de testes

<b>Dia</b>	<b>T dos Gases do DT (°C)</b>	<b>Variável 1</b>	<b>Variável 2</b>	<b>...</b>	<b>Variável n</b>
7/2	79				
8/2	79				
9/2	79				
14/2	78				
15/2	78				
16/2	78				
21/2	77				
22/2	77				
23/2	77				
28/2	76				
1/3	76				
2/3	76				

Fonte: Autoria própria (2018)

Para cada temperatura de setpoint, serão analisadas todas as variáveis envolvidas, a fim de que possa ser calculada a vantagem ou desvantagem financeira resultante de cada um dos testes, levando em consideração o custo de geração de vapor e os residuais de hexano obtidos, bem como determinar se a mudança é viável e satisfatória para a estabilidade do processo.

O projeto possui, basicamente, 3 fases. A primeira consiste em avaliar quais são as variáveis que interagem com a mudança de parâmetro estudada. Na segunda fase, são realizados os testes propriamente ditos, levando em consideração as temperaturas de setpoint estabelecidas e as variáveis dependentes anteriormente verificadas. Já na terceira fase, foi realizada a análise dos resultados obtidos, onde foi verificada, através da viabilidade econômica e ambiental, qual é a temperatura de setpoint que gera melhor resultados.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 AVALIAÇÃO DAS VARIÁVEIS DEPENDENTES

Para constatar quais eram as variáveis dependentes da mudança de parâmetros, foi realizado um estudo em campo com a ajuda de supervisores e operadores. Através do software no supervísório do setor da Extração, foram estabelecidas quais eram as principais variáveis que seriam influenciadas pela mudança da temperatura de setpoint dos gases de saída do DT. As variáveis e a descrição da dependência se encontram no Quadro 1:

**Quadro 1 - Variáveis Dependentes da Mudança de Parâmetros**

<b>Variável</b>	<b>Descrição da Dependência</b>
<b>Temperatura do Farelo – DT</b>	O vapor direto do DT troca calor com o farelo, portanto, sua vazão influencia diretamente na temperatura de saída do farelo.
<b>Residual de Hexano no Farelo – DT</b>	O vapor é utilizado para aquecer o farelo e evaporar o hexano presente no mesmo. Portanto, sua vazão pode influenciar a evaporação do solvente.
<b>Consumo de Vapor – DT</b>	A mudança da temperatura de setpoint da saída dos gases do DT altera somente a vazão de vapor direto no equipamento. Portanto, para estudos de viabilidade, essa variável é imprescindível.
<b>Consumo de Vapor Auxiliar – 60<sup>a</sup></b>	Com a mudança de vapor direto no DT, a troca de calor no evaporador 60A também será afetada. Para que a miscela sempre alcance a temperatura necessária para evaporar a maior parte do hexano, é necessário utilizar vapor auxiliar, que também entra no estudo da viabilidade.
<b>Residual de Hexano no Óleo – 22</b>	Como a evaporação do hexano é afetada no evaporador 60A, é necessário ter certeza de que o residual de hexano no óleo bruto não ultrapasse seu limite.

Fonte: Autoria própria (2018)

Aqui, atingimos nosso primeiro objetivo, que é “avaliar quais variáveis têm influência direta no processo de dessolventização-tostagem do farelo de soja”.

## 5.2 RESULTADOS DOS TESTES

Como as variáveis dependentes não possuem a mesma forma de coleta e análise, primeiramente foi estruturado um plano de ação para realizar esta etapa, envolvendo as variáveis e o ponto de coleta/modo de análise. Foi utilizado o 5W2H como ferramenta da gestão da qualidade para este plano de ação, onde foram respondidas as perguntas “o quê?”, “por quê?”, “onde?”, “quando?”, “quem?”, “como?”, a fim de decidir a influência das variáveis.

O resultado se encontra na Tabela 4.

