

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CLÁUDIA GREBOGI BILYK

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARAMÉTRICA DO PROCESSO DE
DEGOMAGEM DO ÓLEO DE SOJA UTILIZANDO O SOFTWARE ASPEN HYSYS**

PONTA GROSSA

2022

CLÁUDIA GREBOGI BILYK

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARAMÉTRICA DO PROCESSO DE
DEGOMAGEM DO ÓLEO DE SOJA UTILIZANDO O SOFTWARE ASPEN HYSYS**

**Parametric sensitivity analysis of the soybean oil degumming process using
Aspen HYSYS software**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Prof.^a Dr.^a Giane Gonçalves Lenzi

PONTA GROSSA

2022



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.

CLÁUDIA GREBOGI BILYK

**ANÁLISE DE SENSIBILIDADE PARAMÉTRICA DO PROCESSO DE
DEGOMAGEM DO ÓLEO DE SOJA UTILIZANDO O SOFTWARE ASPEN HYSYS**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 14 de junho de 2022

Angelo Marcelo Tusset
Prof. Dr
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Everton Moraes Matos
Prof. Dr
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Giane Gonçalven Lenzi
Prof. Dra - Orientadora
Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

PONTA GROSSA

2022

RESUMO

A soja é uma das principais culturas do mundo e os produtos obtidos são de grande importância no contexto econômico nacional. O óleo de soja manufaturado em indústrias necessita, após sua extração de operações de refino. A primeira delas é a degomagem, responsável pela remoção dos fosfatídeos hidratáveis do óleo bruto. A forma aquosa deste processo foi estudada por meio de experimentos computacionais com o apoio do *software* de simulação, Aspen HYSYS. Baseando-se na maximização da remoção dos fosfatídeos hidratáveis (HP), foi realizada a análise da influência dos parâmetros operacionais do processo. Após a construção desta etapa de refino no simulador os resultados obtidos indicam que para parâmetros envolvendo a qualidade do óleo (percentual de hidratação e quantidade de HP no óleo bruto) a simulação demonstrou um comportamento semelhante ao esperado pela literatura e encontrado em processos industriais do setor. E ainda, demonstrou-se uma capacidade de produção de óleo degomado fidedigno à cenário industrial levando em conta o percentual de fosfatídeo removido. Com relação aos parâmetros de temperatura e pressão não se alcançou uma representatividade precisa do desempenho esperado pela literatura. Por meio deste trabalho, foi possível perceber o comportamento e influência dos parâmetros de processo que podem facilitar a otimização de extração dos HP do óleo degomado.

Palavras-chave: Refino; HYSYS; Avaliação de processo.

ABSTRACT

The soybean is one of the most important crops in the world and the products derived from it are of great importance to the national economy. The soybean oil produced in the industry must be refined after its extraction. The first is degumming, which removes the hydratable phosphatides from the crude oil. The aqueous form of this process was studied using computer experiments and Aspen HYSYS simulation software. Starting from maximizing the removal of hydratable phosphatides (HP), an analysis of the influence of the process operating parameters was performed. After designing this refining step in the simulator, the obtained results show that for the parameters related to the oil quality (hydration percentage and amount of HP in the crude oil), the simulation shows a similar behavior as expected in the literature and found in industrial processes in this sector. Moreover, for the industrial scenario, a reliable production capacity for degummed oil was demonstrated considering the percentage of phosphatides removed. For the temperature and pressure parameters, it was not possible to obtain an accurate representation of the performance expected in the literature. Through this work, it was possible to identify the behavior and influence of the process parameters that can facilitate the optimization of the extraction of HP from degummed oil.

Keywords: Refining; HYSYS; Process evaluation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Série histórica de valores da soja e derivados (US\$/Ton).....	14
Figura 2 - Percentual de milhões de toneladas produzidas por tipo de óleo vegetal.....	15
Figura 3 – Série histórica do óleo de soja (Soybeans Oil) e de palma (Palm Oil) (US\$/Ton)	15
Figura 4 - Operações da extração com solvente	19
Figura 5 - Mecanismo da extração com solvente	20
Figura 6 - Extrator Crown - Modelo III.....	21
Figura 7 - Prensa contínua “Expeller”	22
Figura 8 – Exemplo de refino do Óleo de Soja	24
Figura 9 - Exemplo degomagem com água.....	26
Figura 10 - Exemplo degomagem ácida simples	27
Figura 11 - Exemplo degomagem enzimática	28
Figura 12 - Estrutura molecular dos principais fosfatídeos	32
Figura 13 - Interface inicial do simulador.....	33
Figura 14 – Interface de inserção dos componentes	33
Figura 15 - Interface para escolha do método	34
Figura 16 - Inserção de componentes hipotéticos	36
Figura 17 – Inserindo um grupo de componentes hipotéticos	36
Figura 18 – Interface de gerenciamento do grupo hipotético	37
Figura 19 – Interface de edição de componentes.....	37
Figura 20 - Flowsheet do processo	39
Figura 21 - Interface dos componentes selecionados para simulação	41
Figura 22 - Influência da temperatura na quantidade de fósforo no óleo degomado	44

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comportamento da variação na temperatura de hidratação	43
Gráfico 2 - Comportamento da variação na pressão de hidratação	45
Gráfico 3 - Comportamento da variação no percentual de hidratação.....	46
Gráfico 4 - Validação do percentual de hidratação	47
Gráfico 5 - Comportamento da variação no percentual de HP no óleo bruto	48
Gráfico 6 – Comparação óleo simulado e de processo real.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Preço atual de mercado da soja e derivados	14
Tabela 2 - Capacidade de processamento, refino e envase de óleo de soja	16
Tabela 3 - Parâmetros dos óleos segundo portaria nº795	23
Tabela 4 – Composição do óleo bruto de soja extraído via solvente	31
Tabela 5 – Composição dos fosfolipídios do óleo bruto de soja	31
Tabela 6 – Composição do óleo bruto utilizado na simulação.....	32
Tabela 7 – Composição dos fosfatídeos da simulação	38
Tabela 8 – Faixa de valores utilizadas para análise	39
Tabela 9 - Parâmetros dos elementos da Simulação Base.....	42
Tabela 10 - Composição das linhas da Simulação base.....	42
Tabela 11 - Resultados da variação na temperatura de hidratação	42
Tabela 12 - Resultados da variação na pressão de hidratação	45
Tabela 13 - Resultados da variação no percentual de hidratação	46
Tabela 14 - Resultados da variação no percentual HP no Óleo Bruto.....	48
Tabela 15 – Resultado do cenário industrial.....	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivos	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	Soja	12
2.1.1	Valor de Mercado	13
2.2	Extração de óleo de soja	15
2.2.1	Preparação da soja.....	17
2.2.2	Extração com solvente	18
2.2.3	Extração mecânica	21
2.3	Refino do óleo	22
2.3.1	Degomagem	24
<u>2.3.1.1</u>	<u>Degomagem com água</u>	<u>25</u>
<u>2.3.1.2</u>	<u>Degomagem ácida</u>	<u>27</u>
<u>2.3.1.3</u>	<u>Degomagem enzimática</u>	<u>28</u>
2.3.2	Neutralização.....	28
2.3.3	Branqueamento	29
2.3.4	Desodorização.....	29
2.4	Simulação de processos	29
3	MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1	Simulador Aspen HYSYS	32
3.1.1	Substâncias hipotéticas	35
3.1.2	Projeto do processo da degomagem aquosa	38
3.2	Análise de sensibilidade paramétrica	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1	Temperatura de hidratação	42
4.2	Pressão de hidratação	45
4.3	Percentual de hidratação	46
4.4	Percentual de HP no óleo bruto	47
4.5	Comportamento em cenário industrial	49
5	CONCLUSÃO	50
	REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

A soja é uma das principais culturas do planeta e no Brasil possui a maior rentabilidade dentro do setor do agronegócio, que tem previsão de representar 30% do PIB brasileiro (CEPEA/USP, 2021). Com relação ao processamento de óleos vegetais o estado do Paraná é o segundo maior do país com uma representatividade nacional de 18,7%, sendo que o líder, Mato Grosso, representa 22,2% (ABIOVE, 2021). Na cidade de Ponta Grossa ainda é verificada a importância desse setor ao verificar que das 10 maiores empresas da cidade 3 delas realizam o processamento de óleo de soja (SARTORI, 2021).

O óleo de soja em grande maioria das indústrias é obtido pela extração com hexano, um solvente orgânico derivado do refino de petróleo (D'ARSE, 2006). Após a extração a miscela (mistura líquida de hexano e óleo) passa por diversos equipamentos para remoção do solvente que tem características de alta toxicidade provocando diversas irritações e danos ao ser humano além de ser inflamável e com potencial explosivo ao misturar-se com o ar (PETROBRAS, 2021).

Destaca-se que, na operação industrial de obtenção desse óleo, após a formação do óleo bruto, são necessárias operações de refino, pois ainda estão presentes substâncias inadequadas para o consumo e/ou com valor comercial no óleo bruto, como proteínas, fosfatídeos, ácidos graxos livres e oxidados, alguns hidrocarbonetos, álcoois, sais de cálcio, fosfatos (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

Essas operações envolvem a degomagem, neutralização, branqueamento e desodorização para remoção dessas substâncias bem como o alcance dos parâmetros de qualidade para entrega do produto final ao consumidor.

A degomagem é a primeira etapa do refino e tem como função a produção de um óleo livre de gomas e é responsável pela remoção de proteínas, substâncias coloidais e fosfatídeos do óleo bruto, além da separação da lecitina que possui alto valor comercial (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

Uma das formas de se realizar este processo é via adição de água ao óleo formando uma emulsão e realizando a separação em centrífugas. Ao concretizar esta operação de separação, além do consumo de energia e água, prevalece a preocupação constante com a qualidade do óleo degomado. Portanto, é fundamental que a degomagem opere em condições ótimas com o intuito de aperfeiçoar os parâmetros de qualidade.

Um dos subprodutos com maior valor agregado deste processo é a lecitina, composta em sua grande parte pelos fosfatídeos hidratáveis presentes no óleo. Um cenário ideal, visando a produção deste composto é a remoção total destes fosfatídeos durante a degomagem.

Portanto, para alcançar a melhor eficiência do processo, um caminho é a realização de testes experimentais variando os parâmetros da operação. Entretanto, isto é custoso financeiramente, sendo então um caminho alternativo a realização de modelagem e simulação computacional, que permite infinitas possibilidades de testes e alternativas para a construção do processo.

Neste sentido, o estudo de diferentes cenários avaliando a sensibilidade paramétrica do processo da degomagem se mostra relevante para o contexto das indústrias alimentícias de produção de óleo de soja e de lecitina, dado que, de um modo geral é pouco citado na literatura, contudo de grande importância para o segmento (ROSA,2012).

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho, será avaliar a sensibilidade paramétrica do processo de degomagem com água do óleo de soja por meio de modelagem e simulação no *software* Aspen HYSYS.

Para atender o objetivo geral foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Levantar características das correntes de entrada e saída do processo;
- Modelar o processo da degomagem com água no *software* Aspen HYSYS;
- Avaliar a sensibilidade paramétrica comparando quatro diferentes cenários de processos: temperatura; pressão; percentual de hidratação; e o percentual de fosfatídeos hidratáveis (HP) no óleo bruto;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, será apresentada uma revisão da literatura envolvendo aspectos da matéria prima, operações envolvidas na obtenção de óleo bruto e refinado de soja. Como também da modelagem e simulação computacional e das análises financeiras e ambientais.

2.1 Soja

A soja cultivada atualmente tem muitas diferenças daquela com primeiras referências de 5 mil anos, que tinha por características ser rasteira e ter se desenvolvido na costa leste da Ásia (POTRICH, 2019; ANSOLIN, 2012; ROSA, 2012; CÂMARA, 2021).

Trata-se de uma dicotiledônea, da família *Papilionoideae*, gênero *Glycine*, tem variação de 60 cm a 1,5 m na sua altura. Os frutos, do tipo vagem, são achatados, curtos, de cor cinzenta, amarelo-palha ou preta, e produzem de duas a cinco sementes. (ANSOLIN, 2012).

O alto teor de proteína da soja proporciona múltiplas utilizações e a formação de um complexo industrial destinado ao seu processamento (ROSA, 2012), sendo os principais produtos obtidos industrialmente da soja, o farelo, a lecitina, a casca e óleo.

O farelo e a casca são utilizados como ingrediente na produção de rações para aves, suínos, bovinos, ovinos, equinos, caprinos. A lecitina é utilizada nas indústrias alimentícias, farmacêuticas e cosméticas. E o óleo de soja, além de ser destinada para o consumo humano, também pode ser utilizado na produção de biocombustíveis (POTRICH, 2019).

No Brasil, os primeiros relatos da chegada da soja datam 1882, com o professor Gustavo d'Utra na Bahia (BONATO, BONATO, 1987) porém sem muito sucesso em termos de produção. É somente em 1949 que a primeira exportação brasileira do grão acontece, foram cerca de 18 mil toneladas produzidas no Rio Grande do Sul. A partir desse marco, começa a ser produzida em escala comercial, encontrando disposição dos produtores em substituir o cultivo do café por uma cultura alternativa (CARVALHO, 2007).

A produção na região sul do Brasil foi impulsionada entre os anos de 1960 e 1970 com o cultivo sucessivo de trigo e soja. Então, de uma participação de apenas 0,5% da produção mundial em 1958, o Brasil atingiu 16% em 1976 (CÂMARA, 2021) e atualmente contribuição nacional estimada para 2021 é de 37,5% (UDSA, 2021).

A composição da soja é bem variável, devido às diferenças de cada espécie, ao seu desenvolvimento devido ao solo e aos fatores climáticos. O Quadro 1 apresenta o intervalo de valores da composição encontrados na literatura para a soja brasileira.

Quadro 1 - Composição brasileira da soja

Componente	Valor Mássico (%)
Umidade	5,35 - 11,0
Proteína	37,90 – 44,37
Óleo	17,80 - 22,45
Ácidos**	1,00
Fibras	3,70 - 8,00
Cinzas	4,45 – 6,60
Glicose*	0,03 – 2,39
Sacarose*	1,11 – 10,55
Outros Açúcares*	0,62 – 8,21

* - Base Seca

** - %em relação ao óleo

Fonte: Adaptado de Potrich (2019)

2.1.1 Valor de Mercado

Atualmente os principais produtores mundiais de soja são os Brasil, Estados Unidos, Índia, Argentina, e a China. Sendo o Brasil, de acordo com análise preliminar da USDA para 2021, o maior do planeta com 137 milhões de toneladas produzidas, com efetividade de produção de 3,55 toneladas métricas por hectare plantado (USDA,2021).

Em valores monetários, as exportações brasileiras de soja somaram 30 bilhões de dólares em 2020 e 346 bilhões de dólares nas duas últimas décadas (ARAGÃO E CONTINI, 2020).

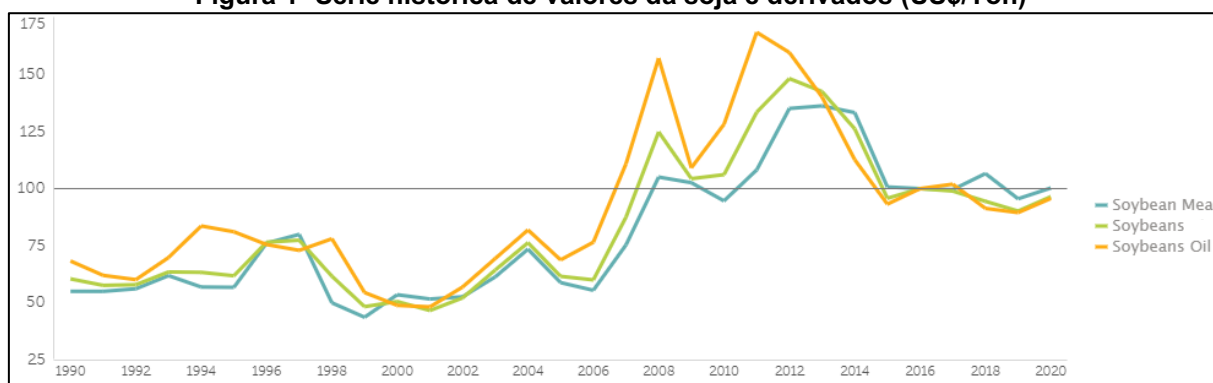
Os dados apresentados na Tabela 1, revelam tendência de aumento no valor de dólares por tonelada tanto da própria soja, quanto do farelo e do óleo extraído no período de 2018 até 2021. A Figura 1 indica a tendência, desde 1990 até 2020, dos valores em dólares por toneladas da soja (*soybeans*) do farelo (*soybean meal*) e do óleo de soja (*soybean oil*).

