

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
QUÍMICA

MODELAGEM E ANÁLISE DO PROCESSO
DE DEGOMAGEM NO REFINO DE ÓLEO DE
SOJA

Gerusa de Oliveira Rosa

Orientadores: Prof.Dr.Cid Marcos Gonçalves Andrade

Prof. Dr. Paulo Roberto Paraíso

Coorientador: Prof.Dr.Luiz Mario Matos Jorge

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**MODELAGEM E ANÁLISE DO PROCESSO
DE DEGOMAGEM NO REFINO DE ÓLEO DE
SOJA**

Gerusa de Oliveira Rosa

Engenheira de Produção, UEM, 2006

Orientadores: Prof.Dr.Cid Marcos Gonçalves Andrade

Prof. Dr. Paulo Roberto Paraíso

Coorientador: Prof.Dr.Luiz Mario Matos Jorge

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, para a obtenção do título de Mestrado em Engenharia Química.

MARINGÁ – PR - BRASIL

Julho de 2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

R788m Rosa, Gerusa de Oliveira
Modelagem e análise do processo de degomagem no refino de óleo de soja / Gerusa de Oliveira Rosa. -- Maringá, 2012.
105 f. : il. color., figs., tabs.

Orientadores: Prof. Dr. Cid Marcos Gonçalves Andrade, Prof. Dr. Paulo Roberto Paraiso,
Coorientador: Prof. Dr. Luiz Mario Matos Jorge.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, 2012.

1. Degomagem - Óleo de soja. 2. Óleo de soja - Degomagem - Simulação. 3. Óleo de soja - Degomagem - Modelagem. I. Andrade, Cid Marcos Gonçalves, orient. II. Paraiso, Paulo Roberto, orient. III. Jorge, Luiz Mario Matos, coorient. IV. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Tecnologia. Departamento de Engenharia Química. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. V. Título.

CDD 21.ed. 660.284

GVS-001912

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Esta é a versão final da Dissertação de Mestrado apresentada por Gerusa de Oliveira Rosa perante a Comissão Julgadora do Curso de Mestrado em Engenharia Química em 27 de junho de 2012.

COMISSÃO JULGADORA



Prof. Dr. Paulo Roberto Paraiso
Orientador



Profª Drª Gianini Regina Luz
Membro



Prof. Dr. Marcos de Souza
Membro

*Ao meu esposo Roberto Ferreira
Augusto com todo meu amor.*

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos a aqueles que em mim acreditaram e contribuíram para a realização deste trabalho:

Primeiramente a Deus que concedeu pela sua honra e glória essa oportunidade;

Aos meus orientadores Paulo Paraíso e Cid Marcos pela ajuda, apoio e compreensão;

Ao professor Luiz Mario Jorge pela ajuda e compreensão;

A equipe produção da Refinaria pela ajuda na coleta de dados.

Ao meu esposo pela paciência e compreensão.

A minha mãe e meu pai pelo incentivo.

“Deficiências podem ser usadas como desculpas, ou consideradas degraus a ser galgado rumo a uma meta estabelecida.”

Napolean Hil

MODELAGEM E ANÁLISE DO PROCESSO DE DEGOMAGEM NO REFIN DE ÓLEO DE SOJA

AUTOR: GERUSA DE OLIVEIRA ROSA

ORIENTADORES: PROF. Dr. CID MARCOS GONÇALVES ANDRADE.

PROF. Dr. PAULO ROBERTO PARAÍSO

Tese de Mestrado; Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química;

Universidade Estadual de Maringá; Av. Colombo 5790, Bloco E-46 - 09, CEP 87020-900, Maringá – PR, Brasil, defendida em 27 de Julho de 2012.

RESUMO

A produção de óleo de soja é um importante setor do agronegócio mundial. O Brasil é um grande produtor mundial deste produto, todavia, enfrenta grande concorrência no mercado internacional de outros países produtores. Para ser competitivo neste mercado, é necessário atuar intensivamente para produzir óleo com qualidade e baixo custo operacional. No processo industrial, a degomagem garante a separação das gomas presentes no óleo de soja. Este trabalho tem como principal objetivo modelar e analisar a operação industrial de degomagem a fim de possibilitar a redução de perdas operacionais e a geração de óleo de melhor qualidade. Para tanto, foi realizado um estudo do processo para verificar a influência das variáveis e parâmetros envolvidos na degomagem. Em seguida, foi desenvolvido o modelo matemático do processo que foi convalidado com dados operacionais da indústria. Além disso, diversas simulações desta operação foram aplicadas com o intuito de verificar as melhores condições do processo. Os resultados obtidos foram satisfatórios e o modelo desenvolvido representou bem o processo da degomagem.

Palavras-chave: degomagem, simulação, óleo de soja.

MODELING AND ANALYSIS OF THE DEGUMMING PROCESS SOYBEAN OIL REFINING**AUTHOR: GERUSA DE OLIVEIRA ROSA****SUPERVISORS: PROF. Dr. CID MARCOS GONÇALVES ANDRADE.****PROF. Dr. PAULO ROBERTO PARAÍSO**

Master Thesis; Chemical Engineering Graduate Program; State University of Maringá; Av. Colombo, 5790, BL E46 – 09; CEP: 87020-900 – Maringá – PR, Brazil, presented on July 27, 2012.

ABSTRACT

The soybean oil production is an essential worldwide agribusiness sector. Brazil is a greater world producer of this product, but this country faces a powerful competition in the international market of other producing countries. To be competitive in this market, it is necessary to work intensively to produce oil with high quality and low operating cost. In industrial process, the degumming guarantees the separation of the gums present in the soybean oil. This paper has as principal aim to model and analyze the industrial degumming operation to enable the reduction of operational losses and the generation of a better quality of oil. To reach this objective, a detailed study of the process to check the influence of variables and parameters involved in degumming was made. Afterwards, the mathematical model of the process has been validated with operational data in the industry. Moreover, several simulations of this operation were conducted to determine the best conditions of the process. The results were satisfactory and the model developed represented well the degumming process.

Key words: degumming, simulation, soybean oil.

Sumário

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
9.1 ESTRUTURA DO TRABALHO	3
9.2 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO.....	4
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 ASPECTOS GERAIS	5
2.2 A SOJA.....	5
2.3 COMPOSIÇÃO DO GRÃO DE SOJA.....	6
2.4 EXTRAÇÃO DO ÓLEO BRUTO DE SOJA	9
2.5 REFINO DE ÓLEO DE SOJA.....	13
2.5.1 Definição do Óleo de Soja.....	15
2.5.2 Processo Industrial.....	20
2.5.3 Degomagem.....	22
2.5.4 Lecitina.....	32
2.5.5 Neutralização.....	34
2.5.6 Branqueamento.....	36
2.5.7 Desodorização	37
2.6 CONCLUSÃO SOBRE O CAPÍTULO 2	37
3. MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1 MATERIAIS	39
3.1.1 Equipamento industrial.....	39
3.1.2 Aparato utilizado no laboratório.....	40
3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS EXPERIMENTAIS NA INDÚSTRIA.....	42
3.2.1 Coleta e Preparação das Amostras	42

3.2.2	Influência da Vazão de Entrada e água adicionada para hidratação no processo de degomagem	42
3.2.3	Influência da variação de temperatura.....	44
3.2.4	Influência da avaliação de Densidade e Viscosidade	44
3.2.5	Influência da variação de Pressão no equipamento	45
3.3	ANÁLISES REALIZADAS.....	45
3.3.1	Umidade	45
3.3.2	Fósforo.....	46
3.3.3	Impurezas	48
3.3.4	Determinação de Sabões.....	49
3.3.5	Análise de Arraste de Óleo.....	50
3.3.6	Análise de Determinação da Viscosidade do Óleo Bruto e Lecitina de Soja	
	51	
3.3.7	Análise de Determinação da Densidade do Óleo Bruto e Lecitina de Soja- Método Intercit In. Adaptado	52
4.	MODELAGEM MATEMÁTICA.....	53
4.1	BALANÇO DE FORÇAS NA CENTRIFUGAÇÃO DO ÓLEO BRUTO DE SOJA	
	53	
4.2	BALANÇO DE MASSA NA CENTRIFUGAÇÃO DO ÓLEO BRUTO DE SOJA.....	59
5.	RESULTADOS E DISCUSÃO	62
5.1	COMPOSIÇÃO DAS CORRENTES	62
5.1.1	Condições da Corrente de Entrada – Óleo Bruto	62
5.1.2	Condições da Corrente de Óleo Degomado	63
5.1.3	Condições da Corrente de Goma (Lecitina)	63
5.2	INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DE ÁGUA PARA HIDRATAÇÃO.....	64
5.3	ANÁLISE DA VAZÃO EM RELAÇÃO À QUALIDADE DO PRODUTO FINAL	
	65	
5.4	INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO PROCESSO DE SEPARAÇÃO.....	66
5.5	RESULTADOS DA VARIAÇÃO DE PRESSÃO	70
6.	SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE DEGOMAGEM DO ÓLEO BRUTO DE SOJA.....	72