**Tabela 4 – Variáveis x Análises**

<b>Variável</b>	<b>Ponto de Coleta</b>	<b>Modo de Análise</b>
<b>Temperatura do Farelo - DT [°C]</b>	Supervisório	-
<b>Residual de Hexano no Farelo - DT [ppm]</b>	Válvula na saída do DT	Cromatografia
<b>Consumo de Vapor - DT [ton/dia]</b>	Supervisório	-
<b>Consumo de Vapor Auxiliar - 18A [ton/dia]</b>	Supervisório	-
<b>Residual de Hexano no Óleo Bruto - 506 [ton/dia]</b>	Válvula na saída do 506	Cromatografia

Fonte: Autoria própria (2018)

Portanto, as únicas amostras que necessitaram realmente de uma análise foram o farelo do DT e o óleo bruto após o secador de óleo.

Como dito anteriormente, a coletas das amostras foi realizada sempre às quartas-feiras, quintas-feiras e sextas-feiras pela manhã, e estas foram analisadas no mesmo dia da coleta, no período da tarde. Foram coletadas 3 amostras para

cada temperatura de setpoint e, após a última coleta, a temperatura era diminuída em 1 °C, até que fosse alcançada a temperatura de 76 °C. Os resultados dos testes se encontram na Tabela 5.

**Tabela 5 – Resultados das análises**

<b>Dia</b>	<b>T dos Gases do DT [°C]</b>	<b>Temperatura do Farelo - DT [°C]</b>	<b>Residual de Hexano no Farelo - DT [ppm]</b>	<b>Consumo de Vapor - DT [ton/dia]</b>	<b>Consumo de Vapor Auxiliar - 60A [ton/dia]</b>	<b>Residual de Hexano no Óleo Bruto - 506 [ton/dia]</b>
<b>7/2</b>	79	106,0	465,1	314,8	0,0	89,1
<b>8/2</b>	79	105,3	438,5	312,2	0,0	88,5
<b>9/2</b>	79	105,5	459,2	310,6	0,0	88,6
<b>14/2</b>	78	106,3	446,4	295,9	4,8	89,6
<b>15/2</b>	78	104,6	430,7	293,2	5,0	90,1
<b>16/2</b>	78	105,1	440,1	299,8	4,5	88,9
<b>21/2</b>	77	106,1	470,4	282,2	9,0	89,8
<b>22/2</b>	77	105,0	452,0	284,7	10,1	90,4
<b>23/2</b>	77	104,9	486,2	282,5	10,3	90,9
<b>28/2</b>	76	105,8	488,2	270,3	14,9	91,2
<b>1/3</b>	76	106,1	501,4	269,0	15,6	92,0
<b>2/3</b>	76	105,3	496,9	273,9	15,9	91,6

Fonte: Aatoria própria (2018)

Para que fosse possível analisar e comparar de forma mais clara os resultados, foi calculada a média dos resultados para cada variável nas 4 temperaturas de setpoint. Dados que estão apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6 – Médias dos resultados das análises**

<b>T dos Gases do DT [°C]</b>	<b>T do Farelo - DT [°C]</b>	<b>Residual de Hexano no Farelo – DT [ppm]</b>	<b>Consumo de Vapor - DT [ton/dia]</b>	<b>Consumo de Vapor Auxiliar - 60A [ton/dia]</b>	<b>Residual de Hexano no Óleo Bruto - 506 [ton/dia]</b>
<b>79</b>	105,6	454,3	312,5	0,0	88,7
<b>78</b>	105,3	439,1	296,3	4,8	89,5
<b>77</b>	105,3	469,5	283,1	9,8	90,4
<b>76</b>	105,7	495,5	271,1	15,5	91,6

Fonte: Aatoria própria (2018)

Neste ponto, concluímos o segundo objetivo do projeto, que consiste em “verificar o impacto sobre as perdas do solvente hexano, através da mudança de parâmetros no processo de dessolventização-tostagem do farelo de soja”.

### 5.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

É possível observar, através das tabelas apresentadas anteriormente, que a variação de temperatura de setpoint dos gases de saída do DT também causa variações em suas variáveis dependentes, como era esperado. Porém, algumas variam mais do que outras. Isso pode ser representado através do desvio padrão dos resultados, apresentado no Quadro 2.