Tabela 1 - Preço atual de mercado da soja e derivados

Commodities	Un.	2018	2019	2020	2020 Q4	2021 Q1	2021 Q2	2021 Q3	Set-2021	Out-2021
Soja (soybeans)	US\$/ Ton	342,5	327,0	349,9	416,9	510,7	550,6	499,0	469,4	452,0
Farelo (soybean meal)	US\$/ Ton	373,3	334,6	351,1	425,9	470,4	440,9	387,1	372,7	355,4
Óleo de soja (soybean oil)	US\$/ Ton	658,6	645,3	690,0	809,7	1062,3	1397,1	1361,5	1261,4	1347,6

Fonte: Adaptado de Fundo Monetário Internacional (2021)

Figura 1- Série histórica de valores da soja e derivados (US\$/Ton)

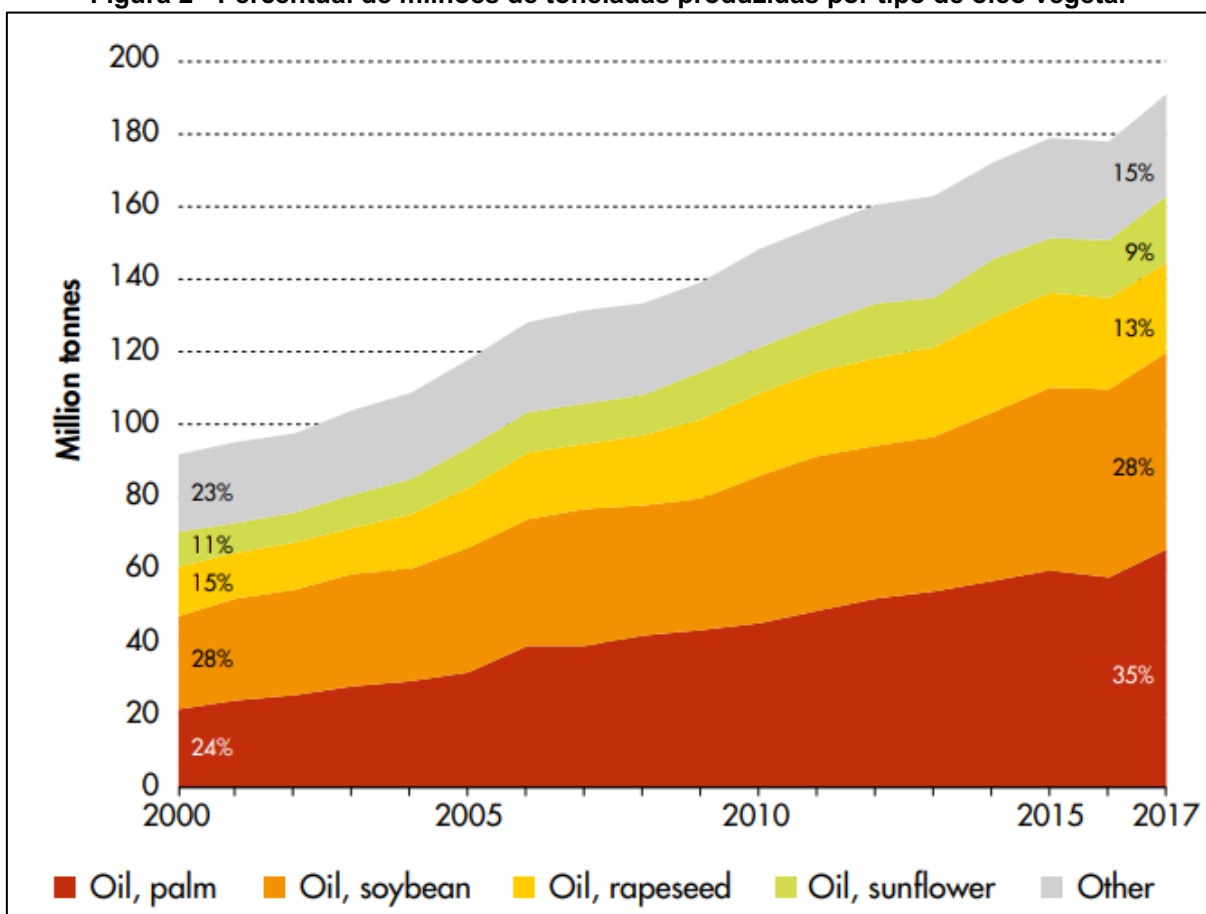


Fonte: Adaptado de Fundo Monetário Internacional (2021)

Com respeito ao óleo de soja, o país que possui a maior fatia de mercado em exportações, no ano de 2017, foi a China com 30% da produção mundial e os Estados Unidos em segundo lugar 19% do total o Brasil vem em terceiro com 15% (USDA,2021).

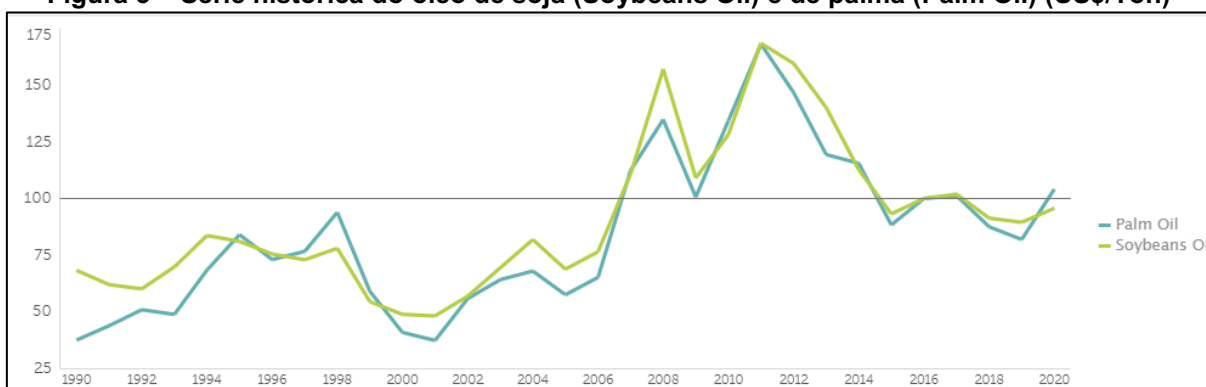
A Figura 2 ilustra o comportamento mundial das principais commodities com relação a óleos vegetais de 2000 até 2017. Percebe-se que o óleo de palma tem uma participação de 7% a mais que o óleo de soja e analisando o comportamento histórico de dólares por tonelada, apresentado na Figura 3, há um rápido aumento em valores a partir de 2019 no óleo de palma superando de soja, de acordo com a USDA (2021) a explicação para este fato se dá pela utilização do óleo de palma na produção de biodiesel.

Figura 2 - Percentual de milhões de toneladas produzidas por tipo de óleo vegetal



Fonte: Adaptado de USDA (2021)

Figura 3 – Série histórica do óleo de soja (Soybeans Oil) e de palma (Palm Oil) (US\$/Ton)



Fonte: Adaptado de Fundo Monetário Internacional (2021)

2.2 Extração de óleo de soja

De acordo com Marzullo (2007), até o final da segunda década do século XX a extração era realizada por meio de prensas e mesmo com um óleo de boa qualidade cerca de 5% era perdido no resíduo, então com a otimização dos processos é dado início a extração por solvente atingindo uma perda de óleo inferior a 1%.

Atualmente as indústrias tradicionais e de médio/grande porte utilizam extração por solvente e indústrias antigas ou de pequeno porte (2 t/h) ou aquelas que trabalham com oleaginosas com mais de 40% em massa de óleo, fazem uso de extração mecânica. (POTRICH, 2019; MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

À respeito da capacidade instalada de processamento de óleos no Brasil, a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE) realiza levantamentos mensais dos volumes operados junto às empresas atuantes nas atividades de processamento da oleaginosa, na Tabela 2 são apresentados esses dados por estado em relação a capacidade de processamento, refino e envase. É visível a influência do estado do Paraná no processamento, ficando apenas 4% atrás do líder (Mato Grosso).

Tabela 2 - Capacidade de processamento, refino e envase de óleo de soja

Estado	Processamento		Refino		Envase	
	Ton/dia	%	Ton/dia	%	Ton/dia	%
Mato Grosso	42.501	22,2%	3.489	16,1%	3.108	22,0%
Paraná	35.940	18,7%	3.280	15,2%	2.119	15,0%
Rio Grande do Sul	30.489	15,9%	1.020	4,7%	930	6,6%
Goiás	26.968	14,1%	3.093	14,3%	2.562	18,2%
São Paulo	14.031	7,3%	5.060	23,4%	2.130	15,1%
Mato Grosso do Sul	12.250	6,4%	408	1,9%	365	2,6%
Minas Gerais	9.328	4,9%	2.206	10,2%	1.023	7,3%
Bahia	7.323	3,8%	1.096	5,1%	1.018	7,2%
Piauí	3.050	1,6%	120	0,6%	180	1,3%
Tocantins	2.900	1,5%	-	-	-	-
Santa Catarina	2.200	1,1%	600	2,8%	199	1,4%
Amazonas	2.000	1,0%	-	0,0%	-	0,0%
Maranhão	1.500	0,8%	300	1,4%	340	2,4%
Ceará	1.000	0,5%	200	0,9%	-	0,0%
Rondônia	350	0,2%	-	0,0%	-	0,0%
Pernambuco	-	0,0%	763	3,5%	132	0,9%
Total	191.830		21.634		14.106	

Fonte: Adaptado de ABIOVE (2021)

Contudo, antes de efetivamente realizar a extração, é necessária uma preparação da soja, pois conforme Canizella (2012) ela é responsável pela transformação do grão em uma massa com características físicas ideais para que se obtenha o melhor rendimento na extração do óleo, e segundo Potrich (2019) sem esse processo seria demandando mais solvente, haveria um aumento no tempo de extração e um superdimensionamento de bombas e equipamentos.

2.2.1 Preparação da soja

Ao se falar de uma indústria de processamento de soja há basicamente três seções para realizar a extração do óleo: Recepção/Armazenagem, Preparação e Extração, serão descritas a seguir aquelas que acontecem previamente a extração.

A recepção e armazenagem envolvem basicamente uma coleta de amostra e classificação para validação da soja recebida, caso conforme, segue para descarregamento e uma pré-limpeza é realizada. Em seguida, de acordo com a umidade analisada em amostra segue para secagem até alcançar valores entre 9,5% até 10% e então vai para a armazenagem de grãos.

A preparação envolve a quebra do grão e remoção das cascas, posteriormente a polpa quebrada vai para o condicionamento e laminação e finalmente segue para o processo de extração.

Na quebra, a soja passa por moinhos quebradores, no qual é reduzida, na primeira passagem a $\frac{1}{2}$ grão e na segunda passagem a $\frac{1}{4}$ de grão (ROSA, 2012). Durante a quebra acontece a separação da casca da polpa, e um cuidado que se deve ter nesta etapa é não haver compressão durante o descascamento, pois parte do óleo passaria para a casca e se perderia (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

As cascas são removidas utilizando um sistema de aspiração e depois passam por peneiramento para recuperação de finos da soja e também para alcance de determinada granulometria, onde as cascas mais grossas são moídas antes de destinadas para a armazenagem. Estas cascas podem ser utilizadas para dosagem no farelo, devido ao alto teor de fibras que possuem, ou para sistemas de peletização para comercialização direta com destino à alimentação animal.

A polpa quebrada segue para o condicionamento onde sofrem um aquecimento entre 55 °C e 60 °C (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015). Que além de facilitar o processo de laminação, o condicionamento reduz a viscosidade do óleo e sua tensão superficial, coagulando e desnaturando em parte as substâncias proteicas, inativando enzimas lipolíticas, ampliando a permeabilidade das membranas celulares facilitando a retirada do óleo e reduzindo a afinidade do óleo com as partículas sólidas do grão (POTRICH, 2019).

A última etapa da preparação envolve a laminação da polpa quebrada e condicionada. O propósito desta operação é o aumento da superfície de contato do grão, pois como solvente de extração só atua na superfície do grão, aumentar a superfície melhoraria a eficiência da remoção do óleo.

O laminador é constituído por um sistema de dois rolos de aço lisos, cujos diâmetro pode variar entre 60 a 100 cm e seu comprimento pode chegar a 2m (POTRICH, 2019). Os flocos (lâminas ou *flakes*) obtidos possuem uma espessura de dois a quatro décimos de milímetro, e são formados devido a diferença de velocidade e sentido entre os rolos.

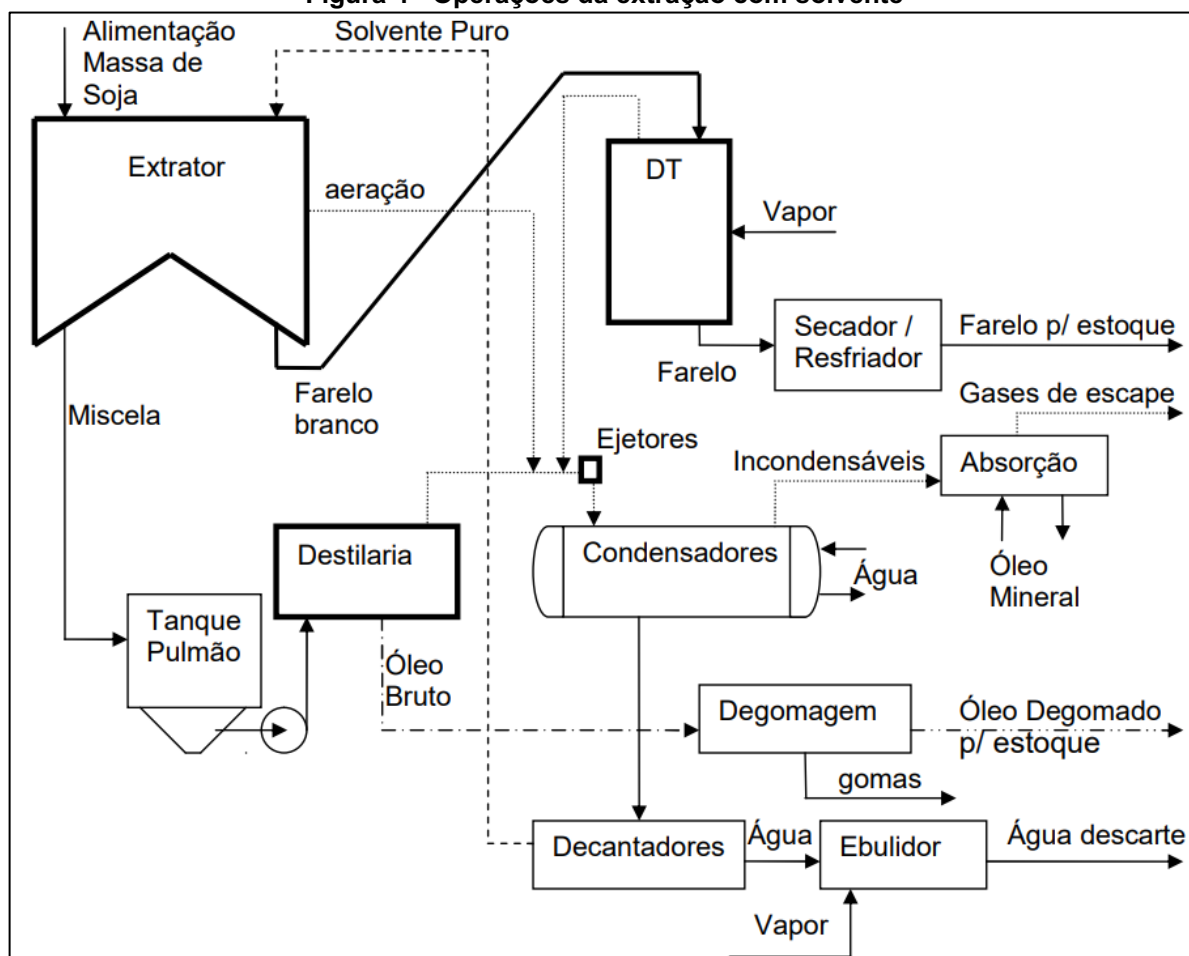
Esta operação é de grande importância para a efetividade da extração, pois, uma espessura menor que dois décimos de milímetros há formação de muitos finos dificultando drenagem do solvente no extrator. E com uma espessura maior que 4 décimos de milímetro reduz a eficiência na hora da extração não permitindo alcance de todas as bolsas de óleo do floco (POTRICH,2019).

2.2.2 Extração com solvente

A extração por solvente é um método amplamente utilizado pelas indústrias de processamento pois é considerado eficiente em termos de consumo de energia e residual de óleo na torta (POTRICH, 2019; PARAÍSO, 2001).

A Figura 4 apresenta as operações e os fluxos que estão englobadas dentro da etapa da extração, são destaque desta etapa: o extrator em si, onde ocorre a extração do óleo, a destilaria, que separa o óleo do solvente e o dissolventizador-tostador (DT) que remove o hexano e realiza a tostagem do farelo.