6.1	CONVALIDAÇÃO DO MODELO PROPOSTO.....	72
6.2	SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE DEGOMAGEM	75
7.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	82
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

Lista de Figuras

FIGURA 1 - ETAPAS DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO POR SOLVENTE.	10
FIGURA 2 – SISTEMA COMPLETO DE EXTRAÇÃO COM SOLVENTE	13
FIGURA 3 - DIAGRAMA DE UM PROCESSO DE REFINO DE ÓLEO DE SOJA CONVENCIONAL..	15
FIGURA 5 – INSTALAÇÃO DE DEGOMAGEM COM ÁGUA.	26
FIGURA 6 - PROCESSO DE DEGOMAGEM ÁCIDA SIMPLES.	27
FIGURA 7 - DEGOMAGEM ESPECIAL DA ALFA LAVAL.....	28
FIGURA 8 - TOP DEGOMAGEM.	29
FIGURA 9 - DIAGRAMA DO FLUXO DO PROCESSO DE SUPER-UNI DEGOMAGEM.	30
FIGURA 10 - DEGOMAGEM POR ULTRAFILTRAÇÃO.....	31
FIGURA 11 - CENTRÍFUGA COM TAMBOR DE DISCO.	40
FIGURA 12- CENTRÍFUGA MTD III PLUS.	41
FIGURA 13 - VISCOSÍMETRO- DV- II + VISCOMETER BROOKFIELD.	41
FIGURA 14 – PONTO DE COLETA DE LECITINA.....	43
FIGURA 15 – PONTO DE COLETA DE ÓLEO DEGOMADO.....	44
FIGURA 16 – ESQUEMA DE DEGOMAGEM NO LABORATÓRIO	44
FIGURA 17- PADRÃO DE UM ESPAÇO DE SEPARAÇÃO INDIVIDUAL ENTRE DOIS DISCOS. ...	58
FIGURA 18 – PROCESSO DE SEPARAÇÃO BINÁRIO	59
FIGURA 19 – COMPORTAMENTO DO ARRASTE DE ÓLEO NA LECITINA EM FUNÇÃO DA QUANTIDADE DE ÁGUA DOSADA NA HIDRATAÇÃO.	65
FIGURA 20 - COMPORTAMENTO DA QUALIDADE DO ÓLEO BRUTO E DEGOMADO DOS EXPERIMENTOS.	66
FIGURA 21 – COMPORTAMENTO DA SEPARAÇÃO DO FÓSFORO EM RELAÇÃO À TEMPERATURA.	67
FIGURA 22 – DEPENDÊNCIA DA VISCOSIDADE DO ÓLEO HIDRATADO COM A TEMPERATURA.	68
FIGURA 23 – DEPENDÊNCIA DA MASSA ESPECÍFICA DO ÓLEO HIDRATADO COM A TEMPERATURA.	68
FIGURA 24 – DEPENDÊNCIA DA VISCOSIDADE DA LECITINA COM A TEMPERATURA.....	69
FIGURA 25 – DEPENDÊNCIA DA DENSIDADE DA LECITINA COM A TEMPERATURA.....	69
FIGURA 26 – COMPORTAMENTO DA VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO E A TEMPERATURA	70
FIGURA 27 - VARIAÇÃO DA CONTRA PRESSÃO EM RELAÇÃO AO ÓLEO ARRASTADO.	71
FIGURA 28 - MODELO SIMULADO FRENTE AOS DADOS EXPERIMENTAIS PARA A CORRENTE DE SAÍDA DO ÓLEO DEGOMADO.....	72
FIGURA 29 - MODELO SIMULADO FRENTE AOS DADOS EXPERIMENTAIS PARA A CORRENTE DE SAÍDA DA LECITINA.....	73
FIGURA 30 - MODELO SIMULADO FRENTE AOS DADOS EXPERIMENTAIS.....	74
FIGURA 31 - MODELO AJUSTADO E SIMULADO FRENTE AOS DADOS EXPERIMENTAIS.....	75
FIGURA 32 – ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA FRAÇÃO DE ÓLEO ARRASTADO EM RELAÇÃO AO FATOR DE CORTE E A FRAÇÃO DE ÓLEO NA ENTRADA.....	76
FIGURA 33 - ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA FRAÇÃO DE PURIFICAÇÃO DO ÓLEO EM RELAÇÃO AO FATOR DE CORTE E A FRAÇÃO DE ÓLEO NA ENTRADA.....	77

FIGURA 34 - ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO ÓLEO ARRASTADO - MODELO NÃO AJUSTADO.....	78
FIGURA 35 - ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO ÓLEO DEGOMADO - MODELO NÃO AJUSTADO.....	78
FIGURA 36 - ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO ARRASTE DE ÓLEO EM RELAÇÃO AO FATOR DE SEPARAÇÃO E O FATOR DE CORTE.....	79
FIGURA 37 – ANÁLISE DE PURIFICAÇÃO DO ÓLEO DEGOMADO EM RELAÇÃO AO FATOR DE SEPARAÇÃO E AO FATOR DE CORTE.....	80

Lista de Tabelas

TABELA 1 – COMPOSIÇÃO TÍPICA DO GRÃO DE SOJA.	7
TABELA 2- COMPOSIÇÃO MÉDIA DOS AMINOÁCIDOS CONTIDOS NAS PROTEÍNAS DA SOJA.	8
TABELA 3 – CARACTERÍSTICAS DE QUALIDADE DO ÓLEO DE SOJA: BRUTO (ÚNICO), DEGOMADO (TIPOS 1, 2,3) E REFINADO (TIPOS 1 E 2).	16
TABELA 4 – COMPOSIÇÃO MÉDIA DO ÓLEO BRUTO E REFINADO.	16
TABELA 5 – REPRESENTAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO ÓLEO DE SOJA.	20
TABELA 6 – VELOCIDADE RELATIVA DE HIDRATAÇÃO DE DIFERENTES FOSFOLÍPIDIOS A 80°C.	23
TABELA 7 - CONDIÇÕES DE DEGOMAGEM NA LITERATURA.	25
TABELA 8 - COMPONENTES DA LECITINA DE SOJA.	33
TABELA 9 - GORDURAS ÁCIDAS DA LECITINA.	33
TABELA 10 - USOS E FUNÇÕES DE FOSFOLÍPIDIOS.	34
TABELA 11 - COMPOSTOS ABSORVIDOS NO BRANQUEAMENTO.	36
TABELA 12 – ESCALA DE FATORES PARA DIFERENTES CENTRÍFUGAS.	58
TABELA 13 - CARACTERÍSTICA DO ÓLEO BRUTO NA CORRENTE DE ENTRADA.	62
TABELA 14 - CARACTERÍSTICAS DA SAÍDA DE ÓLEO DEGOMADO DA CENTRÍFUGA.	63
TABELA 15 - CARACTERÍSTICAS DA CORRENTE DE SAÍDA LECITINA.	64
TABELA 16 – DADOS EXPERIMENTAIS FRENTE AOS DADOS SIMULADOS PARA AS CORRENTES DE SAÍDA DO PROCESSO DE DEGOMAGEM DE ÓLEO DE SOJA.	73
TABELA 17 – CORREÇÃO DO FATOR DE SEPARAÇÃO.	74

1. INTRODUÇÃO

1.1 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA

É possível observar que o Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja, estando atrás apenas dos Estados Unidos. Na Safra 2009/2010, a cultura ocupou uma área de 23,6 milhões de hectares, o que totalizou uma produção de 68,7 milhões de toneladas, sendo auto-suficiente na produção da soja e seus principais produtos. Sendo assim, o óleo vegetal e o farelo abasteceram o mercado interno e ainda enviaram o excedente ao mercado externo (MAPA, 2011).

Em uma projeção para 2020, segundo Abiove (2011), a América Latina será a maior responsável pelo crescimento da oferta mundial, contribuindo com o que corresponde à aproximadamente 45 milhões de toneladas. Neste contexto, o Brasil será o país responsável pela maior parcela do crescimento, com expectativas de produção de 25 milhões de toneladas de soja.