**Quadro 2 – Desvio Padrão dos resultados**

	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Temperatura do Farelo - DT [°C]</b>	0,20000
<b>Residual de Hexano no Farelo - DT [ppm]</b>	24,07087
<b>Consumo de Vapor - DT [ton/dia]</b>	17,80771
<b>Consumo de Vapor Auxiliar - 18A [ton/dia]</b>	4,60904
<b>Residual de Hexano no Óleo Bruto - 506 [ton/dia]</b>	1,22636

Fonte: Autoria própria (2018)

Através do Quadro 2, é possível perceber que a variável que menos sofreu alteração com a variação da temperatura de setpoint foi a temperatura do farelo do DT, com um desvio padrão de apenas 0,20000. Já o residual de hexano no farelo do DT foi a variável que mais sofreu alteração, chegando a um desvio padrão de 24,07087.

Com exceção da variável “Temperatura do Farelo – DT”, todas as outras variáveis, quando sofrem alterações para menos, tornam-se mais vantajosas para o processo. Quanto menos vapor consumido, menos custo. Assim como quanto menor o residual de hexano no farelo e no óleo, menor perda de solvente, que também tem um custo, e menor impacto ao meio ambiente e aos animais que consumirão o farelo final.

Portanto, a relação entre as variáveis dependentes e as temperaturas nas quais foram obtidos os melhores resultados se encontra no Quadro 3.

Quadro 3 – Variáveis x Temperatura de melhor resultado

Variável	Temperatura com Melhor Resultado [°C]
Residual de Hexano no Farelo - DT [ppm]	78
Consumo de Vapor - DT [ton/dia]	76
Consumo de Vapor Auxiliar - 18A [ton/dia]	79
Residual de Hexano no Óleo Bruto - 506 [ton/dia]	79

Fonte: Autoria própria (2018)

Porém, é necessário analisar o processo como um todo, calculando a quantidade de vapor consumido e a quantidade de hexano perdido diariamente para cada temperatura.

Para calcular a quantidade de hexano perdido no farelo do DT e no óleo bruto por dia, são utilizadas as equações a seguir.

Perda de hexano residual no farelo do DT por hora ( $R_{F,h}$ ):

$$R_{F,h} = \dot{m}_F \times C_F \times v_H$$

onde:

$\dot{m}_F$  = vazão mássica de farelo na saída do DT [ton/h];

$C_F$  = concentração de hexano residual no farelo do DT [%];

$v_H$  = volume específico do hexano [L/ton].

Perda de hexano residual no óleo bruto por hora ( $R_O$ ):

$$R_{O,h} = \dot{m}_O \times C_O \times v_H$$



onde:

$\dot{m}_O =$  vazão mássica de óleo bruto [ton/h];

$C_O =$  concentração de hexano residual no óleo bruto [%];

$v_H =$  volume específico do hexano [L/ton].

Para o cálculo da perda diária, os resultados dos cálculos anteriores, referentes à perda de hexano por hora, são multiplicados por 24, que é o total de horas diárias:

$$R_{F,d} = R_{F,h} \times 24$$

$$R_{O,d} = R_{O,h} \times 24$$

onde:

$R_{F,d} =$  Perda de hexano residual no farelo do DT por dia;

$R_{O,d} =$  Perda de hexano residual no óleo por dia.

Já para o cálculo da perda mensal, a perda diária é multiplicada pela média de dias de um mês, que é 30.

$$R_{F,m} = R_{F,d} \times 30$$

$$R_{O,m} = R_{O,d} \times 30$$

onde:

$R_{F,m} =$  Perda de hexano residual no farelo do DT por mês;

$R_{O,m} =$  Perda de hexano residual no óleo por mês.