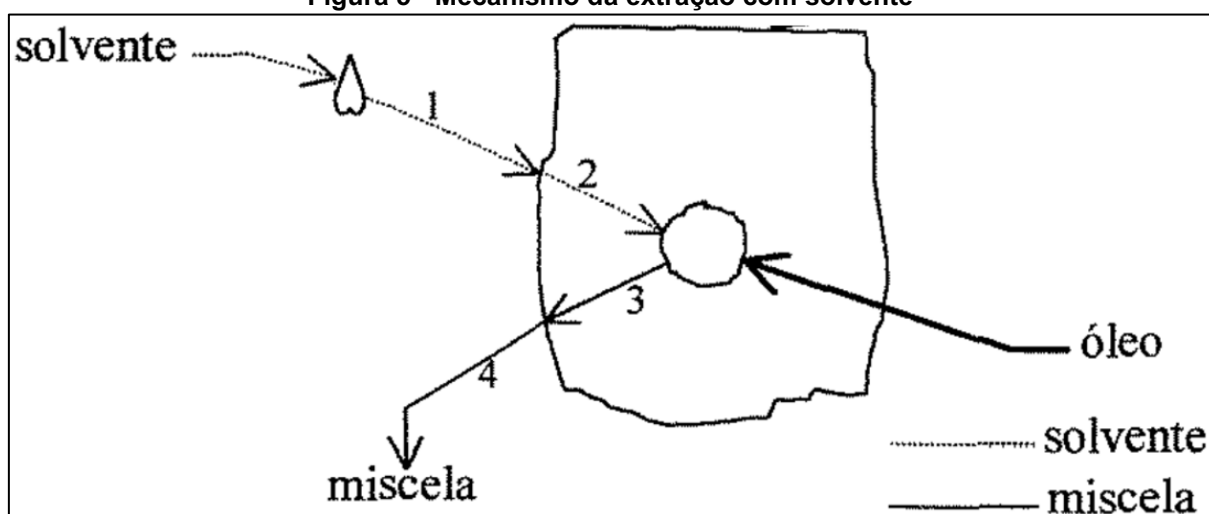
Figura 4 - Operações da extração com solvente



Fonte: Canizella (2012)

Dentro do extrator, o que acontece é uma transferência de massa descrita em 4 etapas por Paraíso (2001) que se sucedem para o solvente extrair o óleo contido nos flocos de soja. A primeira etapa é o contato do solvente com a superfície do floco. Em seguida ocorre uma difusão do solvente na superfície do floco até o óleo com o intuito de dissolvê-lo. Na terceira etapa ocorre novamente uma difusão, porém, da mistura do solvente com o óleo (miscela) através do floco até o alcance da superfície. A última etapa é a drenagem da miscela para uma posição distante do floco. A Figura 5 ilustra como ocorre essas 4 etapas no floco de soja.

Figura 5 - Mecanismo da extração com solvente



Fonte: Paraíso (2001)

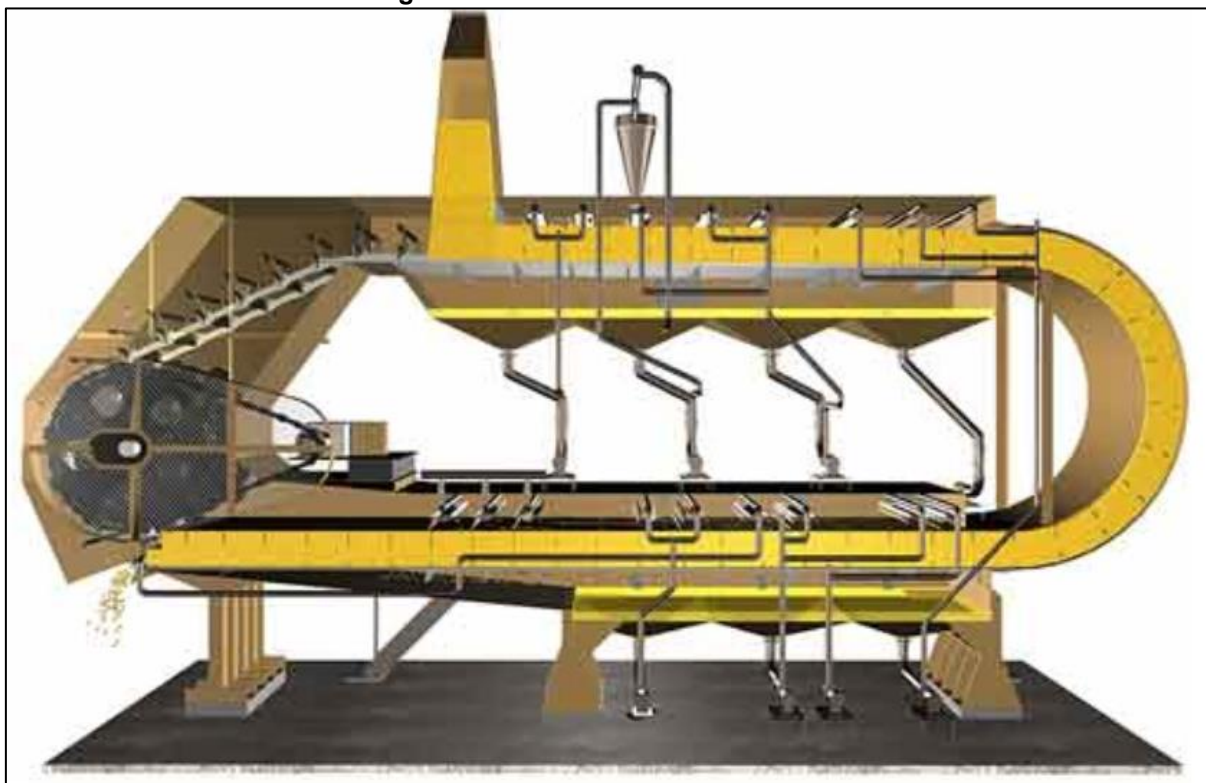
Atualmente, a indústria do óleo de soja usa o hexano como solvente devido à sua excelente capacidade extrativa (POTRICH, 2019). Contudo, o hexano apresenta algumas desvantagens, particularmente citando seu potencial de explosão em determinadas quantidades no ar e por provocar diversas irritações e danos ao ser humano (PETROBRÁS, 2021). Isto posto o uso de outros solventes, como o etanol, oferecem uma possibilidade de substituição e aplicação industrial no futuro (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

Com relação ao equipamento, ele é o responsável por fornecer o meio físico de contato entre o solvente e os flocos. Conforme Mandarino, Hirakuri e Roessing (2015), desde meados dos anos 50 o sistema adotado para extração é o contínuo, sendo os principais modelos de equipamentos o: CODIG, LURGI, MIAG, SMET, LOOP e ROTOCEL

O modelo "SMET" é um dos mais usados no país. Ele faz uso de uma esteira e baseia-se no princípio da "chuva de solvente". No extrator os flocos são carregados pela esteira, e há um registro que regula a altura da camada do material a ser depositado sobre a esteira. Em baixo da esteira transportadora, há uma série de receptáculos da miscela, onde cada um é ligado a uma bomba, que alimenta cada seção de irrigação. Como os flocos não sofrem nenhum movimento a miscela sai praticamente livre de finos, sendo sua filtração, em geral, dispensada (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

Um modelo comercial deste tipo é do fabricante Crown modelo III, mostrado na Figura 6 a seguir, ele opera em loop contínuo e possui sete seções de irrigação de miscela com concentrações de 2% até 25% de óleo por seção.

Figura 6 - Extrator Crown - Modelo III



Fonte: Crown (2021)

2.2.3 Extração mecânica

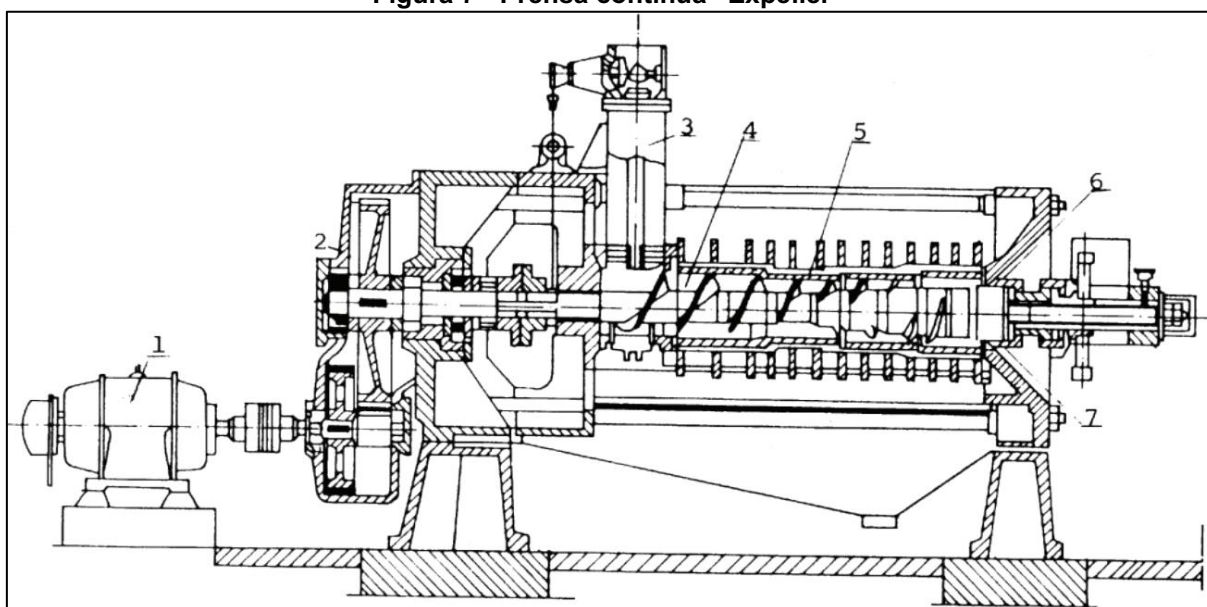
Conforme Mandarino, Hirakuri e Roessing (2015), a extração mecânica é realizada em prensas contínuas, onde ocorre a remoção parcial do óleo, que pode ou não ser, seguida pela extração com o solvente orgânico, constituindo então o denominado processo misto.

A prensa consiste de um cesto constituído de barras de aço distanciadas entre si e em seu interior há uma rosca helicoidal que transporta o material e comprimindo-o ao mesmo tempo. Em função da pressão interna do material e do espaçamento entre as barras no cesto, ocorre a extração do óleo (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

Para Potrich (2019), a vantagem desta maneira de conduzir a extração tem relação com as condições operacionais, pois não envolve solvente e mudanças de temperatura, todavia apresenta um rendimento menor quando comparado à extração com solvente. E ainda, Canizella (2012) afirma que a viabilidade econômica das prensas mecânicas ocorre quando se processa grãos com alto teor de óleo.

Um exemplo de equipamento prensa pode ser visualizado na Figura 7, os números indicam: 1 – Motor elétrico; 2 – Redutor; 3 – Entrado dos grãos condicionados; 4 – Rosca helicoidal; 5 – Cesto; 6 – Cone de saída e 7 – Saída do farelo de soja.

Figura 7 - Prensa contínua “Expeller”



Fonte: Mandarino, Hirakuri e Roessing (2015)

2.3 Refino do óleo

O refino pode ser estabelecido como o conjunto de processos que se destinam a transformar os óleos brutos em óleos comestíveis com a finalidade de melhorar de aparência, odor e sabor do óleo bruto (MADARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015). E também torna o óleo resistente à oxidação e livre de substâncias tóxicas e indesejáveis (SOARES, 2004).

A constituição do óleo bruto de soja é definida por Carvalho (2007) com um percentual de até 95% de triacilgliceróis, afóra outros componentes como os fosfolipídios, ácidos graxos livres, pigmentos, esteróis, carboidratos, proteínas e seus produtos de degradação.

As características de qualidade de um óleo bruto, degomado e refinado apresentadas na Tabela 3, são definidas pela Portaria nº 795, de 15 de dezembro de 1993 do Ministério da Agricultura, do Abastecimento e Reforma Agrária.

Tabela 3 - Parâmetros dos óleos segundo portaria nº795

Parâmetro Analisado	Bruto	Degomado			Refinado	
	Único	1	2	3	1	2
Aspecto a 25°C	Turvo	a.	b.	c.	a.	a.
Propriedades Organolépticas	-	-	-	-	d.	d.
Umidade e voláteis (% máx.)	0,5	0,2	0,3	0,5	0,03	0,06
Lecitina expressa em fósforo (% máx.)	0,1	0,02	0,02	0,03	-	-
Acidez Livre (FFA) expressa em ácido oleico	2	0,5	1	1,5	0,03	0,06
Ponto de fulgor (°C min.)	-	121	121	121	-	-
Ponto de fumaça (°C min)	-	-	-	-	230	218
Matéria insaponificável (% máx.)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Índice de peróxido (mEq/kg de óleo máx.)	-	-	-	-	2,5	5
Sabões (ppm máx.)	-	-	-	-	1	10
Impurezas (% ins. em éter de petróleo)	0,5	0,1	0,1	0,1	0,03	0,05

a. - Límpido, isento de sedimento

b. - Límpido, ligeiramente turvo, isento de sedimentos

c. - Límpido, ligeiramente turvo

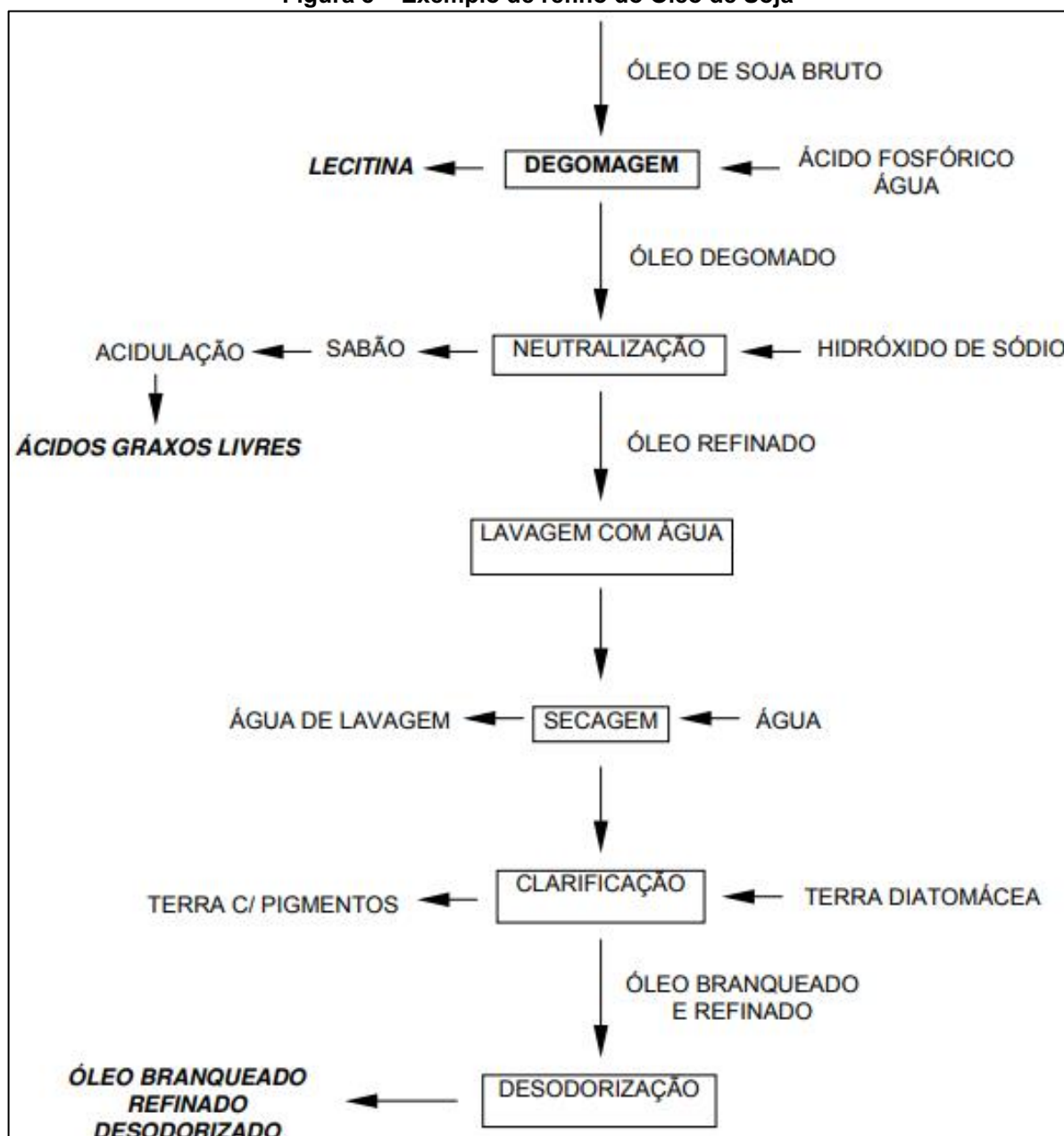
d. - Odor e sabor característico do produto isento de ranço odores e sabores estranhos

Fonte: Adaptado de Brasil (1993)

Há duas maneiras de se realizar o refino, quimicamente ou fisicamente. Ao se tratar do refino químico convencional do óleo de soja, os processos usuais são a degomagem, a neutralização ou desadificação, a clarificação ou branqueamento e a desodorização (MANDARINO; HIRAKURI, ROESSING, 2015). A Figura 8 apresenta um exemplo de fluxograma da sequência de etapas envolvidas

O refino físico originalmente foi utilizado para óleos de alto teor de ácidos graxos livres e baixo teor de gomas, como o óleo de palma, sebo e os óleos de coco e palmiste (BEI, 2015). Semelhante ao químico, são englobadas etapas de clarificação e desodorização, excluindo-se a etapa de neutralização, pois os ácidos graxos livres são retirados durante a desodorização (SOARES, 2004). Mesmo apresentando vantagens sobre o refino químico, seus requisitos de entrada do óleo (fosfolipídios inferiores a 10 mg.kg⁻¹ e ferro inferior a 0,2 mg.kg⁻¹) tornam entravada a aplicação para alguns tipos de óleo, como o de soja por exemplo.