Neste passo, a industrialização de oleaginosas constitui-se num dos mais importantes setores do sistema agroindustrial pela importância de seus produtos nas indústrias siderúrgicas, de cosméticos e da matéria prima no processamento de alimentos para o consumo humano. Neste setor, inclui-se a industrialização da soja, a qual passando pelo processo de extração obtém-se como principais produtos o farelo e o óleo de soja.

Nota-se que das empresas brasileiras nos últimos dez anos, as mais representativas do sistema produtivo da soja, como o grupo André Maggi e a Caramuru Alimentos, sob a pressão competitiva das corporações globais, como Bunge, Cargil ADM e Louis Dreyfus, realizaram investimentos de capacidade produtiva, diversificação da produção integrada de grão e refinamento de soja (WILKINSON et al, 2009).

Destaca-se que a operação industrial de obtenção do óleo de soja em grande escala normalmente utiliza solvente orgânico para a extração do óleo presente na semente. O solvente é separado do óleo. Desta forma, como este óleo ainda contém substâncias inadequadas para o consumo humano o mesmo passa por várias operações de refino. Erickson (2000) assevera que o refino de óleo de soja possui a finalidade de eliminar as impurezas solúveis no óleo a fim de adquirir melhores padrões de qualidade no sabor, aparência e estabilidade, merecendo como consequência a aceitação do consumidor.

Dentre as operações de refino existe a degomagem, que segundo Dijkstra (1989), possui a função de produzir um óleo livre de gomas, as quais implicam resíduos indesejáveis, principalmente no transporte e armazenamento do óleo.

No que tange à operacionalização efetiva da degomagem, vê-se que esta exige adição expressiva de água ao óleo que forma uma emulsão. Este material passa por um processo de separação em centrífugas que gera duas correntes. Uma corrente é denominada de óleo degomado e a outra corrente é formada pelas gomas também designada industrialmente de lecitina. Ao concretizar esta operação de separação, ocorre um consumo elevado de água e energia. Além disso, prevalece a preocupação constante com a qualidade do óleo degomado. Portanto, é fundamental que a degomagem opere nas melhores condições com o intuito de reduzir o consumo de água, de energia e aperfeiçoar os parâmetros de qualidade do óleo.

Certamente, vários pesquisadores desenvolveram estudos relacionados à indústria de óleo de soja para estabelecer as melhores condições operacionais dos processos com o propósito de minimizar os custos e melhorar a qualidade do produto. Com efeito, Kemper (1998) publicou um trabalho que quantificava as perdas de solvente na indústria de óleo de soja, e ainda Kemper (2000) apresenta um trabalho com inovações para a redução do consumo de energia no Dessolventizador-Tostador. Paraíso (2001) desenvolveu um estudo em que modela e analisa as principais operações de obtenção do óleo bruto para a redução de custos operacionais do processo, e também Oliveira (2001) expôs um trabalho com o escopo de otimizar a clarificação do óleo no refino.

1.2 OBJETIVOS

- 2 Este trabalho tem como objetivo geral contribuir para os estudos de refino de óleo de soja, explorando por meio de simulações o processo de degomagem, com o foco na identificação e quantificação das perdas que ocorrem no processo.
- 3 Os objetivos específicos são:
- 4 - Estudar experimentalmente os parâmetros que afetam as perdas indesejáveis do arraste do óleo decorrente do processo de centrifugação e a qualidade do produto final;
- 5 - Levantar dados operacionais da indústria;

- 6 - Desenvolver um modelo matemático para o processo de degomagem do óleo que confere a separação das gomas que seja compatível com os dados experimentais obtidos nos ensaios;
- 7 - Validar o modelo com dados industriais;
- 8 - Avaliar o processo por meio de simulação matemática.
- 9

Este trabalho tem como objetivo geral contribuir para os estudos de refino de óleo de soja, explorando por meio de simulações o processo de degomagem, com o foco na identificação e quantificação das perdas que ocorrem no processo.

Os objetivos específicos são:

- Estudar experimentalmente os parâmetros que afetam as perdas indesejáveis do arraste do óleo decorrente do processo de centrifugação e a qualidade do produto final
- Levantar dados operacionais da indústria.
- Desenvolver um modelo matemático para o processo degomagem do óleo que confere a separação das gomas, que seja compatível com os dados experimentais obtidos nos ensaios.
- Validar o modelo com dados industriais.
- Avaliar o processo por meio de simulação matemática.

9.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho encontra-se dividido em 7 capítulos. O presente capítulo aborda a introdução, bem como as principais contribuições do estudo.

O capítulo 2 apresenta, por meio de uma revisão bibliográfica, os temas tratados nesta dissertação, como a composição da soja e do óleo de soja; o processo de extração do óleo bruto de soja e o refino de óleo de soja, com ênfase a degomagem por hidratação.

No capítulo 3 são apresentados os materiais utilizados na indústria e no laboratório para a coleta de dados; as metodologias analíticas para caracterização das correntes de entrada e saída do processo; os experimentos realizados com variações de parâmetros como dosagem de água, variação de pressão e temperatura;

No capítulo 4 os modelos matemáticos propostos de balanço de massa e forças.

O capítulo 5 apresenta os resultados e discussão dos experimentos e das análises realizadas.

No capítulo 6 consta a convalidação do modelo matemático proposto e a simulação do processo.

O capítulo 7 aborda as conclusões do trabalho obtidas a partir dos resultados mais relevantes. Também são apresentadas e considerações para trabalho futuros.

9.2 PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho visa contribuir cientificamente com análise e simulação do processo de refino de óleo de soja, em específico a degomagem, de um modo geral, pouco citado na literatura, porém importante para indústria de óleo de soja.

A modelagem desenvolvida poderá ser utilizada como ferramenta de melhoria do processo de degomagem, bem como auxiliar nas análises e obtenção de informações rápidas sobre o processo.

Analisando as dificuldades técnicas e econômicas deste ramo da indústria é que se decidiu trabalhar ferramentas de análise com objetivo de propor melhorias ao processo de degomagem, pois segundo Wilkinson (2009) competição na indústria global de soja elegeu a China como o território de maior atração para investimentos, tanto em aumento de escala de produção como em diversificação da produção, ampliando seu escopo para farelo e óleo de soja. Logo, a indústria brasileira deverá cada vez mais aperfeiçoar seus processos com objetivos de melhorar a qualidade e reduzir os custos para que o produto se mantenha competitivo no mercado interno e externo.

A seguir, no próximo capítulo, será feita uma revisão bibliográfica com o intuito de abranger alguns processos no contexto da industrialização de óleo de soja, bem como colocar conceitos das técnicas e matérias envolvidos no processo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ASPECTOS GERAIS

Neste capítulo, será apresentada uma revisão da literatura, com uma abordagem dos aspectos de toda a cadeia produtiva do óleo de soja. A ênfase da revisão encontra-se no processo de refino com foco na importância da etapa de degomagem, na busca de diminuição de custos operacionais, que é de notável interesse da indústria de óleo de soja.

A revisão bibliográfica elaborada engloba as principais características da soja e as operações envolvidas na obtenção de óleo bruto e refinado de soja.

Erickson (1980) disciplina que o óleo de soja é um dos óleos vegetais mais produzidos no mundo devido, além de sua excelente qualidade e baixo custo. Razões por esta dominância incluem fatores como: características agronômicas favoráveis, retornos razoáveis para produtores e processadores, alta qualidade na proteína, ser um óleo comestível e apresentar oferta disponível a preços competitivos.

A produção e a utilização mundial de óleo de soja estão crescendo através do tempo, superando outros óleos, pois sua utilização envolve uma ampla gama de produtos, na qual podem ser citadas frituras, margarinas, emulsificante, entre outros, conforme salienta Gupta (2000).

2.2 A SOJA

É válido lembrar que antigos cultivadores chineses reconheceram o valor para a saúde da soja há mais de 5.000 anos atrás, quando o mítico imperador Shen – Mong declarou ser a primeira das 5 culturas sagradas (INRAM, 2003). A soja detém um longo significado histórico através da introdução das rotas comerciais por mar e terra como Ásia, Japão, Coreia e Sudeste da Ásia. Eventualmente, a soja foi introduzida na Europa pelo Engelbert Karemper, um cientista sueco que forneceu o nome científico, *Glycine Max*, no qual *Glycine* significa meio gentil e *max* se refere aos grandes nódulos da planta do grão de soja.