Os resultados são apresentados nas Tabelas 7 e 8:

Tabela 7 – Perda de Hexano residual no farelo do DT

T dos Gases do DT (°C)	$R_{F,h}$ [L/h]	$R_{F,d}$ [L/dia]	$R_{F,m}$ [L/mês]
79	70,24	1.685,74	50.572,23
78	67,89	1.629,37	48.881,12
77	72,60	1.742,48	52.274,52
76	76,62	1.838,90	55.166,88

Fonte: Autoria própria (2018)

Tabela 8 – Perda de Hexano residual no óleo bruto

T dos Gases do DT (°C)	$R_{O,h}$ [L/h]	$R_{O,d}$ [L/dia]	$R_{O,m}$ [L/mês]
79	3,60	86,61	2.598,41
78	3,64	87,39	2.621,93
77	3,67	88,21	2.646,33
76	3,72	89,41	2.682,45

Fonte: Autoria própria (2018)

A partir destes dados, foram calculadas as perdas totais de hexano residual por mês para cada temperatura de setpoint, pela equação a seguir:

$$R_{T,m} = R_{F,m} + R_{O,m}$$

Os resultados encontram-se na Tabela 9.

**Tabela 9 – Perdas totais de Hexano residual**

<b>T dos Gases do DT (°C)</b>	<b><math>R_{F,m}</math> [L/mês]</b>	<b><math>R_{O,m}</math> [L/mês]</b>	<b><math>R_{T,m}</math> [L/mês]</b>
<b>79</b>	50.572,23	2.598,41	53.170,63
<b>78</b>	48.881,12	2.621,93	51.503,05
<b>77</b>	52.274,52	2.646,33	54.920,85
<b>76</b>	55.166,88	2.682,45	57.849,33

Fonte: Autoria própria (2018)

Assim como para o residual de hexano, foi calculada a quantidade de vapor consumida por mês para cada temperatura de setpoint. Para isso, primeiramente foi somada a quantidade de vapor usada em cada equipamento para cada temperatura de setpoint. Depois, este resultado, que é a quantidade total de vapor consumido por dia ( $V_d$ ), é multiplicado por 30, que é a média de dias de um mês.

$$V_m = V_d \times 30$$

onde:

$V_m$  = quantidade de vapor consumido por mês.

Os resultados são apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10 – Consumo total de vapor**

<b>T dos Gases do DT (°C)</b>	<b>Consumo de Vapor no DT [ton/dia]</b>	<b>Consumo de Vapor no 60A [ton/dia]</b>	<b><math>V_d</math>[ton/dia]</b>	<b><math>V_m</math>[ton/mês]</b>
<b>79</b>	312,5	66,0	378,6	11.357,4
<b>78</b>	296,3	69,0	365,3	10.958,0
<b>77</b>	283,1	72,8	355,9	10.678,0
<b>76</b>	271,1	76,6	347,7	10.431,0

Fonte: Autoria própria (2018)

A análise econômica agora pode ser efetuada, levando em consideração os resultados obtidos e dados levantados pela própria empresa. As informações essenciais para a análise econômica são: custo de geração de vapor e custo do hexano.

O custo de geração de vapor, neste caso, envolve o custo de biomassa – cavaco, no caso da fábrica em estudo – e o custo relacionado à empresa responsável por administrar os produtos químicos utilizados no tratamento da água da caldeira e pelas análises da mesma. Existem outros custos relacionados à geração de vapor, como energia elétrica, mão de obra e combustível da pá carregadeira utilizada no silo de cavaco, porém, como houveram dificuldades na obtenção destes dados no mês em estudo, foram considerados somente os custos antes estabelecidos. Já o custo do hexano é fixo.

Levando em consideração o total de vapor gerado no mês de janeiro e os custos desta geração, foi calculado o custo para geração de 1 ton de vapor.

$$\text{custo para gerar 1 ton de vapor} = \frac{\text{custo total no mês}}{\text{total de vapor gerado no mês}}$$

Assumindo que o custo total no mês foi de R\$4.140.604,00 e o total de vapor gerado foi de 116.099,81 ton, calculou-se o custo para gerar 1 ton de vapor.

$$\text{custo para gerar 1 ton de vapor} = \frac{R\$4.140.604,0}{116.099,81 \text{ ton}} = R\$35,66 \text{ ton de vapor}$$

Além do preço associado à geração de vapor, tem-se também o preço do hexano utilizado na extração, que é de R\$2,37 por litro de solvente.