Figura 8 – Exemplo de refino do Óleo de Soja



Fonte: Adaptado de Bei (2015)

2.3.1 Degomagem

Óleos vegetais contêm fosfolípidios, conhecidos também por fosfatídeos ou simplesmente gomas (DORSA, 2004). Existem dois tipos de gomas: as hidratáveis e não hidratáveis, um óleo de soja de qualidade normal, proveniente de uma extração com solvente contém cerca de 90% de gomas hidratáveis e 10% de gomas não hidratáveis e a totalidade de fosfatídeos está na faixa de 1,1 a 3,2% (ALTAMIRANO, 2013). Ainda sobre o teor de fosfolípidios presentes, para Hammond *et al.* (2005) durante a extração utilizando o hexano seu valor fica entre 1,85 até 2,85.

O processo da degomagem envolve a remoção desses fosfatídeos, e conforme Ansolin (2012) 79 % a 98 % do fósforo presente no óleo pode ser removido. Embora seja a primeira etapa do refino está atrelada diretamente com a extração pois a qualidade do óleo bruto interfere na eficácia deste processo (DORSA;2004). Além de que a não remoção imediata após a extração, as gomas podem rancificar o óleo durante o armazenamento (FERNANDES- JÚNIOR, 2009)

As razões para realização da degomagem estão vinculadas com a produção da lecitina ou preparação de estocagem por longo período do óleo degomado e ainda preparação do óleo para um refino físico ou alcalino (DORSA, 2004).

Sobre a lecitina, para Dorsa (2004) ela é um dos três principais fosfatídeos da goma e representa 22% de sua composição. Como pode ser utilizada em indústrias de alimentos, farmacêuticas e químicas, onde sua ação como emulsificante de excelente relação custo/benefício é uma solução viável e segura, tem alto valor agregado (SOARES, 2004).

Como os componentes a serem removidos na degomagem podem ser precipitados e removidos através de hidratação, as formas usuais são com água ou com ácidos (NUNES, 2013). Há também a enzimática que ocorre por meio da utilização de enzimas (STEINKE, 2018).

2.3.1.1 Degomagem com água

De acordo com Carvalho (2007) o princípio deste processo é a adição de água numa proporção adequada à de fosfolipídios presente no óleo bruto. Este mecanismo só retira as gomas hidratáveis e é indicado em situações onde posteriormente será realizado o refino químico (DORSA, 2004).

Esta degomagem pode ser realizada por lotes ou contínua. É usual a interligação direta com as colunas de destilação do processo da extração, onde o óleo bruto ainda quente, é submetido à operação de hidratação e degomagem (ROSA, 2012).

Esquematizando a forma contínua, o que acontece é que o óleo é transportado por bombas até um trocador de placas, onde é aquecido à temperatura desejada, que de acordo com Potrich (2019), fica entre 60°C e 80°C.

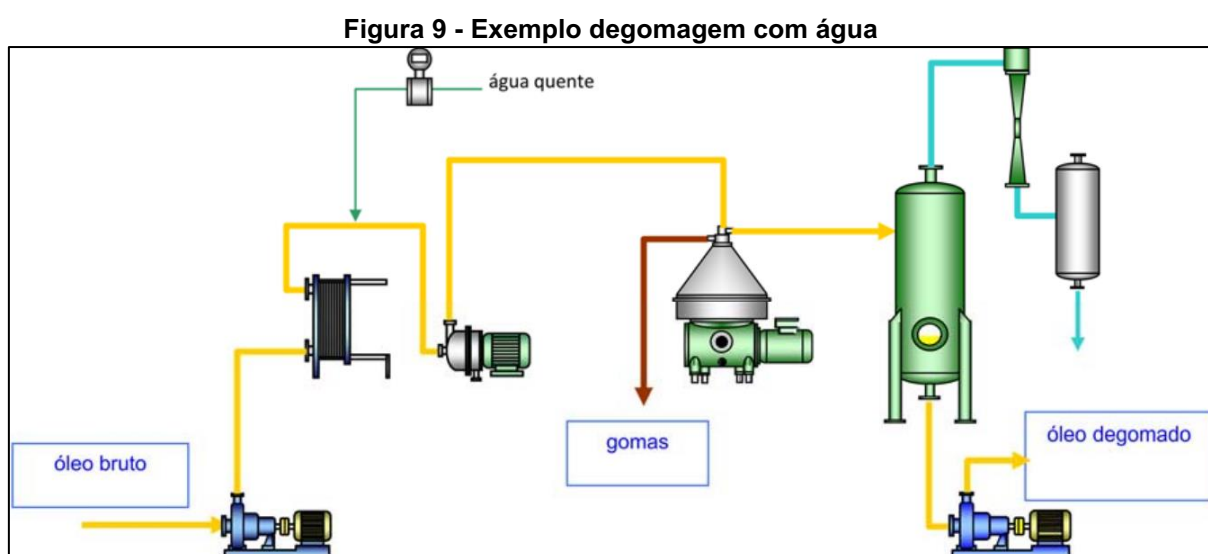
O óleo pode fluir à um misturador centrífugo, ou para um tanque agitado para hidratação, no qual o tempo de residência fica em torno de 10 a 30 minutos (DORSA,2004), possibilitando contato estreito entre a água e o óleo.

A hidratação deve ser da ordem em que as gomas separadas pela centrífuga tenham 50% de água e 50% de lecitina (ROSA, 2012). Quando hidratadas as gomas são separadas por meio do uso de separador de pratos.

Quando o destino das gomas é a dosagem em farelo, centrífugas de parede fixas são mais recomendadas economicamente, porém exigem limpeza semanal a cada 1 ou 2 semanas (DORSA, 2004).

Caso o destino seja a produção de lecitina, a centrífuga que é indicada são as dotadas de sistema *clean-in-place*, pois na prática não necessitam de abertura para limpeza e os sólidos separados por meio das descargas fornece uma lecitina mais pura e, por conseguinte, mais valiosa (DORSA, 2004).

A Figura 9 exemplifica um sistema utilizando o tanque de hidratação com agitação em uma instalação contínua.



Fonte: Dorsa (2004)

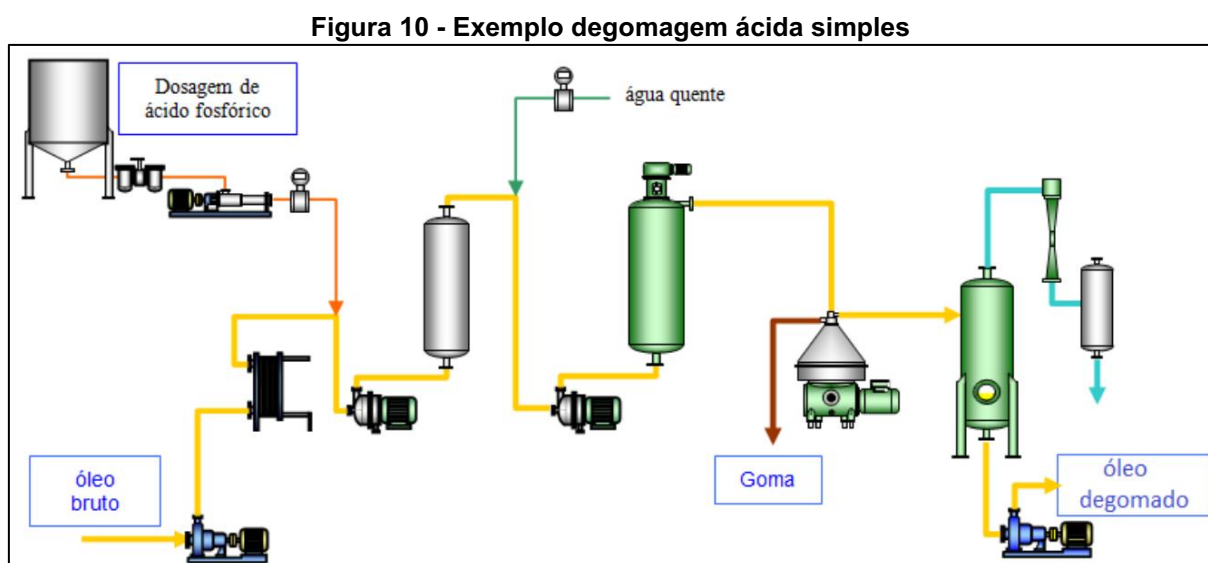
A degomagem com água retira 70% a 80% dos fosfolipídios presentes, porém a lecitina resultante é de melhor qualidade ao comparada com a degomagem ácida que remove 90% (MANDARINO, HIRAKURI, ROESSING, 2015).

2.3.1.2 Degomagem ácida

Recomendada para remoção de fosfolipídios não hidratáveis, dando-se por meio da adição de 0,1 a 0,3 % em massa de solução de ácido fosfórico (STEINKE, 2018). A escolha do ácido fosfórico se deve pelo rendimento que a cisão dos complexos metal/fosfatídeos acontece (DORSA, 2004). Esse cisalhamento é necessário para tornar solúvel os fosfatídeos dos complexos e assim removê-los do óleo.

A degomagem ácida pode ser simples ou especial. A simples, é utilizada para óleos que tem baixo conteúdo de fosfatídeos mas contém impurezas (pigmentos, proteínas, etc) e a especial para óleos com alto teor de fosfatídeos, como por exemplo o óleo de soja (DORSA,2004).

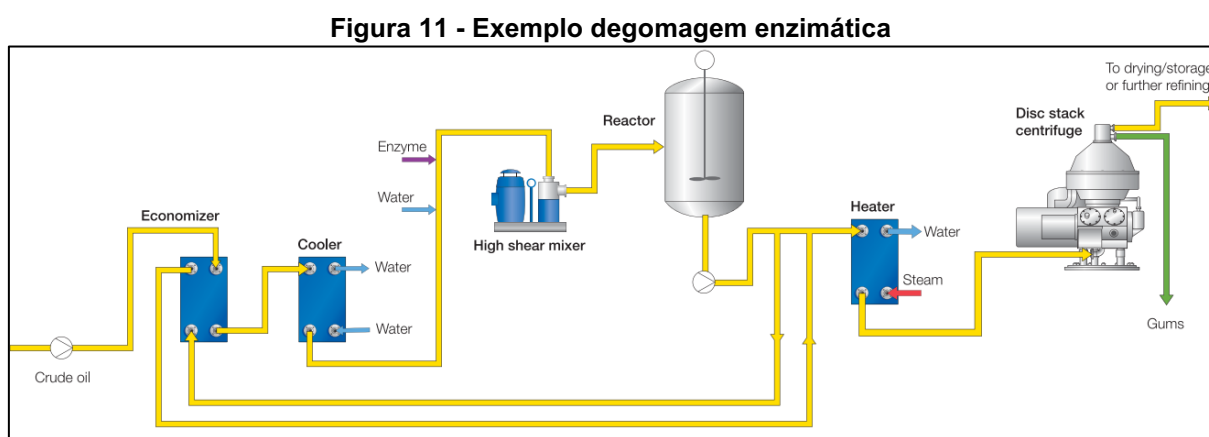
A figura 10, traz um exemplo da degomagem ácida simples. A primeira etapa é aquecer o óleo bruto até temperaturas entre 80°C e 90°C. Em seguida, 0,1% a 0,33% em volume de ácido fosfórico é adicionado então segue-se para um misturador centrífugo por 5 minutos de intensa mistura. Após é adicionada água quente e indo para outro tanque de mistura centrífugo e depois o óleo hidratado segue para separadores centrífugos removendo a goma. Antes de armazenar o óleo degomado ele passa por secadores a vácuo (DORSA, 2004)



Fonte: Dorsa (2004)

2.3.1.3 Degomagem enzimática

Ambos processos acima possuem desvantagens como alto teor de óleo na goma pela via utilizando água e produção de resíduos onerosos na utilização de ácidos. Logo, uma substituição é a degomagem enzimática, utiliza-se normalmente uma fosfolipase com o objetivo de produzir fosfolipídios hidratáveis que podem ser removidos por lavagem com água (STEINKE, 2018). Na figura 11 é representado um exemplo desse sistema de remoção de gomas.



Fonte: Alfalaval (2021)

2.3.2 Neutralização

A neutralização elimina os ácidos graxos livres do óleo por meio da adição de solução aquosa de álcalis, tais como hidróxido de sódio ou, às vezes, carbonato de sódio (MANDARINO; HIRAKURI, ROESSING, 2015). Secundariamente a neutralização pode também eliminar as gomas não hidratáveis ainda presentes nos óleos degomados apenas com água (NUNES, 2013).

Os ácidos graxos removidos são transformados em sabões e são capazes de serem removidos do óleo neutro por processo físico, sendo pela simples decantação ou por separadores centrífugos de forma contínua (DORSA, 2004).

2.3.3 Branqueamento

Durante a clarificação ou branqueamento ocorre a remoção de pigmentos indesejáveis (DORSA, 2004). Há também a redução e/ou remoção de produtos de oxidação, fosfolipídios, sabões e traços de metais (BEI, 2015).

Mesmo que a degomagem e a neutralização apresentem um efeito branqueador, os consumidores demandam óleos quase incolores, o que é atingido no processo do branqueamento pela adsorção dos pigmentos com terras clarificantes, ativadas ou naturais, misturadas, às vezes, com carvão ativado (MANDARINO; HIRAKURI; ROESSING, 2015).

2.3.4 Desodorização

A remoção dos sabores e odores indesejáveis ocorre na última etapa do refino e seu princípio é a remoção do teor residual de ácidos graxos livres, aldeídos e cetonas que constituem os componentes voláteis de sabor e odor (CARVALHO, 2007).

As substâncias odoríferas e/ou com sabor desagradável são geralmente pouco voláteis, porém apresentam pressão de vapor bem acima da do óleo então o mecanismo da desodorização é acontecer sob forte vácuo com injeção direta de vapor (POTRICH, 2019)

2.4 Simulação de processos

A simulação de processos é construída por modelos matemáticos, baseando-se em equações de leis da conservação, relações das propriedades físicas e de operações unitárias (TRAZZI, 2017). Segundo Paraíso (2001) a aplicação de dado modelo depende da fixação de dados de entrada do processo, do desenvolvimento de um algoritmo para cálculo das quantidades na saída do sistema, e da comparação dos dados calculados com os dados reais.

Atualmente existe uma grande variedade de ferramentas computacionais para simulações no estado estacionário e transiente, programas frequentemente usados são: HYSYS e ASPEN PLUS (Aspen Tech), CHEMCAD (Chemstations), além dos softwares livres como o EMSO e o DWSIM desenvolvidos no Brasil.

Para realizar a modelagem do sistema, o simulador escolhido foi o software Aspen HYSYS, devido ao seu extenso banco de dados e confiabilidade do simulador. Além das suas aplicações em: engenharia conceitual simultânea, projeto de destilação e reformas, suporte à decisão de operações e análise de segurança de processo, voltadas para aplicações nas indústrias de processamento de óleo e gás. Neste *software* é possível também criar simulações incluindo um vasto range de cenários operacionais incluindo *start-up*, *shut-down* e estados de transição (ASPENTECH TECHNOLOGIES, 2021).

Outro ponto de vantagem desta ferramenta computacional tem relação com a atualidade de trabalhos desenvolvidos utilizando-a. Como exemplos são os trabalhos de: Furkan Kartal e Uğur Özveren (2021); Sotelo *et al* (2021); Olugbenga *et al.* (2021); Abdelhafeez *et al.* (2021).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para simular o processo da degomagem aquosa foi escolhido, como já mencionado, o *software* Aspen HYSYS. Este programa possui interface interativa, com possibilidade de manipular variáveis do processo e operações unitárias empregadas. Isso se dá pela construção de um fluxograma com equipamentos e linhas de fluxo de material e energia (OLIVEIRA, 2021).

Ao realizar simulações envolvendo constituintes de produtos naturais uma das primeiras etapas é definir a composição que representará o sistema multicomponente. De acordo com Paraíso (2001) o óleo bruto de soja é composto por dois grandes grupos: glicerídeos e não-glicerídeos.

Neste trabalho a matéria prima escolhida foi o óleo bruto de soja extraído via hexano, que tem sua composição simulada nos valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Composição do óleo bruto de soja extraído via solvente

Parâmetro	Composição (%)
Triglicerídeos	94,4
Fosfolipídios	2,75
Acidez Livre (FFA)	0,31
Umidade	0,08
Demais componentes	2,46

Fonte: Hammond et al (2005)

A composição dos fosfolipídios presentes é apresentada na Tabela 5.