Pouzet (2000) destaca que o uso da soja por parte do homem remonta desde o século XV antes de Cristo. Contudo, começou-se a cultivá-la em níveis internacionais

durante o século XX, quando as sementes foram introduzidas nos Estados Unidos para serem moídas em nível industrial. Posteriormente, foram incorporadas na Europa e no Sul da América.

De extrema importância para o agronegócio brasileiro, a soja foi inserida no Brasil em 1908, inicialmente na Região de São Paulo, por imigrantes japoneses. Teve sua cultura iniciada no Rio Grande do Sul, por volta de 1914. Entretanto, o maior desenvolvimento do cultivo desta leguminosa no estado gaúcho é da década de 1970, segundo Amaral et al (2006).

Neste sentido, os Estados Unidos, o Brasil e a Argentina participam com 80% da produção e 90% da comercialização mundial da soja. No Brasil, a partir dos anos 80 a cultura da soja deixou de se concentrar apenas no Centro- Sul e expandiu-se para as regiões Centro- Oeste, assim consolidando a cultura da soja como um dos setores mais influentes do agronegócio brasileiro.

2.3 COMPOSIÇÃO DO GRÃO DE SOJA

O alto teor de proteína da soja proporciona múltiplas utilizações e a formação de um complexo industrial destinado ao seu processamento. De acordo com Hammond et al. (2005), as variações na composição do grão são afetadas por vários fatores ambientais e geográficos.

A semente da soja em média possui 40% de proteínas, 20% de lipídios (óleo), 5% de minerais, 17% celulose e hemicelulose, 7% de açúcares como glicose, frutose e sacarose, 5% de fibras brutas e 8% dos oligossacarídeos como rafinose e estaquiose (ERICKSON, 1980). A média da composição do grão de soja avaliado nos Estados Unidos se encontra na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 – Composição Típica do grão de soja.

Composição Típica (wt% +- std.dev.) do grão de soja (base seca)	
Proteína	40,69 +- 0,51
Lisina	2,56 +- 0,11
Metionina	0,57 +- 0,03
Cisteína	0,72 +- 0,06
Triptofano	0,52 +- 0,05
Threonina	1,54 +- 0,07
Oléo	21,34 +- 0,64
Cinzas	4,56 +- 0,34
Carboidratos	29,4 +- 3,24

Fonte: Adaptado- HAMMOND et al.(2005)

As definições dos principais componentes do grão de soja estão descritas nos tópicos abaixo.

Proteínas

As proteínas da soja são constituídas principalmente de globulinas (as quais representam 90% do total das proteínas e 36% do peso da semente). A presença da lipoxigenase é decisiva para a qualidade e estabilidade do óleo de soja e também para o sabor dos produtos derivados da soja em geral. As proteínas são compostas por aminoácidos, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2- Composição média dos aminoácidos contidos nas proteínas da soja.

Aminoácidos	Porcentagem média(%)
Alanina	4,2
Arginina	7,5
Ácido Aspartico	12,6
Cistina	2,2
Metionina	2,0
Histidina	2,7
Isoleucina	4,2
Leucina	6,9
Glicina	4,1
Ácido Glutânico	18,9
Fenilalanina	5,3
Prolina	4,9
Lisina	5,8
Serina	4,8
Treonina	4,0
Triptofano	1,3
Tirosina	3,9
Valina	4,6

Fonte: Adaptado - ERICKSON (1995) apud CUSTÓDIO (2003)

Carboidratos

Os grãos de soja contêm carboidratos em sua estrutura (representam aproximadamente 10% do peso), principalmente açúcares solúveis e uma pequena quantidade de amido (menos de 3% do peso da semente).

Segundo Inran (2003), carboidratos solúveis são compostos de dissacarídeos e oligossacarídeos (sucrose, rafinose, estáquiase), com quantia de traços localizados de monossacarídeos (glucose e arabiose).

A soja contém aproximadamente 35% de carboidratos, e a soja descascada e sua farinha contém cerca de 17% solúveis e 21% de carboidratos insolúveis (PERKINS, 1995).

Óleo

O conteúdo total de lipídios varia entre 18 a 23 %. O óleo contém 88,1% de lipídios neutros que consistem principalmente de triglicerídeos acompanhados de pequenas proporções de ácidos graxos livres e esteróis. Cerca de 9,8% do óleo é composto de fosfolipídios e 1,6% de glucolipídios.

Os principais componentes dos lipídios neutros, fosfolipídios e glucolipídios são os ácidos palmítico, oléico e linoléico.

Tocoferóis

Os tocoferóis representam a vitamina E presente no óleo de soja. A vitamina E é um dos mais importantes antioxidantes biológicos lipossolúveis. A vitamina E é extremamente significativa, sendo produzida para ser adicionada à ração animal, na fabricação de produtos farmacêuticos, no setor de alimentos e no setor de cosméticos.

DORSA (2004) esclarece que a vitamina E foi reportada no início dos anos 20, e era associada com esterilidade e reprodução, sendo válido ressaltar que a palavra grega “tocoferol” significa “responsável pela reprodução”.

Minerais e Elementos

As cinzas correspondem a cerca de 5% do grão de soja seco. O maior peso está atribuído aos sulfatos, fosfatos, carbonatos e oxigênio presentes. Fatores como variedades, localização do crescimento e irão influenciar no conteúdo de minerais no grão de soja.

2.4 EXTRAÇÃO DO ÓLEO BRUTO DE SOJA

A produção do óleo bruto de soja basicamente era realizada através da prensagem mecânica e extração, no entanto o constante aperfeiçoamento da técnica de extração de óleo é marcado pela busca do aumento da capacidade, com simplificação do sistema de trabalho, visando melhor qualidade e atenuação do custo.

Paraíso (2001) afirma que o processo de obtenção do óleo está relacionado com a extração de lipídios das sementes vegetais, tendo como métodos comumente empregados a prensagem, a extração por solvente ou o misto dos dois processos. No

caso do uso de prensas de alta pressão, apesar de ser bastante flexível para operação de diversas oleaginosas, este processo está totalmente ultrapassado, já que nunca deixa um residual muito alto de óleo na torta (4 a 5%), além de consumir muita energia.

O processo de extração a base de solvente é composto das seguintes etapas: a preparação do grão, a extração, a destilação da miscela (recuperação do solvente da mistura óleo/solvente), a dessolventização do farelo (recuperação do solvente do farelo), a recuperação do solvente da saída do ar e a separação do solvente e água. O material empregado atualmente é a hexana com ponto de ebulição próxima 70°C, sendo que a soja a ser extraída é previamente triturada e laminada para facilitar a penetração do solvente.

Uma planta convencional de extração de óleos vegetais por solvente é constituída pelos processos representados na Figura 1:

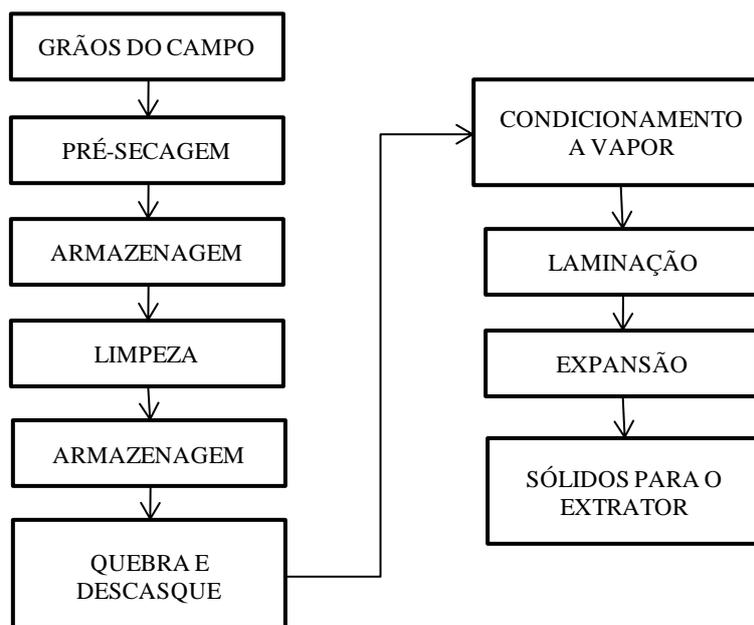


Figura 1 - Etapas do processo de extração por solvente.

Fonte: Adaptado- REZENDE (1998) apud CUSTÓDIO (2003)

Conforme apresentado na Figura 1, o processo de extração apresenta um preparo inicial, no qual são de notável importância os controles da umidade e da temperatura do material estocado. Geralmente, antes do beneficiamento da soja, os grãos são secos até um teor de 13% de umidade e armazenados em um período de 1 a 5 dias para que a umidade do grão entre em equilíbrio.