Com estes dados calculados, é possível realizar a análise econômica dos resultados obtidos nos testes. A Tabela 11 evidencia essa análise.

**Tabela 11 – Análise Econômica**

T dos Gases do DT [°C]	$R_{T,m}$ [L/mês]	$V_m$ [L/mês]	Custos de Hexano [R\$]	Custos de Vapor [R\$]	Custo Total [R\$]
79	53.170,63	11.357,4	126.014,4	405.004,9	531.019,3
78	51.503,05	10.958,0	122.062,2	390.762,3	512.824,5
77	54.920,85	10.678,0	130.162,4	380.777,5	510.939,9
76	57.849,33	10.431,0	137.102,9	371.969,5	509.072,4

Fonte: Autoria própria (2018)

A partir da Tabela 11, é possível evidenciar que a temperatura de setpoint de

76 °C é a que gerou menos custos para o processo, ou seja, se fossem levados em

conta apenas os fatores econômicos, esta seria a temperatura ideal de trabalho. Porém, se analisarmos a Tabela 5, é possível observar que em uma das análises realizadas, foi obtido um resultado de 501,4 ppm de residual de hexano no farelo do DT. Como o máximo de residual de hexano permitido no farelo do DT é de 500 ppm, devemos descartar esta temperatura. Apesar de haver a possibilidade de, eventualmente, análises obterem resultados acima de 500 ppm para outras temperaturas maiores que 76 °C, é possível levar em consideração os resultados dos testes realizados devido à boa precisão dos mesmos.

Portanto, levando em consideração os resultados obtidos e residual de hexano máximo permitido no farelo, a temperatura de 77 °C é a que gera resultados mais satisfatórios, sendo ela aplicada ao processo após o fim dos testes.

Com a análise dos dados realizada, foram concluídos os dois últimos objetivos deste projeto, que são “analisar os resultados obtidos por meio dos testes de mudanças de variáveis realizados no processo de dessolventização-tostagem do farelo de soja” e “adequar a vazão de vapor direto no dessolventizador-tostador, a fim de diminuir os custos relacionados à geração de vapor e consumo de hexano”.

## 6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos das análises e realizando comparações entre os mesmos, podemos afirmar que a temperatura de setpoint de 77 °C é a que traz mais benefícios para o processo.

Em relação à temperatura de 79 °C, que era usualmente utilizada, houve um aumento do residual de hexano de 15,2 ppm no farelo e de 1,7 no óleo bruto. Apesar de existir maior perda de hexano nos dois produtos, esta é compensado pela grande diminuição de custos relacionados ao consumo de vapor, que possui um grande valor agregado. É preciso frisar, também, que o pequeno aumento do residual de hexano não oferece riscos para os clientes, tanto em relação ao farelo quanto ao óleo.

Ao fim dos testes, comparando a temperatura de 79 °C e a temperatura de 77 °C, houve um *hard saving* de aproximadamente R\$20.079,40. Além disso, é preciso levar em consideração que outros fatores que influenciam no custo de geração de vapor não foram considerados devido a dificuldades na obtenção dos dados. Portanto, a economia real é ainda maior que a calculada no projeto, o que demonstra que os testes realizados influenciaram de forma muito positiva a empresa.

Devido ao sucesso do projeto e dos ótimos resultados obtidos, a temperatura de setpoint dos gases de saída do DT foi alterada para 77°C e está sendo mantida enquanto o processo está estável. Além disso, outros estudos sobre diminuição do consumo de vapor em locais diferentes do processo estão sendo estruturados e em um futuro próximo serão executados, visando, primeiramente, economia para a empresa, mas também outros importantes objetivos, como a diminuição do consumo de água; a estabilidade do processo; o uso mais controlado de produtos químicos para tratamento da água; o menor consumo de biomassa, o que influencia tanto no custo quanto no espaço utilizado para armazenagem e o aumento da vida útil da caldeira.