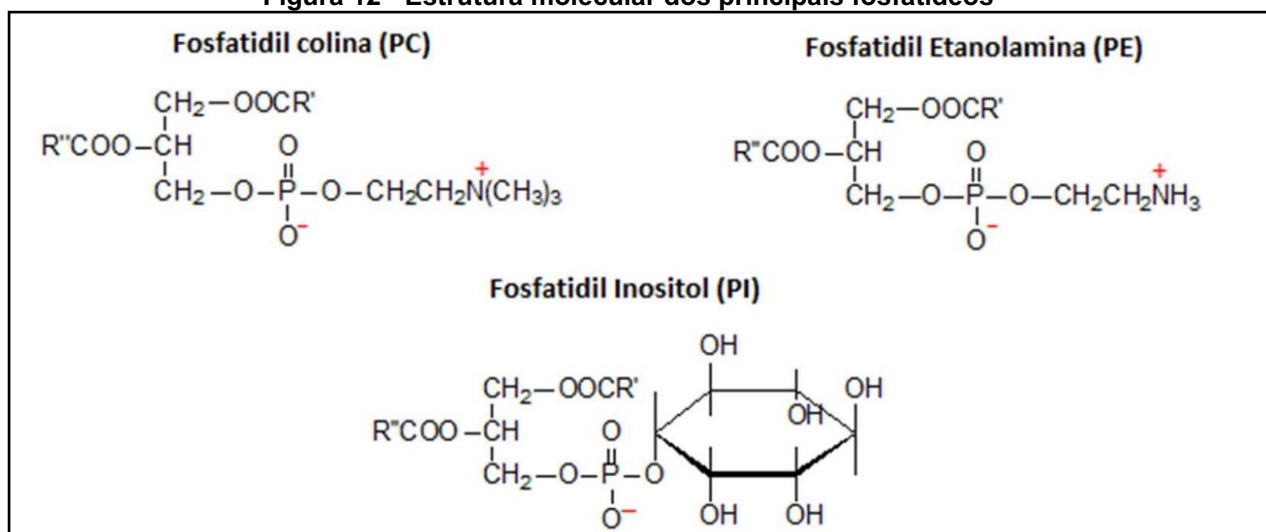
Tabela 5 – Composição dos fosfolipídios do óleo bruto de soja

Fosfolipídio	Concentração (%)
Fosfaditil colina (PC) – (Lecitina)	22
Fosfaditil etanolamina (PE)	23
Fosfaditil serina (PS)	2
Fosfaditil Inositol (PI)	20
Ácido fosfatídeo	5
Fitoglicolipídeos	13
Outros	15

Fonte: Dorsa (2004)

Nota-se que os fosfatídeos de maior concentração são: o PC, PE e o PI, cujas representações de suas estruturas moleculares se encontram na Figura 13. Estas, determinam a capacidade de hidratação, portanto, os fosfatídeos hidratáveis (HP) são: PC e PI, enquanto PE é classificado como fosfatídeo não hidratável (NHP) (OLIVEIRA, 2012).

Figura 12 - Estrutura molecular dos principais fosfatídeos



Fonte: Oliveira (2012)

Na simulação a composição do óleo será baseada na utilizada por Vieira Filho *et.al.* (2018) onde, os glicérides presentes no óleo bruto foram simulados utilizando-se como representação a Trioleína. Os fosfatídeos como HP e NHP em 2 componentes hipotéticos. Os FFA serão expressos como ácido oléico e considerando um processo ideal os demais componentes serão desprezados com seu percentual de composição incluídos como triglicérides.

Sendo então, a composição utilizada na simulação a presente na Tabela 6.

Tabela 6 – Composição do óleo bruto utilizado na simulação

Parâmetro	Fórmula	Composição (%)
Trioleína	C ₅₇ H ₁₀₄ O ₆	96,86
HP ((1,2-dilinoleoyl)-3-lecithin)	C ₄₄ H ₈₀ NO ₈ P	2,475
NHP (DLPE-linoleoyl)	C ₄₁ H ₇₄ NO ₈ P	0,275
FFA (Ácido Oleico)	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0,31
Umidade	H ₂ O	0,08

Fonte: Autoria Própria (2022)

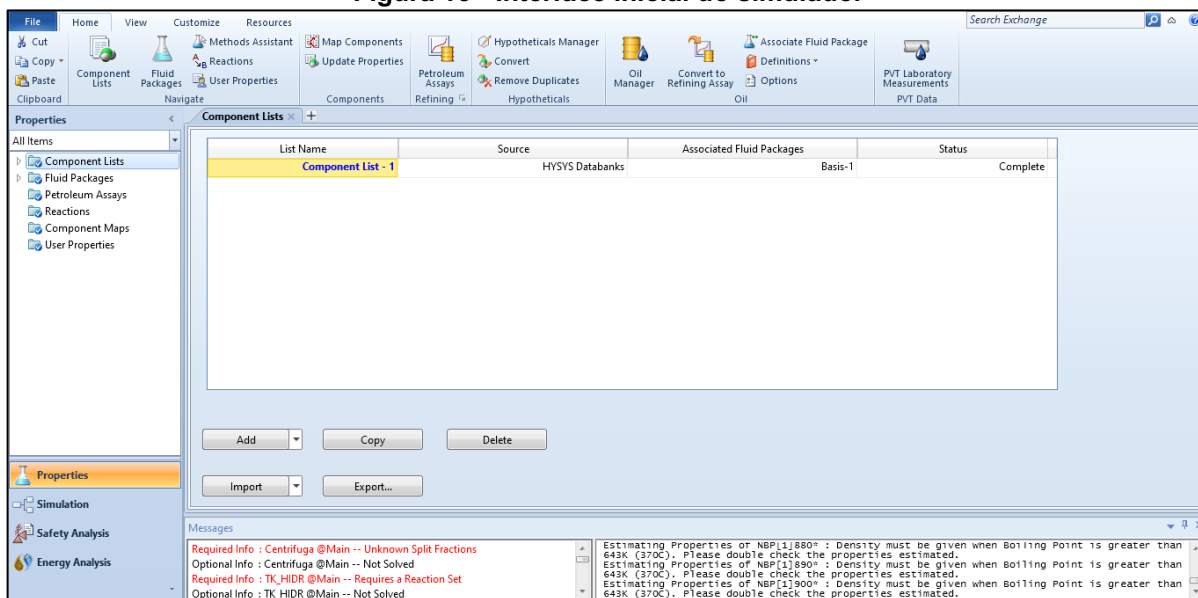
3.1 Simulador Aspen HYSYS

Para concepção de uma simulação no HYSYS são seguidas algumas etapas. A primeira delas está vinculada com a inserção dos componentes químicos envolvidos.

A Figura 14 apresenta a interface inicial do simulador, onde foram selecionados os componentes químicos, o pacote termodinâmico para realizar a modelagem do equilíbrio de fases e inserir as reações envolvidas.

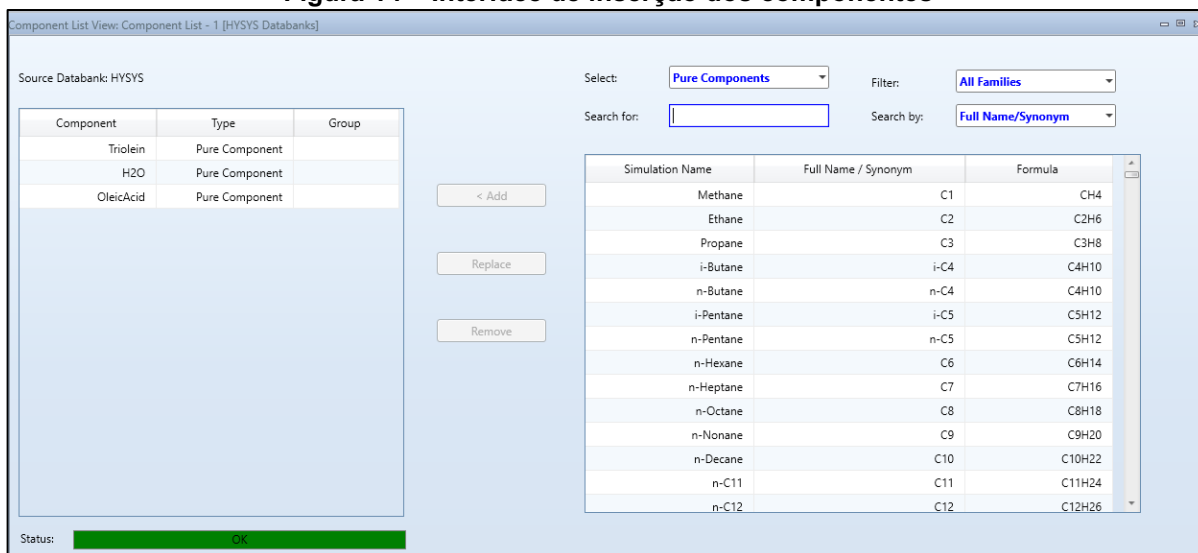
Para inserção dos componentes, é necessário clicar em “Components List - 1” para abrir a janela onde ocorrerá a seleção das substâncias utilizadas para uma dada simulação. (Figura 15).

Figura 13 - Interface inicial do simulador



Fonte: Autoria Própria (2022)

Figura 14 – Interface de inserção dos componentes

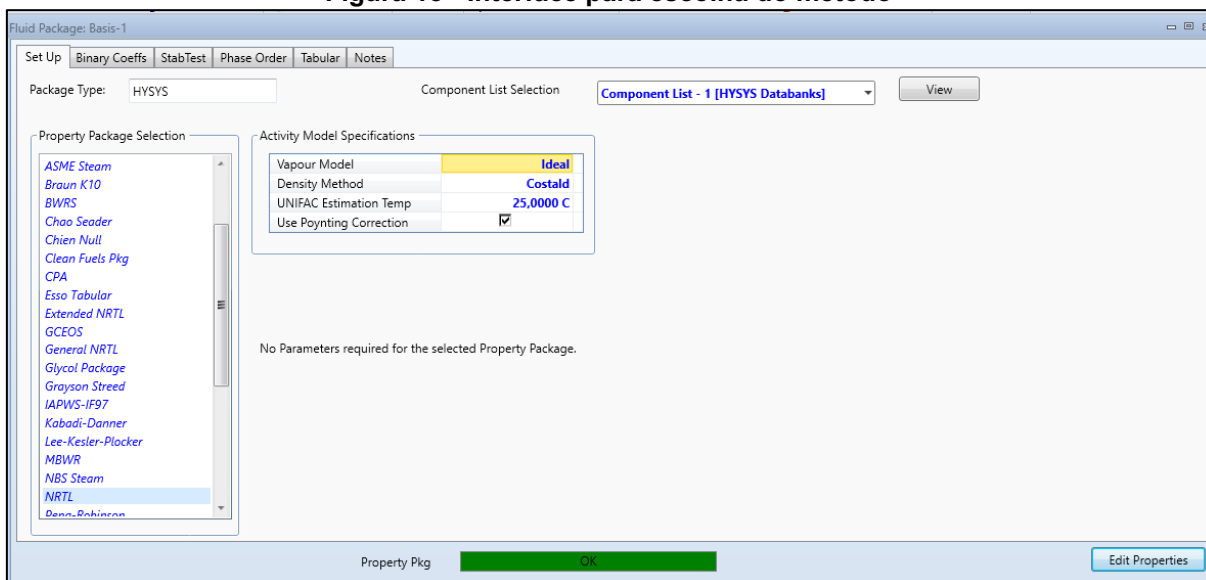


Fonte: Autoria Própria (2022)

A segunda etapa é a escolha do modelo termodinâmico que será utilizado para descrever o equilíbrio de fases, no cálculo dos balanços de massa e energia dos equipamentos que representam virtualmente as reações e operações unitárias do projeto do processo (TAKAKURA,2009). O próprio HYSYS possui um guia de ajuda para escolha do pacote, mas esta escolha é delineada pela polaridade das espécies químicas presentes, condições de pressão e temperatura do meio e as transformações de estado que ocorrem.

Na Figura 15 é mostrada a tela de seleção do método a ser utilizado bem como as abas para personalização das equações a serem utilizadas. Para este trabalho, o modelo NRTL (*Non-Random Two Liquids*) foi escolhido por sua capacidade de descrever o equilíbrio de fases de misturas de substâncias orgânicas com água.

Figura 15 - Interface para escolha do método



Fonte: Autoria Própria (2022)

As equações do modelo NRTL para os coeficientes de atividade, que representam a não idealidade da fase líquida estão descritas nas equações 1 e 2. Este modelo se baseia na energia livre de Gibbs e é utilizado para determinação do coeficiente de atividade de um determinado soluto em solventes líquidos com parcial solubilidade entre as fases (CARVALHO, 2019).

$$\ln \gamma_1 = x_2^2 \left[\tau_{21} \left(\frac{G_{21}}{x_1 + x_2 G_{21}} \right)^2 + \frac{G_{12} \tau_{12}}{(x_2 + x_1 G_{12})^2} \right] \quad (1)$$

$$\ln \gamma_2 = x_1^2 \left[\tau_{12} \left(\frac{G_{12}}{x_2 + x_1 G_{12}} \right)^2 + \frac{G_{21} \tau_{21}}{(x_1 + x_2 G_{21})^2} \right] \quad (2)$$

$$G_{12} = \exp(-\alpha \tau_{12}), G_{21} = \exp(-\alpha \tau_{21}), \tau_{12} = \frac{b_{12}}{RT}, \tau_{21} = \frac{b_{21}}{RT}$$

Onde τ_{12} , τ_{21} , α são os parâmetros de interação binária e os parâmetros x_1 e x_2 são os estados do processo.

A terceira é a caracterização das reações químicas, seus respectivos coeficientes, taxas de conversão e os parâmetros cinéticos, como o processo da degomagem aquosa consiste na hidratação e separação física da goma, não serão desenhadas reações químicas para o processo.

3.1.1 Substâncias hipotéticas

De acordo com Takakura (2009), uma das limitações do uso de modelos termodinâmicos para descrever o comportamento de sistemas envolvendo substâncias naturais relaciona-se com algumas propriedades serem consideradas hipotéticas, devido a decomposição dessas substâncias abaixo de suas condições críticas e as vezes abaixo de suas temperaturas normal de ebulição.

O simulador ASPEN HYSYS tem a vantagem de permitir o cadastro das substâncias que não fazem parte de seu banco de dados. O cadastramento de componentes não existentes na base de dados, os chamados hipotéticos, é realizado durante a inserção dos componentes puros, basta que, na lista seja selecionado a opção “Hypothetical”. Há também a opção de inserir componentes sólidos com a opção “Hypothetical Solids”. (Figura 16).

Figura 16 - Inserção de componentes hipotéticos

Name	Normal Boiling Point [C]	Molecular Weight	Liquid Density [kg/m3]	Tc [C]

Fonte: Autoria Própria (2022)

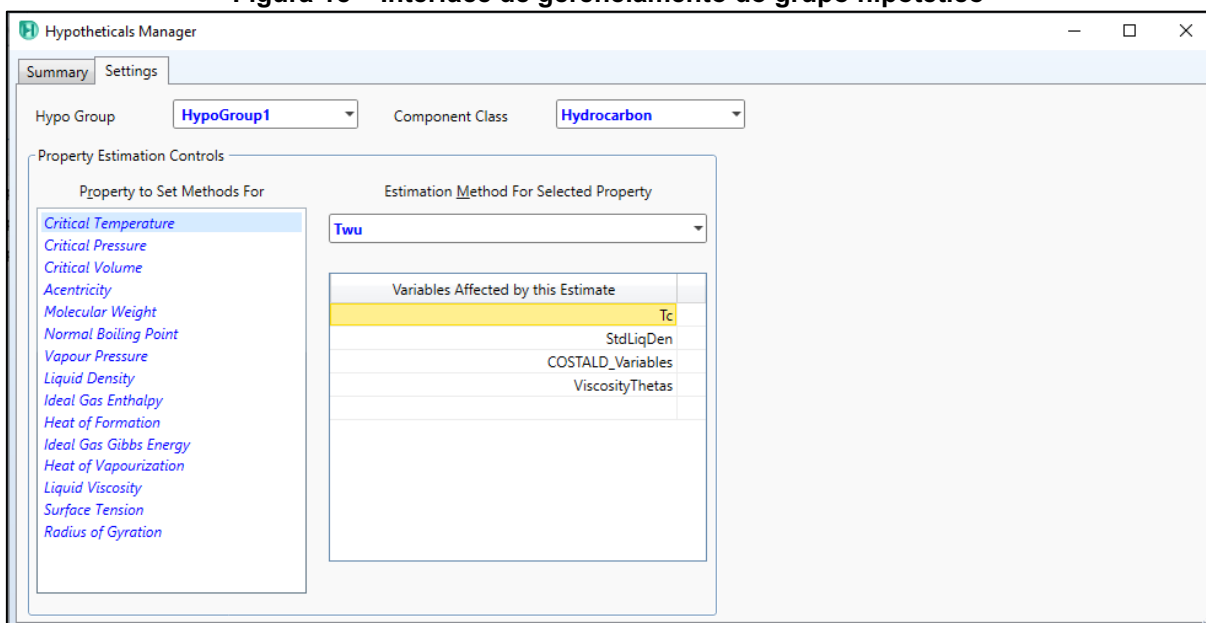
Agora, na Figura 17, é mostrado um botão para inserção de um novo grupo de componentes. Clicando nele temos nosso grupo de componentes, caso o objetivo seja criar um conjunto de componentes baseados em seus pontos de ebulição altere os parâmetros e clique no botão “Genarate Hypos”. Como neste trabalho serão adicionados dois componentes distintos, será modificado o método para a opção “Create and Edit Hypo”.