Acasio (2005) enfatiza que a umidade é talvez o principal fator que afeta o armazenamento da soja, pois, a soja com um teor de umidade maior que 13% deve ser seca para minimizar o risco de deterioração causada pela respiração da semente, o ataque do mofo, o aquecimento espontâneo e a germinação.

Quando se recebem grãos muito úmidos, devido às chuvas na época da colheita, torna-se necessário a re-secagem, ou seja, o grão seco novamente fica armazenado em silos verticais durante um determinado período para que se tenha uma migração da umidade para superfície do grão e se estabilize. Em seguida, o grão é novamente seco. (DORSA 2004).

Outro fator de nobre importância, não só para a qualidade do produto, mas também para a conservação da matéria-prima é a limpeza da soja. Nesta etapa, convém retirar materiais que podem contaminar os produtos ou até mesmo limitar a capacidade de extração.

Os materiais estranhos são geralmente removidos duas vezes, primeiro para o armazenamento e novamente antes das sementes entrarem no processo contínuo. Os materiais estranhos removidos consistem na combinação de sementes de ervas daninhas, gravetos, vagens, poeira, terra, pedra e pedaços de metais.

De acordo com Moretto & Fet (1986) a pré- limpeza antes do armazenamento diminui o risco de deterioração da soja e evita o uso indevido do espaço útil do silo.

Na etapa de preparação, a soja passa inicialmente por moinhos quebradores, no qual é reduzida, na primeira passagem a ½ grão e na segunda passagem a ¼ de grão. Quando se deseja a produção de um farelo de alto teor proteico, é efetuada a separação das cascas entre a primeira e segunda quebra, através de separadores por aspiração do tipo cascata (DORSA 2004).

As sementes quebradas são acondicionadas em cozinhadores a 70°C. Posteriormente são laminadas a uma espessura de aproximadamente 0,3 mm, sendo proveitoso lembrar que o termo “distorção de lâmina” é mais apropriado para esta operação, porque a maioria das células se rompe, liberando a grande parte do óleo e facilitando o processo de extração (ONG, 2005).

A etapa de laminação, segundo Moretto & Fett (1986), facilita o rompimento do tecido e das paredes da célula, restringindo a distância entre o centro da semente e sua superfície, maximizando assim a superfície de saída de óleo.

Kemper (2005) constata que a maioria dos materiais oleoginosos é expandida antes da extração por solvente. A expansão distorce a estrutura celular do material e diminui a distância que o solvente necessita para chegar ao óleo que está na célula do material oleoginoso.

A expansão do grão é realizada com a utilização de um expensor de grão, baseado no equipamento da Andersen. De acordo com Brueske (2000) os *expander* funcionam mediante uma combinação de pressão e vapor na torta formando *pellets* porosos. Estes *pellets*, geralmente são conhecidos como *collet*, os quais tornam o processo de extração mais fácil.

O extrator é o aparelho, no processo de extração com solvente, no qual a fração de óleo do material oleaginoso é separado a partir da fração de alimentação do material oleaginoso por dissolução da fração de óleo num solvente. (KEMPER, 2005)

Como resultado, a extração consiste em dois processos: um deles, o rápido e fácil, que é o de “dissolução” e o mais demorado, o qual depende da “difusão” de óleo e solvente através da parede celular semipermeável. A solução de óleo no solvente é chamada “miscela”, sendo o fator que define a velocidade da extração, ou seja, é a obtenção do equilíbrio no sistema óleo-miscela-solvente (MORETTO & FETT, 1986).

Nota-se que para a correta extração é necessária a quantidade satisfatória de solvente limpo para manter a concentração da miscela suficientemente baixa. Isso proporcionará retirar a maior quantidade de óleo em cada etapa da extração e conseguir um bom contato e penetração, de maneira que o solvente entre em contato com o óleo e seja capaz de extrair as partículas da matéria, bem como possa dispor do tempo hábil para permitir que tenha lugar o processo de difusão. (BRUESKE,2000)

Dorsa (2004) corrobora que os extratores mais comuns são do tipo esteira contínua, com ou sem caçambas (Lurgi, De Smet, Crown), ou do tipo Rotocel/Carrossel (EMI, Krup, French).

Após o processo de extração, a miscela concentrada passa por uma unidade de destilação para remoção dos finos, na qual o óleo é separado sob vácuo e aquecimento. O hexano residual é dividido por evaporadores tubulares aquecidos a vapor. O conteúdo de solvente pode ser reduzido até cerca de 5%, à temperatura de 70 a 90°C (MORETTO & FETT ,1986).

Uma série de países exigem exames analíticos quanto ao armazenamento do óleo, que determinam o “ponto de fulgor”, sendo uma forma de referência segura para a característica de um óleo. Por exemplo, o ponto de fulgor de um óleo extraído na Alemanha não deverá ser abaixo de 150°C.

Para possibilitar o uso do farelo de soja é necessário eliminar todo o hexano absorvido, tostar o farelo para reduzir sua atividade ureática, resfriá-lo e estabilizar sua

umidade em torno de 12%. Este processo é chamado de dessolventização e tostagem do farelo.

Observa que a principal causa da perda de hexano no processo de extração de óleo ocorre a partir da mistura incondensável formada entre seus vapores e o ar. A recuperação do solvente existente nesta mistura acontece em uma unidade de condensação formada por condensadores tubulares resfriados ou em instalações modernas, por colunas de adsorção com óleo mineral.

A Figura 2 apresenta um sistema completo de extração com solvente.

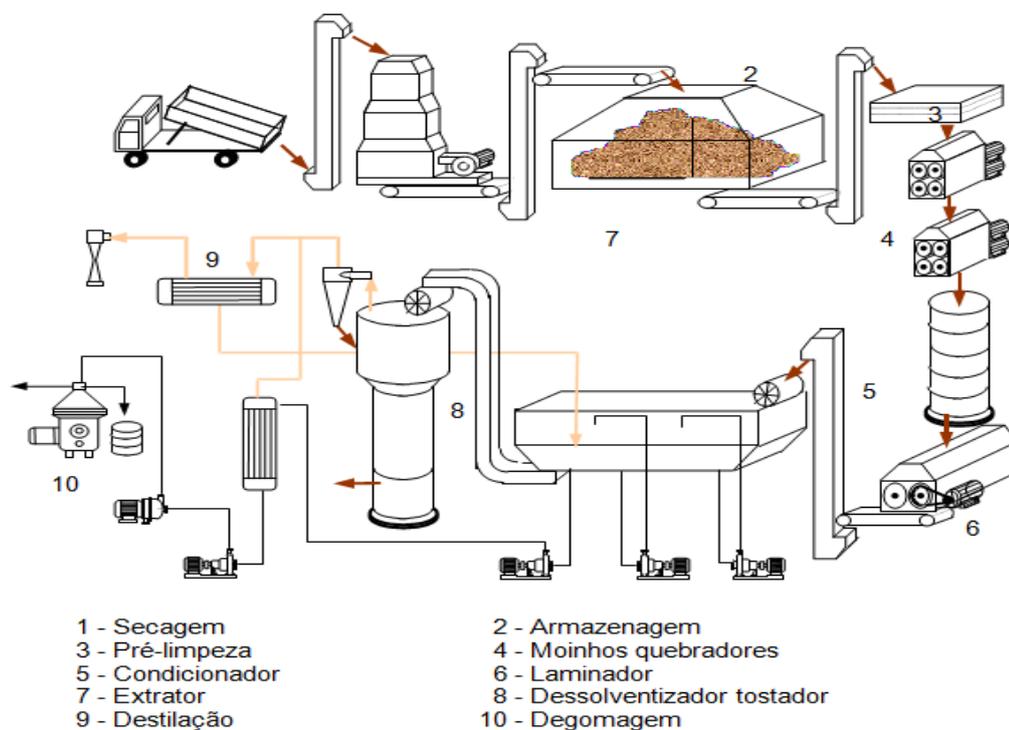


Figura 2 – Sistema completo de extração com solvente

Fonte: Adaptado – DORSA (2004)

2.5 REFINO DE ÓLEO DE SOJA

Dijkstra (2000) identifica que o refino de óleos comestíveis tem como objetivo eliminar impurezas indesejáveis que afetam o sabor, o aroma, a aparência e a capacidade de armazenamento.