O estudo em questão traz benefícios não somente para a indústria, levando em consideração a economia alcançada, mas também para a vida acadêmica e para a sociedade. Realizar um trabalho deste porte traz muito conhecimento e experiência para nós, acadêmicos, além de nos instigar a buscar melhorias para os processos com os quais temos contato todos os dias.

Este projeto demonstra que estudos que visam melhorias e economia no processo são sempre válidos, mesmo que não alcancem os resultados esperados. Através de estudos como este, há um maior entendimento do processo em si e das variáveis que influenciam a qualidade dos produtos.

## REFERÊNCIAS

APROSOJA BRASIL. **A história da soja.** 2014. Disponível em: <<http://aprosojabrasil.com.br/2014/sobre-a-soja/a-historia-da-soja/>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

BIZERRA, R. C. **A Logística do Mercado Brasileiro Exportador de Soja.** Artigo VII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGeT) – 2010.

CÂMARA, G. M. S. **Introdução ao agronegócio soja.** 2015. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/departamentos/lpv/sites/default/files/LPV%200584%202015%20-%20Soja%20Apostila%20Agronegocio.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

CONAB. **Portal de informações agropecuárias – Evolução estimativas.** 2018. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/safra-evolucao-dashboard>>. Acesso em: 03 mai. 2018.

CONAB. **Quadro de Oferta e Demanda.** s.d. Disponível em: <<https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/index.php/oferta>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

DALL'AGNOL, A. **A saga da soja no Brasil e no mundo.** 2017. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/a-saga-da-soja-no-brasil-e-no-mundo\\_400724.html](https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/a-saga-da-soja-no-brasil-e-no-mundo_400724.html)>. Acesso em: 03 mai. 2018.

DALL'AGNOL, A. **O cultivo da soja raras vezes frustra o produtor.** 2017. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/o-cultivo-da-soja-raras-vezes-frustra-o-produtor\\_398217.html](https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/o-cultivo-da-soja-raras-vezes-frustra-o-produtor_398217.html)>. Acesso em: 03 mai. 2018.

DALL'AGNOL, A. **Soja brasileira, um negócio da China.** 2017. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/soja-brasileira--um-negocio-da-china\\_401179.html](https://www.agrolink.com.br/colunistas/coluna/soja-brasileira--um-negocio-da-china_401179.html)>. Acesso em: 02 mai. 2018.

D'ARCE. M. A. B. R. 2006. **O processamento industrial do óleo vegetal e do farelo**. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va05-agronegocio04.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2018.

EMBRAPA. **Soja em números (safra 2016/2017)**. 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>>. Acesso em: 03 mai. 2018.

EMBRAPA SOJA. **A história da soja**. Sem data. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/web/portal/soja/cultivos/soja1/historia>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

EMBRAPA SOJA. **Soja na alimentação**. Disponível em: <[http://www.cnpso.embrapa.br/soja\\_alimentacao/index.php?pagina=23](http://www.cnpso.embrapa.br/soja_alimentacao/index.php?pagina=23)>. Acesso em: 29 abr. 2018.

FEDERIZZI. **A soja como fator de competitividade no mercosul: histórico, produção e perspectivas futuras**. Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios – CEPAN/UFRGS - 2013.

OECD/FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025**. OECD Publishing, Paris, 2016. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-BO098e.pdf>>. Acesso em: 03 mai. 2018.

FORMIGONI, I. **Exportação de soja do Brasil em 2017 foi recorde histórico!**. 2018. Disponível em: <<http://www.farmnews.com.br/gestao/soja-do-brasil-2/>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

FORMIGONI, I. **Principais importadores de soja do Brasil em 2017!**. 2018. Disponível em: <<http://www.farmnews.com.br/mercado/principais-importadores-de-soja/>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

GOMES, J. R. **Brasil exporta recorde de 68 mi t de soja em 2017; venda de milho chega a quase 30 mi t.** 2018. Disponível em:

<<https://br.reuters.com/article/domesticNews/idBRKBN1ER1K7-OBRDN>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

GUARIENTI, E. P. **O solvente hexano no processo de extração de óleo de soja.** Projeto de Estágio de Conclusão de Curso - Faculdade Três de Maio. Três de Maio, 2009.