Figura 17 – Inserindo um grupo de componentes hipotéticos

Fonte: Autoria Própria (2022)

Para editar os componentes inseridos, será necessário abrir a tela do “Hypotheticals Manager”. Aí será possível modificar o nome do grupo, o método para estimar as propriedades e também a classe dos componentes pertencentes (Figura 18).

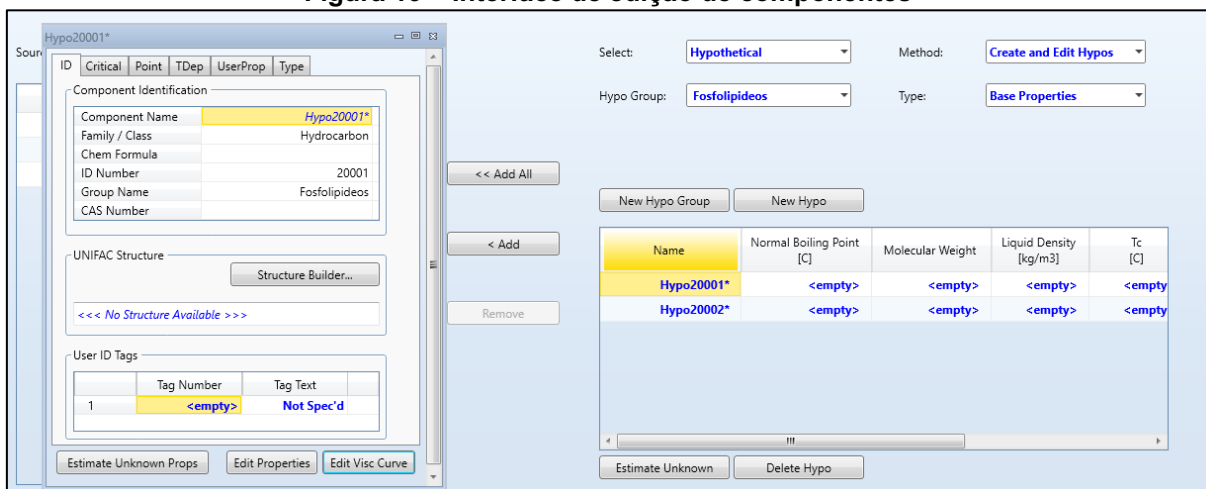
Figura 18 – Interface de gerenciamento do grupo hipotético



Fonte: Autoria Própria (2022)

Para edição das propriedades dos componentes clique sobre eles e a tela de edição será aberta (Figura 19). Esta funcionalidade está presente também para os componentes puros.

Figura 19 – Interface de edição de componentes



Fonte: Autoria Própria (2022)

É importante notar que o Aspen HYSYS mesmo de permitindo a inserção de moléculas contendo os átomos de fósforo e nitrogênio fazendo 5 ligações, de átomos como o cálcio e de elementos com carga não possui modelos de contribuição de grupos capazes de estimar as propriedades de moléculas contendo estes elementos (VIEIRA FILHO, *et al.* 2018).

Com esta informação, as moléculas que foram modeladas para representação dos fosfatídeos neste trabalho foram adaptadas para os átomos de fósforo e nitrogênio 3, e o HP será incluído na simulação em sua forma hidratável, dada a alta complexidade de modelagem da conversão do fosfatídeo para sua forma hidratável. As propriedades destes componentes estão apresentadas na Tabela 7, seguindo os elementos utilizados em simulações de processos semelhantes apresentadas por Vieira Filho *et al.* 2018. As demais propriedades foram geradas pelo próprio simulador.

Tabela 7 – Composição dos fosfatídeos da simulação

Parâmetro	NHP	HP
Temperatura Normal de Ebulição (°C)	437,97	-
Massa Molar	742,01	941,07
Temperatura Crítica (°C)	592,3	624,9
Pressão Crítica (bar)	2,968	0,8048
Volume Crítico (m ³ /kmol)	2,933	3,4702

Fonte: Adaptado de Vieira Filho *et al.* (2018)

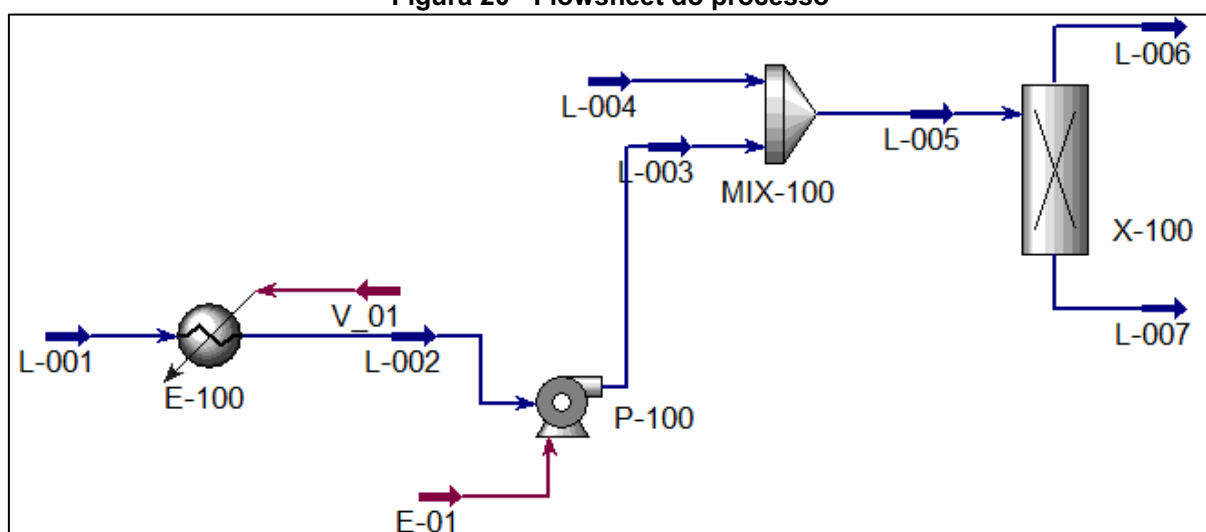
3.1.2 Projeto do processo da degomagem aquosa

O processo de degomagem aquosa simulado terá capacidade de separação de 30 toneladas/hora, consistindo em um trocador de calor, uma bomba, um misturador de correntes e um separador de componentes.

A respeito do separador de componentes, devido ao Aspen HYSYS não possuir em sua biblioteca original centrífugas a alternativa encontrada foi basear-se nas frações de separação que um equipamento, utilizado em indústria do setor, realiza em funcionamento normal, sendo então considerado um percentual de 80% de remoção dos fosfatídeos hidratáveis com arraste de 20% de óleo e com 30% de umidade.

Os componentes inseridos seguiram o que foi mencionado nas tabelas 6 e 7 e a temperatura inicial escolhida foi de 55°C e pressão de alimentação de 5 bar. O fluxograma ou *Flowsheet* do processo é apresentado na Figura 20

Figura 20 - Flowsheet do processo



Fonte: Autoria Própria (2022)

3.2 Análise de sensibilidade paramétrica

Avaliando a influência na separação dos HP, foi realizada uma análise de sensibilidade modificando alguns parâmetros de processo, foram eles: temperatura e pressão de operação, percentual de composição de HP na alimentação e percentual de hidratação do óleo. A faixa de variação dos parâmetros se baseou em valores da literatura e no cenário real de uma indústria do setor e são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Faixa de valores utilizadas para análise

Parâmetro	Mínimo	Máximo	Referências
Temperatura de Hidratação (°C)	60	80	Potrich (2019), Dorsa (2004), Fernandes-Júnior (2009)
Pressão de Hidratação (bar)	5	8	Indústria do Setor
Percentual de Hidratação (%)	1	3	Fernandes-Júnior (2009)
Percentual de HP no Óleo Bruto (%)	1,5	3	Liu e Ma (2011)

Fonte: Autoria Própria (2022)

No que tange ao procedimento dessa análise, foram fixados os demais parâmetros de processo e modificado somente o valor da variável testada dentro das faixas propostas e repetiu-se até execução de todos os cenários, buscando a melhor remoção de HP.

Os resultados dos experimentos correspondentes a cada teste simulado foram demonstrados por meio de tabelas e gráficos buscando facilitar a discussão dos resultados.

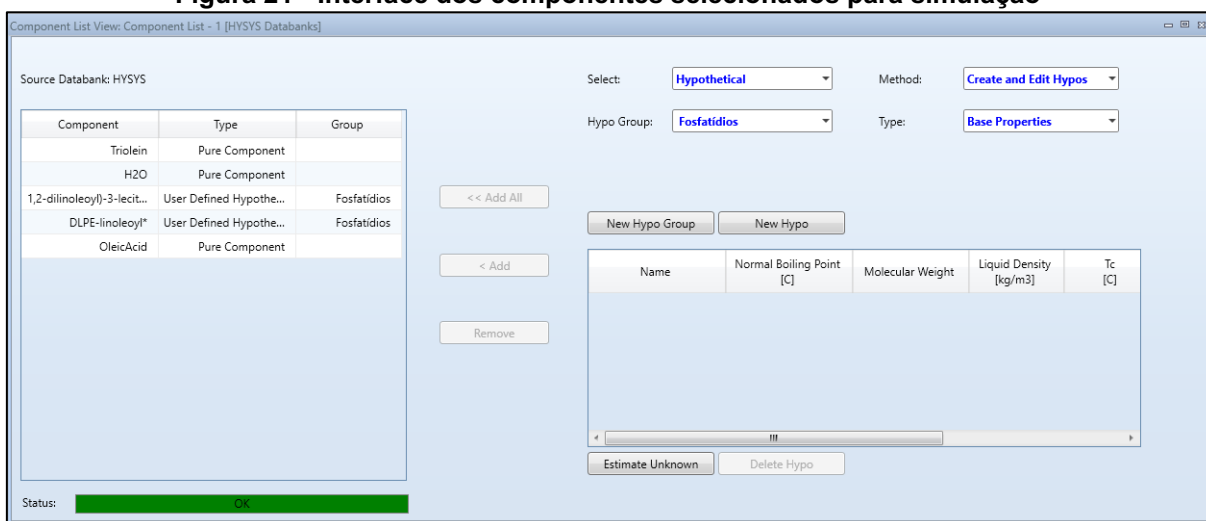
Com isso foi feita uma análise de sensibilidade com o intuito de validar o comportamento apresentado e para validação foram utilizados valores presentes na literatura científica atual e em cenários de produção em indústria do setor.

E por último foi comparado o desempenho da simulação construída com o comportamento de uma situação real fazendo uso dos valores de corrente de entrada deste contexto e validando, pelo percentual de fosfatídeos presentes na corrente de óleo degomado, a autenticidade representativa da simulação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme descrito no capítulo 3 a simulação foi construída no ASPEN HYSYS tendo como passo inicial a seleção das substâncias puras envolvidas bem como a inserção dos componentes hipotéticos inseridos para representar os fosfolipídios descritos na Tabela 7. A Figura 21 mostra a tela com os componentes inseridos para a realização das simulações.

Figura 21 - Interface dos componentes selecionados para simulação



Fonte: Autoria Própria (2022)

Após, foi realizada a seleção do pacote termodinâmico conforme mencionado no capítulo anterior, onde dadas as características das substâncias envolvidas bem como os processos aos quais estas espécies foram submetidas, o modelo NRTL foi selecionado e mostrou-se adequado para representação do processo estudado.

Dado o fluxograma da Figura 20, foi construída a simulação base para realização da avaliação dos parâmetros estabelecidos, os valores das correntes estão presentes na Tabela 9 e na Tabela 10 estão os valores de composição das linhas.

Confeccionada a simulação base, efetuaram-se modificações dentro das faixas mencionadas na Tabela 8 para observação da sensibilidade paramétrica da degomagem simulada. Os resultados obtidos dessas aferições se encontram nos itens 4.1 para temperatura de hidratação, 4.2 para pressão de hidratação, 4.3 para o percentual de hidratação e 4.4 para percentual de HP na corrente de alimentação de Óleo bruto.

Tabela 9 - Parâmetros dos elementos da Simulação Base

Elemento	Descrição	Vazão Mássica (kg/h)	Temperatura (°C)	Pressão (bar)
L - 001	Alimentação de Óleo Bruto	30.000	55	5
E - 100	Trocador de Calor	-	-	-
V_01	Alimentação de Fluido Quente	-	-	-
L - 002	Óleo Bruto Aquecido	30.000	70	3
E - 01	Linha de Energia para Bomba	-	-	-
P - 100	Bomba de Transferência de Óleo Bruto	-	-	-
L - 003	Óleo Bruto para Hidratação	30.000	70,14	5
L - 004	Água para Hidratação	30	70	5
MIX - 100	Misturador para Hidratação	-	-	-
L - 005	Óleo Hidratado	30.030	70,14	5
X - 100	Separador de componentes	-	-	-
L - 006	Óleo Degomado	23.357	70,14	5
L - 007	Goma	6459	70,14	2,5

Fonte: Autoria Própria (2022)

Tabela 10 - Composição das linhas da Simulação base

Linha	Fração Molar de Trioleína	Fração Molar de HP	Fração Molar de NHP	Fração Molar de Ácido Oleico	Fração Molar de Água
L - 001	0,9276	0,0223	0,0031	0,0093	0,0377
L - 002	0,9276	0,0223	0,0031	0,0093	0,0377
L - 003	0,9276	0,0223	0,0031	0,0093	0,0377
L - 004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
L - 005	0,8859	0,0213	0,0029	0,0089	0,0809
L - 006	0,9082	0,0041	0,0038	0,0114	0,0726
L - 007	0,8070	0,0825	0,0000	0,0000	0,1106

Fonte: Autoria Própria (2022)

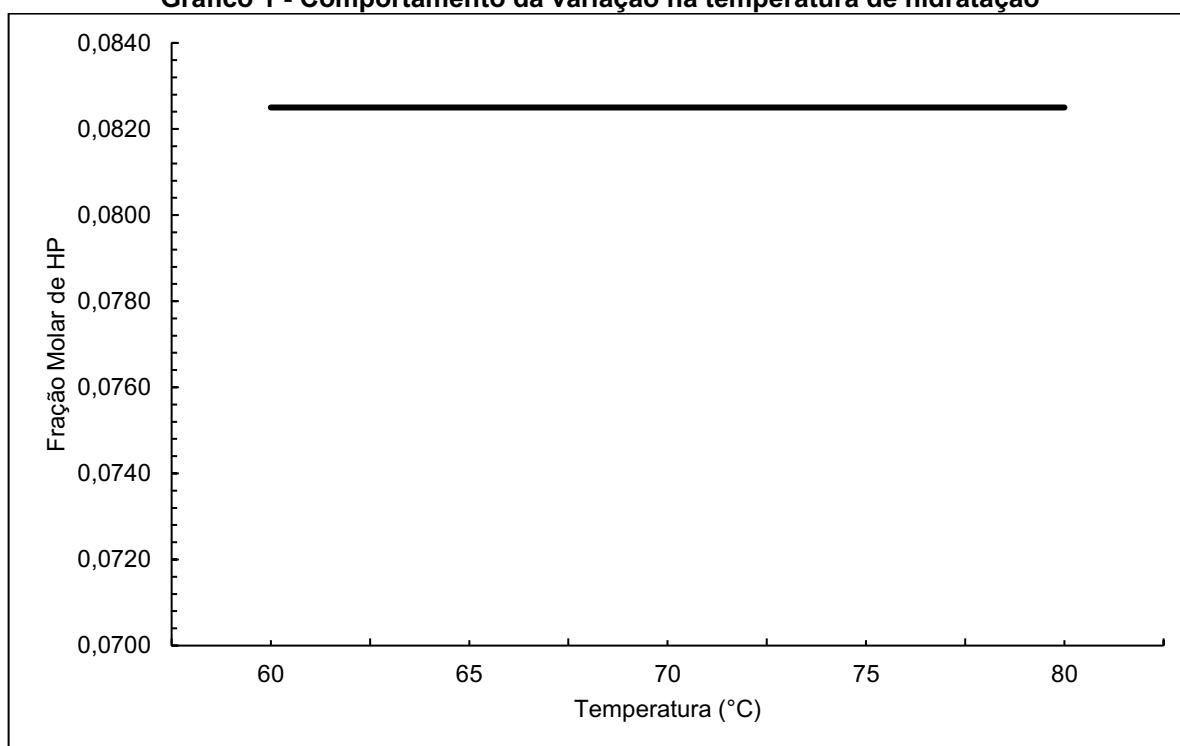
4.1 Temperatura de hidratação

Para o parâmetro de temperatura de hidratação o intervalo de variação das simulações realizadas é de 60°C até 80 °C com um diferencial de 5°C entre cada. Os resultados se encontram na Tabela 11 e no Gráfico 1.