Segundo Moretto e Fett (1986) os componentes que devem ser removidos são:

- Substâncias coloidais, proteínas, fosfatídeos e produtos de sua decomposição;

- Ácidos graxos livres e seus sais, ácidos graxos oxidados, lactonas, acetais e polímeros;

- Substâncias voláteis, tais como hidrocarbonetos, alcoóis, aldeídos, cetonas e ésteres de baixo peso molecular;

- Substâncias inorgânicos tais como os sais de cálcio e de outros metais silicato, fosfatos e outros;

- Umidade.

A finalidade do refino é apartar as impurezas solúveis no óleo, caracterizando-se como indispensável para conseguir sabor, aparência e estabilidade aceitáveis pelo consumidor. (ERICKSON 2000)

As operações unitárias envolvidas na purificação do óleo de soja são: Degomagem, Neutralização, Branqueamento e Desodorização. Os fosfatídeos e complexos metálicos são eliminados na degomagem. Os ácidos graxos livres são retirados na neutralização. Durante o branqueamento os produtos de oxidação são eliminados, juntamente com traços de gomas e sabões que restaram da neutralização.

A etapa final de desodorização serve para suprimir os ácidos graxos livres que restaram das etapas anteriores, além de alguns pigmentos residuais, sabores e odores indesejáveis. Dentre todas as substâncias que foram extintas durante o processo, existem aquelas que são desejáveis que permanecem, pois sua presença valoriza o produto, tais como as vitaminas lipossolúveis e os tocoferóis, que são substâncias antioxidantes, as quais protegem o óleo contra a deterioração por oxidação.

A Figura 3 apresenta o fluxograma básico do processo de refino.

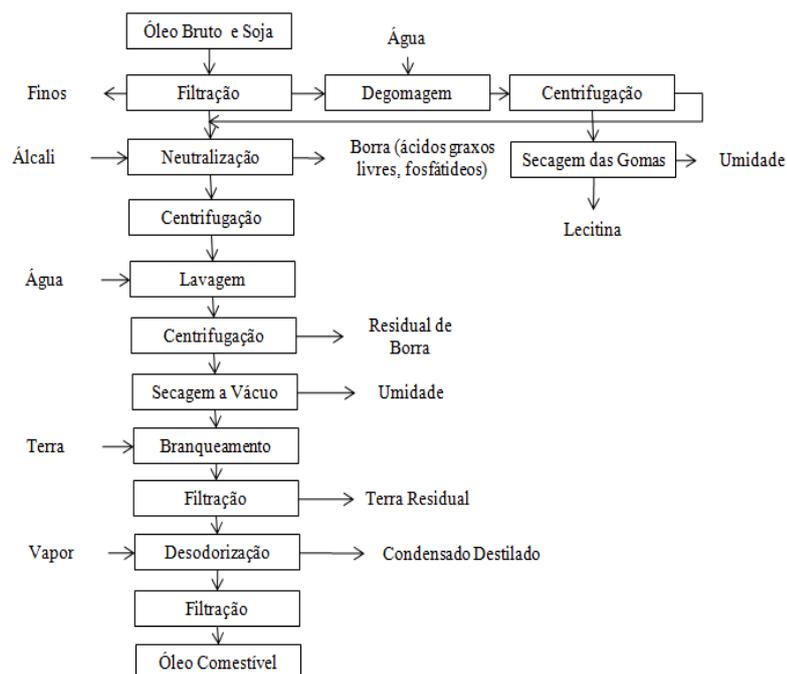


Figura 3 - Diagrama de um processo de refino de óleo de soja convencional.

Fonte: Adaptado de HAMMOND et al. (2005).

2.5.1 Definição do Óleo de Soja

De acordo com a Portaria n. 795, de 15 de dezembro de 1993 do Ministério da Agricultura, do Abastecimento e Reforma Agrária, “óleo de soja é o produto obtido por prensagem mecânica e/ou extração por solvente, dos grãos de soja (*Glucine max. L Merril*), isento de misturas de outros óleos, gorduras ou outras matérias estranhas ao produto” (BRASIL,1993).

A mesma portaria classifica o óleo de soja segundo o seu grau de elaboração:

- Bruto ou cru: é o óleo tal qual foi extraído do grão;
- Degomado ou purificado: é o óleo que, após sua extração, teve extraído os fosfolipídeos;
- Refinado: é o óleo que, após sua extração e degomagem, foi neutralizado, clarificado e desodorizado.

As principais características de qualidade do óleo referente a está portaria constam na Tabela 4.

Tabela 3 – Características de qualidade do óleo de soja: bruto (único), degomado (tipos 1, 2,3) e refinado (tipos 1 e 2).

Características de Qualidade						
Parâmetro analisado	Refinado (tipo)		Degomado (tipo)			Bruto
	1	2	1	2	3	Único
Apecto a 25°C	*1	*1	*1	*3	*4	turvo
Propriedades Organolépticas	* 2	* 2	–	–	–	–
Umidade e voláteis(máx.)(%)	0,03	0,06	0,2	0,3	0,5	0,5
Lecitina expressa em fósforo (máx.)(%)	–	–	0,02	0,02	0,03	0,1
Acidez Livre (FFA) expressa em ácido oléico	0,03	0,06	0,5	1	1,5	2
Ponto de fulgor (mín.)(°C)	–	–	121	121	121	–
Ponto de fumaça (mín.)(°C)	230	218	–	–	–	–
Matéria insaponificável (máx.)(%)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Índice de peróxido (máx.)(meq/Kg de óleo)	2,5	5	–	–	–	–
Sabões (máx.)(ppm)	1	10	–	–	–	–
Impurezas (ins. em éter de Petróleo (%))	0,03	0,05	0,1	0,1	0,1	0,5

*1- límpido, isento de sedimento.

*2- odor e sabor característico do produto isento de ranço odores e sabores estranhos.

*3- límpido, ligeiramente turvo, isento de sedimentos.

*4- límpido, ligeiramente turvo.

Fonte: Adaptado - Portaria nº795 do Ministério da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária.

As composições dos óleos de soja brutos e refinados são apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 – Composição média do óleo bruto e refinado.

Componentes	Óleo Bruto	Óleo Refinado
Triglicerídios (%)	95-97	>99
Fosfatídios (%)	1,5 – 2,5	0,003 – 0,045
Insaponificáveis(%)	1,6	0,3
Esteróis (%)	0,33	0,13
Tocoferóis (%)	0,15 – 0,21	0,11 – 0,18
Hidrocarbonetos (%)	0,014	0,01
Ácidos graxos livres (%)	0,3 – 0,7	< 0,05
Resíduos de metais		
Ferro (ppm)	1 a 3	0.1 - 0.3

Cobre (ppm)	0,03 – 0,05	0,02 – 0,06
-------------	-------------	-------------

Fonte: Adaptado – ERICKSON (1980).

De acordo com Erickson (1980), o óleo de soja tem muitas vantagens e desvantagens quando comparadas a outros óleos vegetais.

Entre as vantagens citadas pelo autor acima tem-se:

- Alto nível de insaturação.
- O óleo permanece líquido mesmo com oscilações relativamente grandes de temperatura.
- Pode ser seletivamente hidrogenado.
- Os fosfatídeos, restos de metais e sabões podem ser removidos sem muita dificuldade para obter um produto de alta estabilidade.
- A presença de antioxidantes naturais (tocoferóis), os quais não são completamente eliminados durante o processamento, também contribui para a sua estabilidade.

As desvantagens segundo Erickson (1980):

- Os fosfatídeos se encontram presentes em quantidades relativamente altas (superiores a 2%) e devem ser eliminados no processamento.
- O óleo de soja contém níveis relativamente altos (7 – 8%) de ácido linoléico que é responsável pela reversão do seu sabor e odor. Algumas destas desvantagens são contestadas visto que as “gommas” recuperadas constituem uma fonte de obtenção de lecitina comercial e por meio de hidrogenação seletiva e parcial do óleo, a concentração do ácido linoléico pode ser reduzida a menos de 3% dando como resultado aumento da estabilidade. A partir da extração do óleo bruto da semente de soja, o produto para ser utilizado na fabricação de óleo de cozinha, por exemplo, precisa passar por um refinamento para ganhar estabilidade, se tornar puro e nutritivo. A parte sólida extraída do processo de extração é destinada à alimentação de animais como aves, suínos e gado de corte.

Ácidos Graxos

Os ácidos graxos são os ácidos carboxílicos encontrados na forma esterificada nos lipídios naturais. Os ácidos graxos de números ímpares e carbono são encontrados, por exemplo, na gordura do cabelo humano. Os ácidos graxos podem ser saturados, monoinsaturados, poliinsaturados. As insaturações variam na posição e na composição das duplas ligações (FRÉ, 2009).