IMEA. **Jornalismo Agropecuário.** 2015. Disponível em: <[http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/2015\\_06\\_13\\_Paper\\_jornalistas\\_boletins\\_Soja\\_Versao\\_Final\\_AO.pdf](http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/2015_06_13_Paper_jornalistas_boletins_Soja_Versao_Final_AO.pdf)>. Acesso em: 15 mai. 2018.

JARDINE, J. G., BARROS, T. D. **Soja.** Sem data. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fbl23vmz02wx5eo0sawqe3vtdl7vi.html>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

JORNALISMO AGROPECUÁRIO. **Entendendo o mercado da soja.** 2015. Disponível em: <[http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/2015\\_06\\_13\\_Paper\\_jornalistas\\_boletins\\_Soja\\_Versao\\_Final\\_AO.pdf](http://www.imea.com.br/upload/pdf/arquivos/2015_06_13_Paper_jornalistas_boletins_Soja_Versao_Final_AO.pdf)>. Acesso em: 17 abr. 2018.

MANDARINO, J. M. G. **Origem e história da soja no Brasil.** BLOG DA EMBRAPA SOJA - 2017. Disponível em: <<http://blogs.canalrural.com.br/embrapasoja/2017/04/05/origem-e-historia-da-soja-no-brasil/>>. Acesso em: 05 mai. 2018.

MANDARINO, J. M. G. et al. **Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos.** 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/126080/1/Doc171-OL.pdf>>. Acesso em: 20 mai. 2018.

MENDES, C. **Oferta x Demanda: Consumo de soja tem potencial para absorver oferta maior.** 2017. Disponível em: <<https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/soja/188628-potencial-da-demanda-global-deve-absorver-aumento-da-oferta-de-soja.html#.WwVSG-4vzcs>>. Acesso em: 06 mai. 2018

MENDES, C. **Consumo global de soja deve superar produção na safra 2018/19.** 2018. Disponível em: <<https://www.noticiasagricolas.com.br/noticias/soja/213569-consumo-global-de-soja-deve-superar-producao-na-safra-201819.html#.WvxQX6Qvzct>>. Acesso em: 15 mai. 2018.

NEHMI, V. **Por que commodities são cíclicas?**. 2012. Disponível em: <<https://verios.com.br/blog/por-que-commodities-sao-ciclicas/>>. Acesso em: 02 mai. 2018.

NUNES, J. L. S. **Características da Soja (Glycine max).** 2016. Disponível em: <[https://www.agrolink.com.br/culturas/soja/informacoes/caracteristicas\\_361509.html](https://www.agrolink.com.br/culturas/soja/informacoes/caracteristicas_361509.html)>. Acesso em 05 mai. 2018.

PADOIN, G. C. **O emprego de tecnologia na produção de soja: estudo de casos em Horizontina, Três De Maio, Novo Machado e Tucunduva.** Tese (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Faculdade Horizontina. Horizontina, 2013.

PEREIRA, M. A. **Cadeia produtiva do farelo de soja: Um enfoque na produção nacional.** Tese (Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade de Rio Verde. Rio Verde, 2015.

SALOMÃO, R. **Bolsa estima produtividade recorde de soja na Argentina.** 2017. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2017/07/bolsa-estima-produtividade-recorde-de-soja-na-argentina.html>>. Acesso em 15 mai. 2018.

SANTOS, C. S. **Processamento da soja (Glycine max (L.) Merrill): Um enfoque na qualidade de fabricação do óleo comestível.** Tese (Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia de Produção, Universidade de Rio Verde. Rio Verde, 2015.

SILVA, M. R. **Mandatos de Biocombustíveis e Crescimento da Demanda Mundial de Etanol: Efeitos Sobre a Economia Brasileira.** Tese (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, p. 11-12. 2017.

ZANIN, T. **Benefícios da soja.** 2017. Disponível em:  
<<https://www.tuasaude.com/beneficios-da-soja/>>. Acesso em: 05 mai. 2018