Tabela 11 - Resultados da variação na temperatura de hidratação

Temperatura de Hidratação	Fração Molar de HP na Goma
60	0,0825
65	0,0825
70	0,0825
75	0,0825
80	0,0825

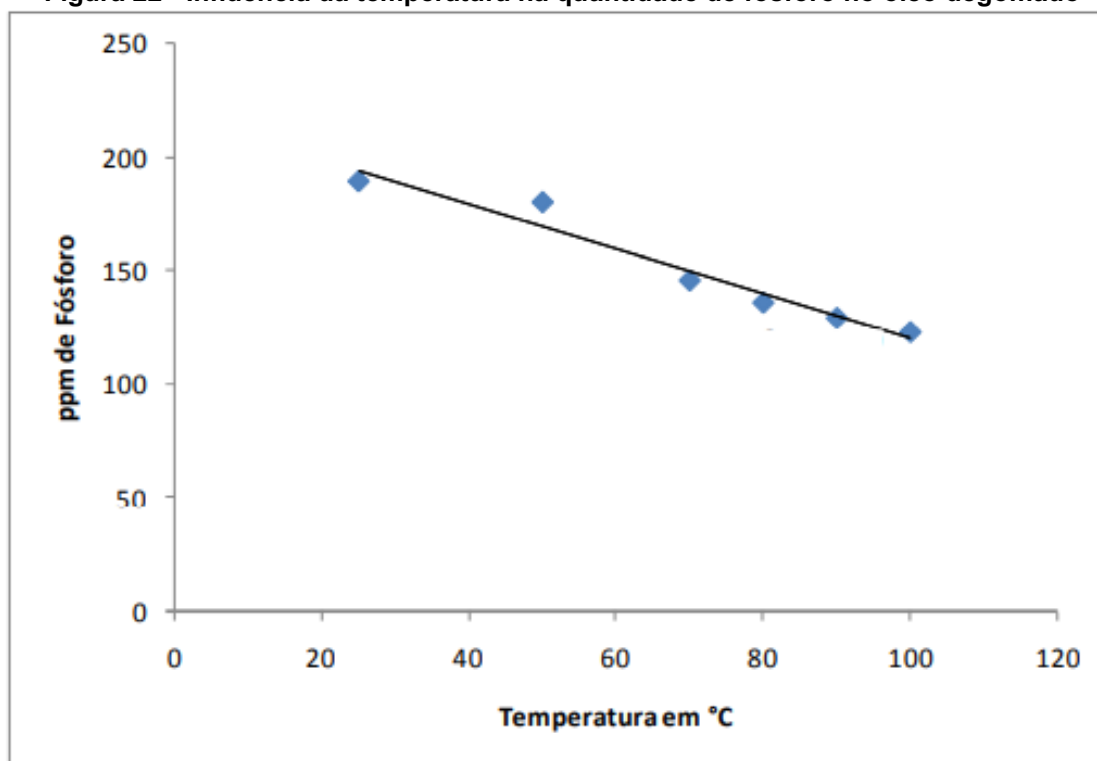
Fonte: Autoria Própria (2022)

Gráfico 1 - Comportamento da variação na temperatura de hidratação

Fonte: Autoria Própria (2022)

Com base nos resultados obtidos é notado que dentro da faixa de testes não ocorreram modificações na fração molar de HP, como esta faixa é considerada a ideal para a realização do processo, haveria indícios de que a simulação estaria coerente com uma representação de um sistema real.

Então foram extrapolados os valores de testes para comprovação da veracidade da simulação, o que resultou em nenhuma modificação na variável de interesse. Na literatura consultada, Rosa (2012) ao realizar a análise da influência da temperatura verificou que na faixa testada há reduções, aproximadas, de 0,82% por grau aumentado na temperatura de separação, os resultados de sua pesquisa estão na Figura 22, indicando que o percentual de fósforo presente no óleo degomado reduz com o aumento da temperatura.

Figura 22 - Influência da temperatura na quantidade de fósforo no óleo degomado

Fonte: Adaptado de Rosa (2012)

Silva *et.al.*(2014) investigaram o percentual de óleo em base seca presente na goma separada do óleo bruto, os resultados encontrados por eles reforçam o que já foi comentado indicando uma idealidade de processo em temperaturas mais elevadas e também, em um processo real, as temperaturas ideais se encontram entre 75°C e 85°C.

Entretanto, Hammound *et. al.* (2005) afirma que é a qualidade do óleo bruto que influencia na eficácia da degomagem e ainda, no trabalho de Rosa (2012) ela demonstra que a relação da temperatura está diretamente ligada à velocidade de sedimentação, e pela teoria de centrifugação, essa relação é diretamente proporcional ao aumento da vazão de produção do equipamento.

Sendo assim, os desvios apresentados pela simulação construída poderiam ser justificados quanto às considerações realizadas para modelagem do separador e também, durante o cadastramento das substâncias hipotéticas, ao conceder ao software a realização da predição dos dados de equilíbrio dos subsistemas binários envolvendo os compostos da simulação, há possibilidade de que a representação destas interações não esteja alinhada com o que era esperado.

4.2 Pressão de hidratação

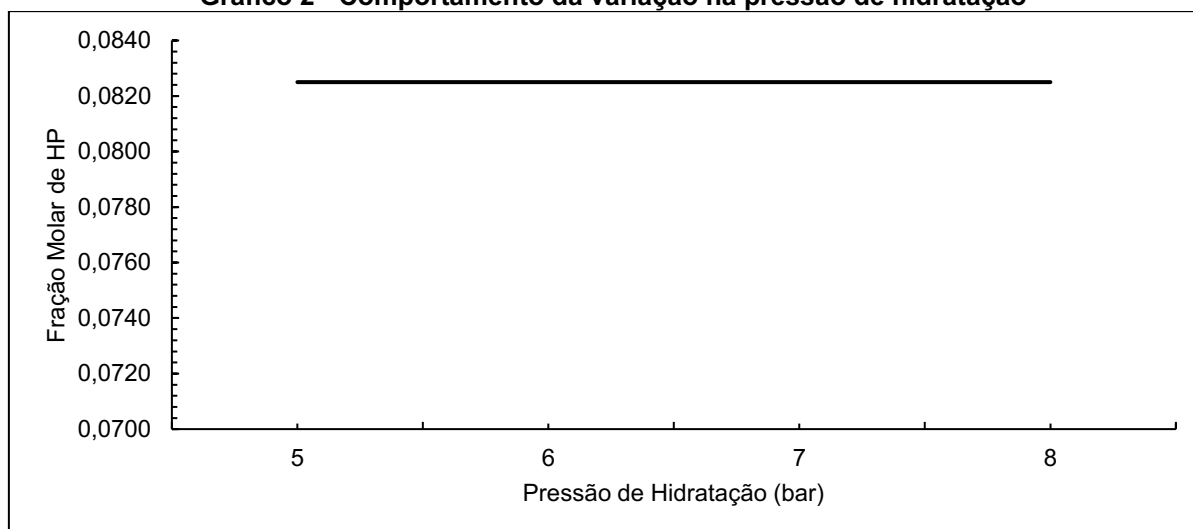
Para o parâmetro de pressão de hidratação o intervalo de variação das simulações realizadas é de 5 bares até 8 bares com um diferencial de 1 bar entre cada. Os resultados se encontram na Tabela 12 e no Gráfico 2.

Tabela 12 - Resultados da variação na pressão de hidratação

Pressão de alimentação da hidrataçãp	Fração Molar de HP na Goma
5	0,0825
6	0,0825
7	0,0825
8	0,0825

Fonte: Autoria Própria (2022)

Gráfico 2 - Comportamento da variação na pressão de hidratação



Fonte: Autoria Própria (2022)

A partir dos resultados verifica-se que a pressão de hidratação, assim como a temperatura, é constante dentro da faixa de testes e até mesmo extrapolando os valores.

Na indústria esta pressão também não apresenta correlação com a separação dos fosfolípidios sendo a pressão de maior interesse a contrapressão da centrífuga que estará diretamente ligada com a separação dos componentes, visto que na literatura e no trabalho de Rosa (2012) igualmente foi apenas evidenciado que é a pressão de contracorrente que afeta o controle do arraste de óleo.

Pode-se levar em conta também que a maneira com a qual a simulação representou esta variação pode ter sido afetada pelos fatores já comentados no item 4.1.

4.3 Percentual de hidratação

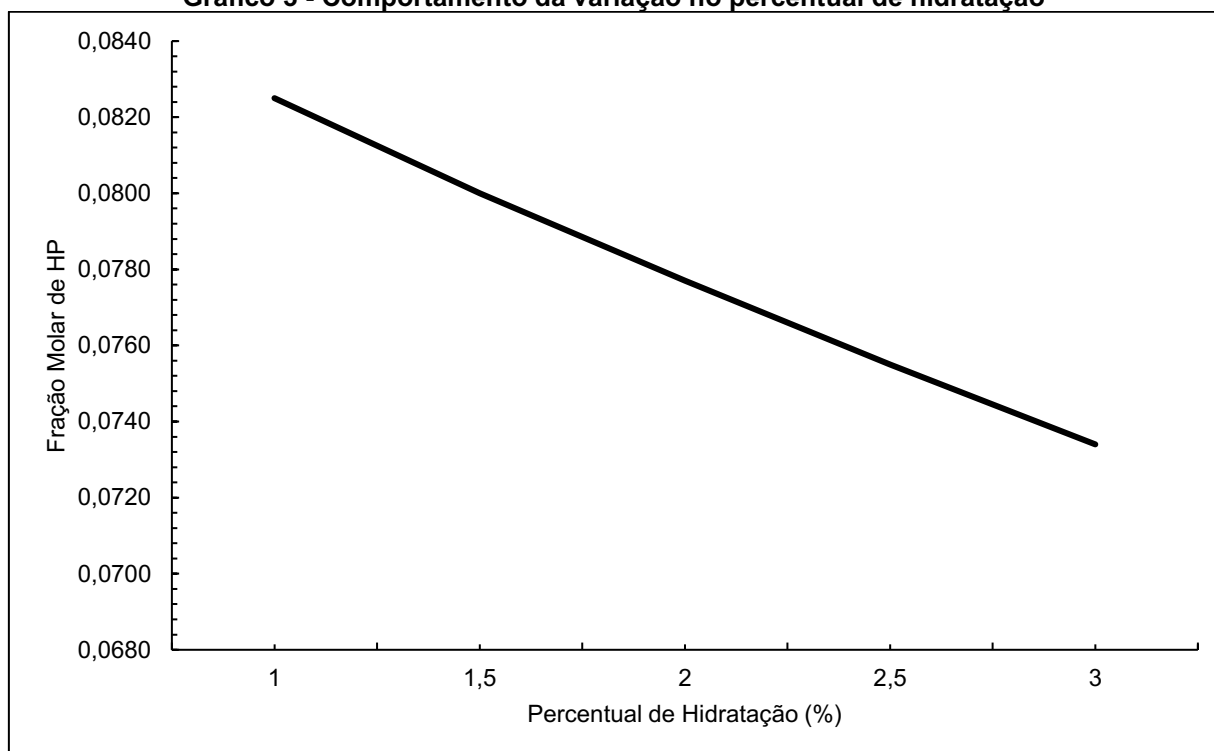
O percentual de hidratação teve como intervalo de variação das simulações realizadas de 1% até 3% com diferença de 0,5% entre cada simulação. Os resultados se encontram na Tabela 13 e no Gráfico 3.

Tabela 13 - Resultados da variação no percentual de hidratação

Percentual de hidratação	Fração Molar de HP na Goma
1	0,0825
1,5	0,0800
2	0,0777
2,5	0,0755
3	0,0734

Fonte: Autoria Própria (2022)

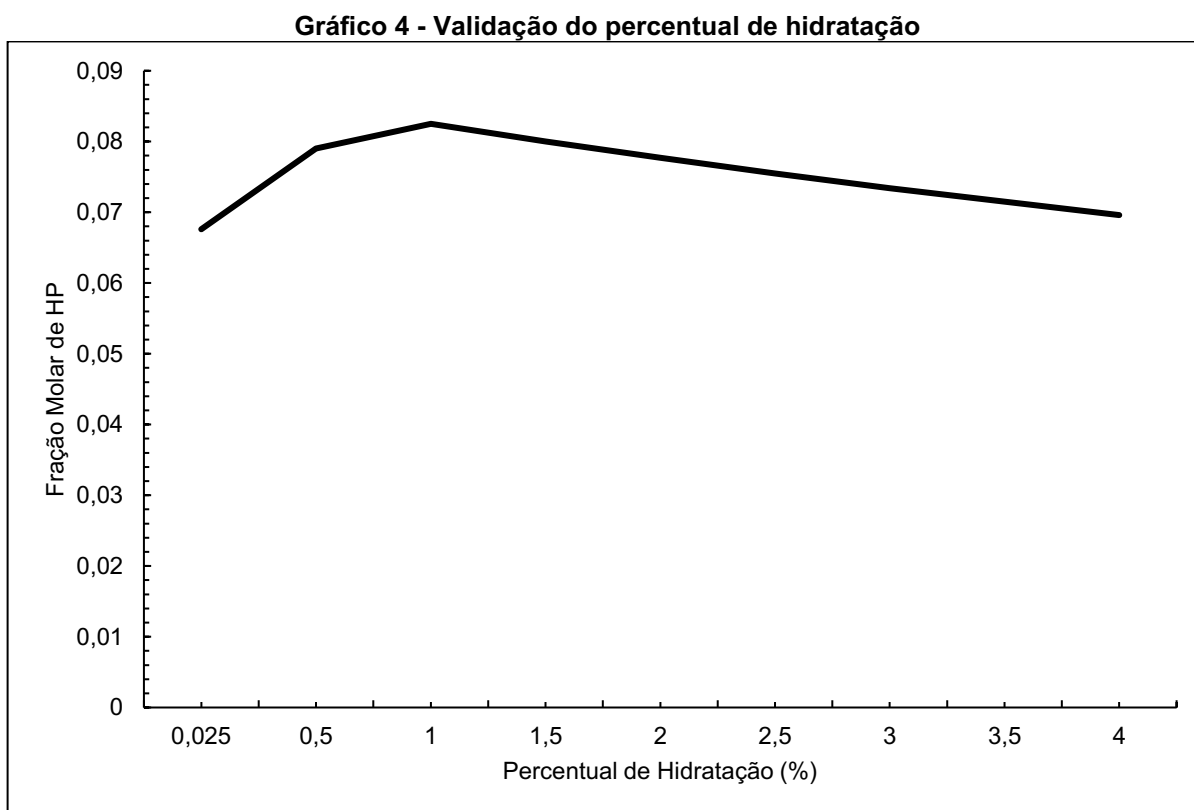
Gráfico 3 - Comportamento da variação no percentual de hidratação



Fonte: Autoria Própria (2022)

O desempenho da simulação para avaliação da sensibilidade relacionada ao percentual da hidratação indica o comportamento esperado e semelhante ao realizado em processos reais da indústria. Com base no que Dorsa (2014) afirma, o percentual de hidratação está relacionado ao conteúdo de fosfatídeos presentes na composição de entrada (óleo bruto) então dada a composição da L-001, o percentual ideal é de 1% de água.

Assim como nos testes anteriores, realizou-se uma extrapolação dos valores para legitimação da genuína representação do processo, os resultados obtidos estão no Gráfico 4, comprovando o que a literatura indica para percentual de hidratação.



Fonte: Autoria Própria (2022)

O resultado apresentado ainda pode ser justificado pela diferença de densidade que foi ampliada com a maior quantidade de água, como os fosfolipídios são capazes de absorver a água, quando esta estiver em excesso tornará a goma menos densa dificultando sua separação do óleo hidratado.