Para Scrimgeour (2005), os ácidos são ácidos graxos de cadeia quase inteiramente retas carboxílicas alifáticas. A definição mais ampla inclui todos os comprimentos de cadeia, mas a maioria de ácidos gordos naturais tem C4 a C22, C18 como formas mais comuns.

Os ácidos graxos de “saturados” são os que possuem todos os átomos de carbono da cadeia hidrocarbonada ligados aos pelo menos dois átomos de hidrogênio. Por outro lado, quando uma ou mais duplas ligações, gerando carbonos ligados a um só átomo de hidrogênio eles são chamados ácidos “insaturados” (MORETTO & FETT, 1986).

Do ponto de vista metabólico e mesmo patológico, para Fré (2009), tem sido importante precisar a posição da última dupla ligação dos ácidos graxos. A informação fornecida está associada com grupos ou famílias de ácidos graxos, como exemplo, família ômega-3, ômega-6, ômega- 9 os quais podem apresentar atividades biológicas diferenciadas. A Tabela 5 mostra a composição média dos ácidos graxos e sua variação.

Erickson (1980) ensina que a composição do óleo de soja bruto possui uma grande variação, particularmente pelo tipo de insaturação do ácido graxo, que depende da variedade e das condições climáticas.

Não Glicerídeos

Moretto & Fett (1986) destacam que em todos os óleos e gorduras, encontramos pequenas quantidades de componentes não glicerídeos: os óleos vegetais brutos contêm menos de 5%, nos óleos vegetais refinados, menos de 2%. Na refinação, alguns desses componentes são removidos completamente, outros parcialmente. Aqueles que persistem no óleo acabado, ainda que em traços, podem afetar as características das gorduras devido a alguma propriedade peculiar, como exemplo apresentar ação pró ou antioxidante, ser fortemente odorífero, ter sabor acentuado, ser altamente colorido, entre outros.

Os não glicerídeos que ocorrem com maior frequência são os fosfatídeos no óleo bruto entre 1,1 e 3,1%. O componente fosfatídico do óleo de soja consiste de 20% de lecitinas, 31% de cefalinas e 40% de fosfatil inositol, conforme Fré (2009).

Conforme Moretto & Fett (1986), os esteróis, as ceras e os hidrocarbonetos incolores são não glicerídeos de menor importância para as características dos óleos e gorduras por serem incolores, inodoros, insípidos e relativamente inertes do ponto de vista químico e não emprestam nenhuma propriedade organoléptica.

Sipos e Szuhaj (2000) salientam que a matéria do óleo de soja é composta por vários componentes menores que tem valores comerciais, tais como os fitosteróis e os tocoferóis. Existem no mínimo sete tipos de tocoferóis no óleo de soja, no entanto o que se encontra em maior quantidade é o gama tocoferol. O alfa tocoferol por sua vez possui maior atividade de vitamina E, no entanto o sigma tocoferol funciona melhor como antioxidante.

A composição aproximada dos esteróis no óleo de soja é 52% de Beta – sitosterol, 25% de campesterol e 23% stigmasterol. No caso dos tocoferóis é de aproximadamente de 7,6 % de alfa tocoferol, 1,5% de beta tocoferol, 67,8% de gama tocoferol e 23,6% de sigma tocoferol. Há variações consideráveis entre variedades de plantas e proporção da espécie molecular de esteróis e tocoferóis (HAMMOND et al, 2005).

No grupo dos não glicerídeos são destacados os carotenoides e a clorofila responsáveis pelas colorações dos óleos e gorduras. Os carotenoides são os principais responsáveis pela coloração amarelo/vermelho na maioria dos óleos e gorduras, já a cor esverdeada é devido a clorofila (MORETTO & FETT, 1986).

As propriedades físicas de ácidos graxos podem variar de acordo com o seu comprimento de cadeia, insaturação, outros substituintes e as alterações com a temperatura. Inúmeras tentativas foram feitas para desenvolver equações que predizem estas propriedades. As propriedades do óleo de soja devem refletir seus constituintes e, principalmente, a sua composição em ácidos graxos e propriedades físicas, os quais têm sido frequentemente medidos. (HAMMOND et al, 2005)

Através da Tabela 5 é possível verificar algumas propriedades típicas do óleo de soja.

Tabela 5 – Representação das Propriedades Físicas do Óleo de Soja.

Propriedades	Valor
Gravidade específica, 25 °C	0,9715
Índice de Refração, nD25	1,4728
Refração específica, r20	0,3054
Viscosidade em centipoise 25 °C	50,9
Ponto de solidificação (°C)	-10 a -16
Calor específico (cal/g a 19.7 °C)	0,458
Calor de combustão (cal/g)	9478
Ponto de fumo [°C (°F)]	234 (453)
Ponto de inflamação [°C (°F)]	328 (623)
Ponto de combustão [°C (°F)]	363 (685)

Fonte: Adaptado - SIPOS & SZUHAI (2005)

2.5.2 Processo Industrial

Observa-se que o processo de refino é uma combinação de processos químicos e físicos. Dentre as principais operações, a Neutralização com álcalis é um processo químico, enquanto que os demais são processos físicos, de adsorção no branqueamento e destilação na desodorização.

Pode-se classificar o processo de refino de óleos vegetais em processo de Refino Físico e Processo de Refino Químico, no qual a principal diferença está no processo do refino Físico que se divide em apenas três etapas: degomagem, branqueamento e desodorização. A etapa de neutralização é eliminada e substituída pela destilação dos ácidos graxos livres.

O processo de refino químico é o mais utilizado pelas indústrias no Brasil. Para Erickson (2000), o óleo de soja refinado fisicamente nem sempre apresenta uma vida de prateleira adequada. A incerteza em relação à duração de vida de prateleira provavelmente está relacionada à quantidade de gomas- não hidratáveis que o óleo de soja apresenta.

Segundo Sá (2007), no refino químico, durante a etapa de neutralização dos ácidos graxos livres com soda cáustica, uma quantidade considerável de óleo neutro é saponificada e arrastada com a formação de sabão.

De acordo com Moretto & Fett (1986), a contínua melhora de qualidade dos óleos brutos, com decréscimo de acidez diminui as vantagens do processo físico. Considerando a baixa acidez e a dificuldade de sua satisfatória degomagem, o óleo de soja não parece apresentar uma matéria-prima própria para refinação física.

A refinação química para óleos de baixa acidez como é o caso da soja, normalmente é mais econômica que a refinação física considerando o processo de forma global. (BLOCK, 2000)

A Figura 4 mostra uma comparação entre os dois processos, está incluída a etapa de winterização, no entanto é somente aplicável para óleos que possuem uma grande quantidade de ceras, como o óleo de girassol.

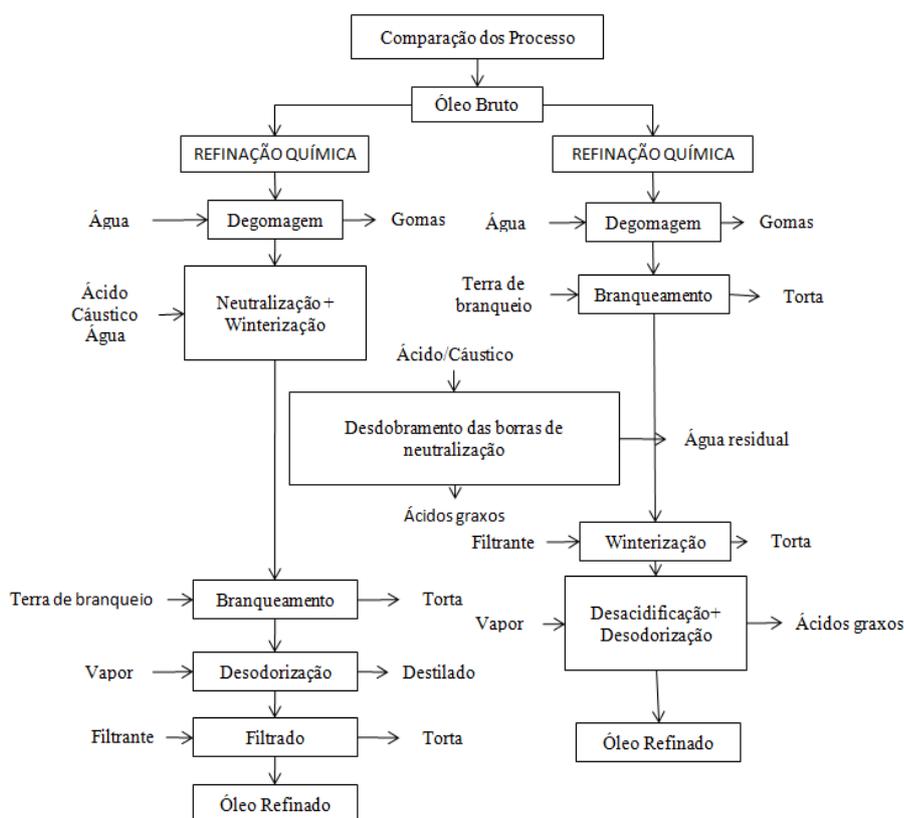


Figura 4 - Comparação dos Processos Químicos e Físicos de Refino

Fonte: Adaptado - EICKHOFF P. K. (2000)

A seguir será detalhada a operação de degomagem.