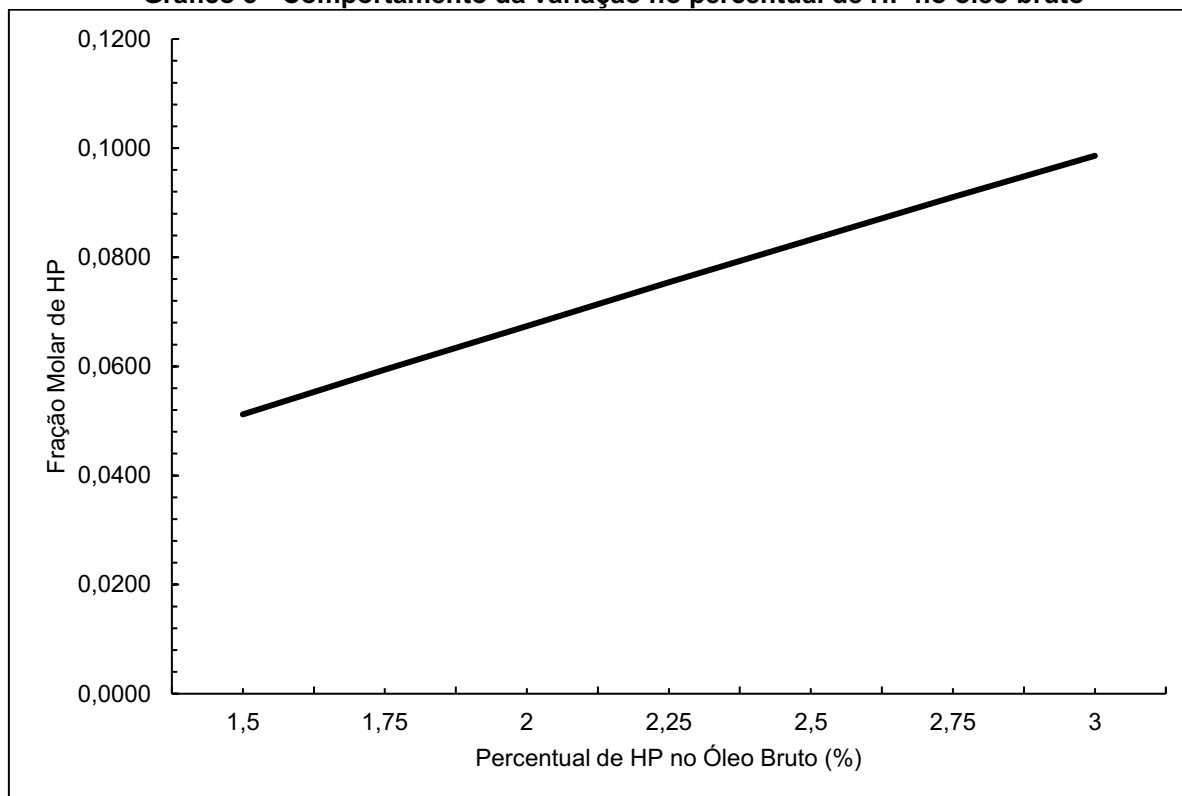
4.4 Percentual de HP no óleo bruto

Com relação ao percentual de HP no óleo bruto as simulações foram realizadas com mudanças de 0,25% com valor inicial de 1,5 % e seguindo até 3%. Os resultados se encontram na Tabela 14 e no Gráfico 5.

Tabela 14 - Resultados da variação no percentual HP no Óleo Bruto

Percentual de HP no Óleo Bruto	Fração Molar de HP na Goma
1,5	0,0512
1,75	0,0594
2	0,0674
2,25	0,0754
2,5	0,0832
2,75	0,0910
3	0,0986

Fonte: Autoria Própria (2022)

Gráfico 5 - Comportamento da variação no percentual de HP no óleo bruto

Fonte: Autoria Própria (2022)

Pelos resultados apresentados comprova-se que com o aumento do percentual de HP na corrente de alimentação ocorre um aumento da fração molar na goma. Pela literatura é esperado este comportamento visto que a modificação na qualidade de óleo bruto implica em melhoria ou piora da eficiência da degomagem (DORSA (2004); HAMMOUND *et. al.* (2005); ROSA (2012)).

Na indústria esse comportamento também é observado, porém, quando ocorrem modificações na concentração de fosfatídeos na alimentação, dificilmente outros parâmetros, como temperatura e percentual de hidratação, não sofrem modificações.

4.5 Comportamento em cenário industrial

Uma última análise foi realizada partindo de um cenário real de processo e seus valores de alimentação e de separação final. O intuito dessa análise é validar a autenticidade da simulação para casos reais.

A vazão de entrada será de 18000 kg/h, percentual de HP 0,0540%, percentual de NHP 0,0120%, umidade de 0,3 %, acidez de 3% e 96,7 % de triglicerídeos. O percentual de hidratação é de 1,4% a temperatura de hidratação é de 83°C com pressão de 6 bar. Os valores das correntes obtidas estão indicados na Tabela 15.

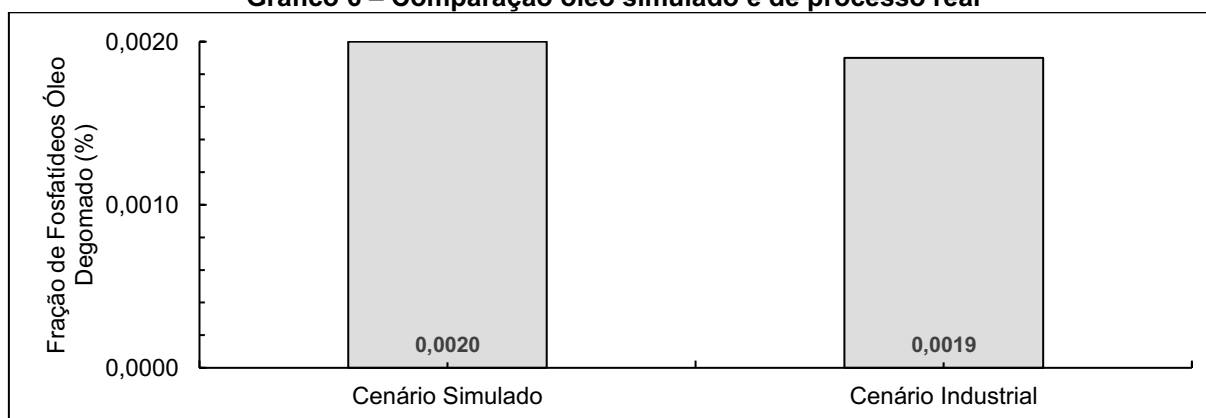
Na indústria o parâmetro analisado é quanto de fósforo está no óleo degomado, assim sendo, no Gráfico 6 é comparado o quanto de fósforo que está presente no óleo simulado e quanto está presente em um processo real.

Tabela 15 – Resultado do cenário industrial

Linha	Fração Molar de Trioleína	Fração Molar de HP	Fração Molar de NHP	Fração Molar de Ácido Oleico	Fração Molar de Água
L - 001	0,7996	0,0004	0,0001	0,0778	0,1220
L - 002	0,7996	0,0004	0,0001	0,0778	0,1220
L - 003	0,7996	0,0004	0,0001	0,0778	0,1220
L - 004	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000
L - 005	0,7566	0,0004	0,0001	0,0736	0,1693
L - 006	0,7589	0,0001	0,0001	0,0923	0,1486
L - 007	0,7474	0,0017	0,0000	0,0000	0,2509

Fonte: Autoria Própria (2022)

Gráfico 6 – Comparação óleo simulado e de processo real



Fonte: Autoria Própria (2022)

Confrontando os valores desempenhados pela simulação com o cenário real, há similaridade do processo real com a modelada no *software* e considerando que nas indústrias há uma permissividade dado desvio padrão, poderia ser afirmado que o processo simulado obteve mesmos resultados que o real.

5 CONCLUSÃO

O óleo de soja é uma das principais *commodities* do planeta, avaliar seu processo produtivo se torna um diferencial para melhoria da eficiência deste. A realização de testes dentro do setor industrial gera além de custos financeiros, também custos de segurança de processos e de pessoal. A alternativa é a simulação computacional que, em ambiente controlado, é possível trabalhar com diversos cenários de produção.

Neste trabalho, foi realizada a modelagem e simulação da etapa da degomagem pertencente ao processo de refino da produção de óleo de soja. A ferramenta utilizada foi o *software* ASPEN HYSYS.

Para que a simulação acontecesse foi levantado as características do óleo bruto que chega para a degomagem, bem como os percentuais esperados de separação, de hidratação bem como as faixas ideais de trabalho para parâmetros como temperatura, pressão e percentual de hidratação.

O intuito da construção deste processo no simulador foi avaliar a sensibilidade paramétrica envolvendo a temperatura, pressão e percentual de hidratação e também a quantidade de HP presentes na corrente de alimentação.

Com os resultados encontrados a simulação se mostrou condizente à literatura e a um processo industrial real nos parâmetros de percentual e hidratação, percentual de HP no óleo bruto e no percentual de fosfolipídios no óleo degomado. Entretanto para os parâmetros de temperatura e pressão não se chegou ao que era o comportamento esperado para essas variáveis. Os motivos que podem ter ocasionado estes desvios estão relacionados às considerações realizadas para concretização da simulação.

Como sugestão de trabalho futuro, poderia ser realizada a modelagem no simulador de um separador centrífugo com suas equações, bem como uma caracterização com mais detalhes do óleo bruto, principalmente dos fosfolipídios. Outro item que pode vir a ser trabalhado seria a combinação de cenários testados procurando um arranjo de parâmetros buscando a condição ideal.

Posto isto, este trabalho representa uma contribuição para os estudos de refino de óleo de soja, visto que as informações sobre modelagem e simulação de processamento de óleos, em específico o processo de degomagem são escassos.

REFERÊNCIAS

- ABDELHAFEEZ, A. M., ABOUELSOUD, A. A., ASHOUR, I., & ABOBEAH, R. Simulation of the Direct Carbothermal Reduction of SiO₂ Metal Using MATLAB and Aspen HYSYS. **Journal of Advanced Engineering Trends**, 40(1), 33-48.2021
- ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. **Estatística**. Disponível em:< <https://abiove.org.br/estatisticas/> > Acesso em: 15 nov. 2021
- ALFALAVAL, **Multiple choice for fats and oils refining**. 20fls. Disponível em:< https://www.alfalaval.com/globalassets/documents/industries/food-dairy-and-beverage/food/fat-and-oil-processing/degumming-and-neutralization-solutions.pdf?_ga=2.35941858.377148093.1637886302-967214416.1637711816 > Acesso em 20 nov. 2021
- ALTAMIRANO, C. A. A. **Análise de Ciclo de Vida do Biodiesel de Soja: uma comparação entre as rotas metélica e etélica**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biocombustíveis e Petroquímica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Rio de Janeiro, 259 p. 2013.
- ANSOLIN, M. **Determinação de dados experimentais de equilíbrio líquido-líquido de sistemas graxos com ênfase na distribuição de tocoferóis e tocotrienóis**. UNICAMP - Campinas, São Paulo, 2012.
- ARAGÃO, A.; CONTINI, E. **O Agro no Brasil e no mundo: Uma síntese do período de 2000 a 2020**. Embrapa SIRE, 2020.
- ASPENTECH. **Aspen eLearning**. Agosto, 2021. Bedford, Massachusetts. Disponível em:< <https://www.aspentech.com/en/knowledge/aspenselfpacedelearning>>. Acesso em: 26 nov. 2021
- BEI, N. **Otimização do processo de degomagem de óleo de soja por membrana cerâmica**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, São Paulo. 2005.
- BRASIL. **Portaria Nº 795, de 15 de dezembro de 1993**. Define as características de Identidade, Qualidade, Embalagem, Marcação e Apresentação do óleo de soja que se destina à comercialização interna. Disponível em:< <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=1431040401>> Acesso em 22 nov. 2021
- CÂMARA, G.M.S. **Introdução ao agronegócio da soja**. USP. Disponível em: < https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5746644/mod_resource/content/1/LPV%20584%202017%20-%20REVISAO%20Soja%20Apostila%20Agronegocio%20%282%29.pdf > Acesso em: 15 nov. 2021
- CANIZELLA, R. **Análise das perdas na produção contínua de extração de óleo de soja: estudo de caso no método de extração por solvente**. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru – São Paulo, 2012

CARVALHO, C. C. **Degomagem de miscela de óleo bruto de soja utilizando membranas de ultrafiltração sob diversas condições de pressão e velocidade.** UNICAMP. Campinas, São Paulo. 2007.

CARVALHO, F. D. **Medição Experimental e Modelagem Termodinâmica do Equilíbrio Líquido-Vapor de Sistemas Contendo Líquido Iônico, Água e Álcool.** Dissertação de Mestrado em Ciências no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química na Área de Desenvolvimento de Produtos e Processos – Escola de Engenharia de Lorena. Lorena, São Paulo. 100p. 2019

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Panorama do Agro CEPEA-USP/CNA.** Disponível em: < https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro#_ftn1>. Acesso em: 10 out. 2021

CROWN. **Model III Extractor.** Disponível em:<<http://www.crownironasia.com/Sections.asp?ID=35> > Acesso em 20 nov. 2021

D'ARSE, M. Ap. B.R. O processamento industrial do óleo vegetal e do farelo. **Revista Visão Agrícola.** USP-ESALQ. n.º 5. Junho de 2006

FERNANDES-JUNIOR, C. C. **Extração energética da etapa de extração de óleo de soja, utilizando a análise Pinch.**80p. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná

HAMMOND, E.G., JOHNSON,L.A., CAIPING S., WANG, T., WHITE, P.J. Soybean Oil. Iowa State University Ames, Iowa. In: Shahidi, f. **Bailey's Industrial Oil And Fat Products.** Hoboken, New Jersey. John Wiley & Sons, Inc., 2005. p.1212-1288.

KARTAL F., ÖZVEREN, U. **A comparative study for biomass gasification in bubbling bed gasifier using Aspen HYSYS.** Bioresource Technology Reports, Volume 13, 2021. Disponível em :<<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100615>> Acesso em 26 nov. 2021

LIU, D., MA, F. Soybean Phospholipids, in **Recent Trends for Enhancing the Diversity and Quality of Soybean Products.** Cap. 22. London, United Kingdom: IntechOpen, 2011

MANDARINO, J. M. G.; HIRAKURI, H.; ROESSING A.C. **Tecnologia para produção do óleo de soja: descrição das etapas, equipamentos, produtos e subprodutos** 2.ed. – Londrina: Embrapa Soja, 2015. 41p.

MARZULLO, R. C. M. **Análise de ecoeficiência dos óleos vegetais oriundo da soja e palma, visando a produção de biodiesel.** Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica de São Paulo. Departamento de Engenharia Química, 302p. São Paulo. 2007

NUNES, C. A. **Tecnologia de óleos e gorduras para engenharia de alimentos** Lavras: Ed. UFLA, 2013. 69 p.

OLIVEIRA, R. P. P. **Simulação e Análise da Influência dos Parâmetros do Processo de Obtenção do Gás de Síntese Utilizando o Software Aspen HYSYS.** 2021. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Química - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2021.

OLIVEIRA, S. **Estudo das unidades de desgomagem e neutralização**. 2012. 85 f. Dissertação de Mestrado – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012.

OLUGBENGA, A. G., AL-MHANNA, N. M., YAHYA, M. D., AFOLABI, E. A., & OLA, M. K. Validation of the Molar Flow Rates of Oil and Gas in Three-Phase Separators Using Aspen HYSYS. **Processes**, 9(2), 327. 2021

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

PETROBRÁS. **Ficha de informação de segurança de produto químico – FISPQ. HEXANO BR**. Rev-09/2019. Disponível em:< <https://www.vibraenergia.com.br/sites/default/files/pdfs/fispq-quim-sol-alif-hexano-br.pdf> > Acesso em: 15 out. 2021

POTRICH, E. **Modelagem, simulação e análise técnico-econômica-ambiental do processo de extração de óleo de soja por hexano e etanol e da produção de biodiesel**. Tese - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, São Paulo. 2019

ROSA, G. O. **Modelagem e Análise do Processo de Degomagem no Refino de Óleo de Soja**. 2012. 105 p. Dissertação - Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá.

SARTORI, M. Saiba quais são as maiores empresas de Ponta Grossa. **DC Mais**, Ponta Grossa, 05 de outubro de 2021. Disponível em:< <https://dcmiais.com.br/ponta-grossa/saiba-quais-sao-as-maiores-empresas-de-ponta-grossa/> > Acesso em 25 nov. 2021

SILVA, L.A., GONÇALVES, A.L.S, MARCIONILIO, S.M.L.O., ALVES, F.S.C. Otimização do processo de degomagem no refino de óleo de soja vegetal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA. **Anais**. Rio Grande do Norte: Natal. Disponível em:< <http://www.abq.org.br/cbq/2014/trabalhos/9/4674-15977.html> > Acesso em 31 mai. 2022

SOARES, M.S. **Processamento de óleo de soja utilizando ultrafiltração em miscela na etapa de degomagem e na obtenção de lecitina**. Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, São Paulo, 2004.

SOTELO, C. FAVELA-CONTRERAS, A., RAMIREZ-MENDOZA, R. A., BELTRAN-CARBAJAL, F., CRUZ, E., & SOTELO, D. Rigorous Dynamic Simulation of a Dehydration and Desalting Crude Oil Unit Using Aspen HYSYS. **International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM)**, v. 20, n. 2, 2021

STEINKE G. **Síntese enzimática de ésteres metílicos a partir de óleo de soja bruto**. 85 fls. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - PPGCTAL, Laranjeiras do Sul, PR, 2018.

TAKAKURA, A. K. **Simulação do processo contínuo de produção e purificação de Biodiesel de óleo de palma bruto**. Belém, 2011.96 fl. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2009

TRAZZI, G. L. M. **Simulação e avaliação termodinâmica de sistemas de refrigeração com injeção de vapor e tanque flash com o uso de misturas refrigerantes**. 2017. 98 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 2017 Disponível em:< <https://repositorio.fei.edu.br/handle/FEI/54>>. Acesso em: 24 nov. 2021.

USDA – United States Department of Agriculture. **World Food and Agriculture-Statistical Yearbook 2020**. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).Roma 2020.

VIEIRA FILHO, F.C., PEREIRA, C.A.S., YOSHI, H.C.M H., ANDRADE, C.M.G, LIMA, O.C.M. Modelagem e Simulação no Processo de Refino de Óleo de Soja na Etapa de Neutralização. In: **III Simpósio Paranaense de Modelagem, Simulação e Controle de Processos**, 3., 2018, Curitiba.