2.5.3 Degomagem

Anderson (2005) observa as razões para realizar a degomagem de óleos são:

- Fornecer um óleo degomado para longo tempo de estocagem.
- Preparar o óleo para o refino físico e químico.
- Produzir lecitinas.

A degomagem é uma etapa de grande importância no processo de refino, pois nesta etapa as gomas devem ser extraídas pelos seguintes motivos:

- Alto teor de gomas na neutralização leva a uma utilização em excesso de agente neutralizador;

- No processo de refino que trabalha com neutralização simplificada, ocorre hidratação destas gomas provocando o arraste de “óleo virgem” por oclusão baixando o rendimento entre o óleo consumido e o óleo neutralizado;

- Durante a centrifugação na etapa de neutralização, ocorrerá mistura de várias fases, como óleo, sabões, gomas e soda em excesso, o que prejudicará a separação e trará teores altos de sabões.

Medina (1996) salienta que um óleo normal de boa qualidade proveniente de uma extração convencional terá cerca de 90% de fosfatídeos hidratáveis e 10% de fosfatídeos não hidratáveis e seu conteúdo total de fosfatídeos será na faixa de 1,1 a 3,2%. Dorsa (2004) reflete que é necessário prevenir problemas de decantação e formação de um lodo durante a estocagem ou transporte. Esta decantação ocorre devido os fosfatídeos serem higroscópicos e se hidratarem com a umidade do ar.

Analisando os diferentes fosfolipídios presentes no óleo é possível verificar, conforme exposto na Tabela 6 que a fosfatidilcolina (FC) e o fosfadilinositol (FI) possui uma hidratação relativamente rápida. Já os sais de cálcio do ácido fosfatídico (AF) e a fosfadiletanolamina (FE) são parcialmente hidratáveis.

Tabela 6 – Velocidade relativa de hidratação de diferentes fosfolipídios a 80°C.

Fosfolípido	Velocidade hidratação
FC (Fosfatidilcolina)	100
FI (Fosfatidilinositol)	44
FI (Sais de Ca)	24
FE (Fosfatidiletanolamina)	16
FE (Sais de Ca)	1
AF (Ácido Fosfático)	9
AF (Sais e Ca)	0,6

Fontes: Adaptado - DIEZ (2000)

A degomagem é opcional no caso dos óleos, tais como, de amendoim ou babaçu, que contém pequenas quantidades das chamadas “gommas”, mas geralmente é aplicado ao óleo de soja cujo conteúdo de fosfatídeos alcança às vezes 3%. Estes fosfatídeos são facilmente hidratáveis na presença de água e tornam-se insolúveis no óleo o que possibilita sua remoção (MORETTO & FETT, 1986).

Dos componentes do óleo de soja, aproximadamente 2 a 2,5% são fosfolipídios, dentro dos quais incluem as gommas conhecidas comercialmente como lecitina. Apesar de a lecitina representar menos que 0,5% da soja, ela é um dos constituintes mais interessantes e dinâmicos de todos que se encontram presentes, pois a utilização da lecitina em tantos produtos alimentícios e nos alimentos faz com que ela seja um subproduto muito importante da indústria processadora de soja. (SINRAM, 2000)

As especificações de comercialização de óleo de soja degomado são fixas para um limite superior menor que 200 ppm para o fósforo residuais especificados pela NOPA (*National Oilseed Processors Association*), onde em contratos comerciais são previstos aumentos de preço no óleo que excede este limite como forma de compensar as indústrias nas perdas que terão nas etapas de refino.

Os principais métodos de degomagem utilizados pelas indústrias são: com água, ácida, superdegomagem, enzimática e por membranas. Os dois primeiros são os mais usados devidos seu baixo custo de operação e por obter resultados satisfatórios no processo (RIBEIRO *et al.*, 2008).

Degomagem por Hidratação

O objetivo principal da degomagem por hidratação, segundo Dijkstra (2000), é produzir um óleo que não deposite resíduos durante o transporte e armazenagem e cumpra as especificações comerciais sobre as quantidades máximas de fósforo e produza lecitina comercial, visto que apenas 25% das gomas de soja existentes são processadas como lecitina comercial.

De acordo com Erickson (2000), é comum que os processadores alcancem níveis residuais menores que 100 ppm com a degomagem aquosa.

Comumente a operação de degomagem está interligada diretamente com o processo de extração de óleo de soja. Assim o óleo que sai das colunas de destilação, ainda quente, é submetido à operação de hidratação e degomagem.

Conforme List (1989), dois principais métodos são empregados. Nos Estados Unidos é utilizado a degomagem em lotes e nas plantas da Europa é mais comum a degomagem contínua.

A quantidade de água, a temperatura e a eficiência da centrifugação são os fatores que mais influenciam na oclusão do óleo. Santos e Zaneti (1981) ensinam que se utiliza 0,5 a 3% de água normalmente, determinando-se a proporção mais adequada através de ensaios em laboratórios. Em linhas gerais a temperatura de separação situa-se entre 55 e 82°C, sendo mais adequada a centrifugação a 75°C

A condição recomendada para a degomagem de óleo bruto varia muito entre as literaturas conforme exposto na Tabela 7.

A maioria destas condições é aplicável a degomagem em lote que consiste basicamente na adição de 1 a 3% de água ao óleo aquecido e agitação durante 20 a 30 minutos. Formando um precipitado que é removido por centrifugação. A água utilizada no processo possui uma baixa concentração de cálcio e magnésio.

Independente do objetivo da degomagem aquosa, seja produção de lecitina ou óleo degomado, o processo deve controlar a quantidade de água, intensidade e tempo adequado para a centrifugação (ERICKSON, 2000)

A degomagem também pode ser efetuada de maneira contínua onde o óleo é bombeado até um trocador de placas, onde é aquecido à temperatura desejada. O óleo flui ao misturador centrífugo sobre a pressão de uma bomba, que possibilita um contato íntimo entre a água e o óleo. O tempo de hidratação é reduzido há alguns minutos neste processo e a hidratação deve ser da ordem em que as gomas separadas pela centrífuga

tenham 50% de água e 50% de lecitina. A temperatura ótima para este processo está entre 70 a 80°C. A Figura 5 é uma ilustração esquemática de uma instalação de degomagem com água contínua.

List (1989) realça que com o aumento da temperatura na degomagem consegue-se um aumento no conteúdo de insolúveis em acetona (AI), por exemplo, degomando a 40°C, a lecitina contém de 63 a 65% de AI, acima de 60°C ocorre um aumento de 68 a 75%. Logo, a temperatura é um fator que influencia no comportamento dos componentes separados no processo de degomagem, tornando-se uma variável relevante a analisar, pois, se a mesma influência ocorrer no comportamento do óleo arrastado na lecitina, compromete-se o rendimento do processo.

Tabela 7 - Condições de Degomagem na Literatura.

Parâmetros	Quantidades	Referência
Água	75% do peso de gomas	Craumer (1972)
	1-2,5% do peso total	Brian (1976)
	2-3% do peso total	Van Niewenhnyzen (1976)
	3% do peso total	Bernandini (1973)
	1% do peso total	Norris (1964)
	2% do peso total	Carr (1976)
	Igual ao peso das gomas	Braae (1976)
	2-5% do peso total	Andersen (1953)
Temperatura	32-49°C	Norris (1964)
	50-70°C	Van Niewenhuyzen
	65-75°C	Bernadini (1973)
	70°C	Andersen (1973)
Agitação	Vigorosa	Bernadini (1973)
	Agitação Mecânica	Carr (1976)
Tempo	30-60 minutos	Carr (1976)
	10-15 minutos	Braae (1976)

Fonte: Adaptado - LIST, R. (1989)

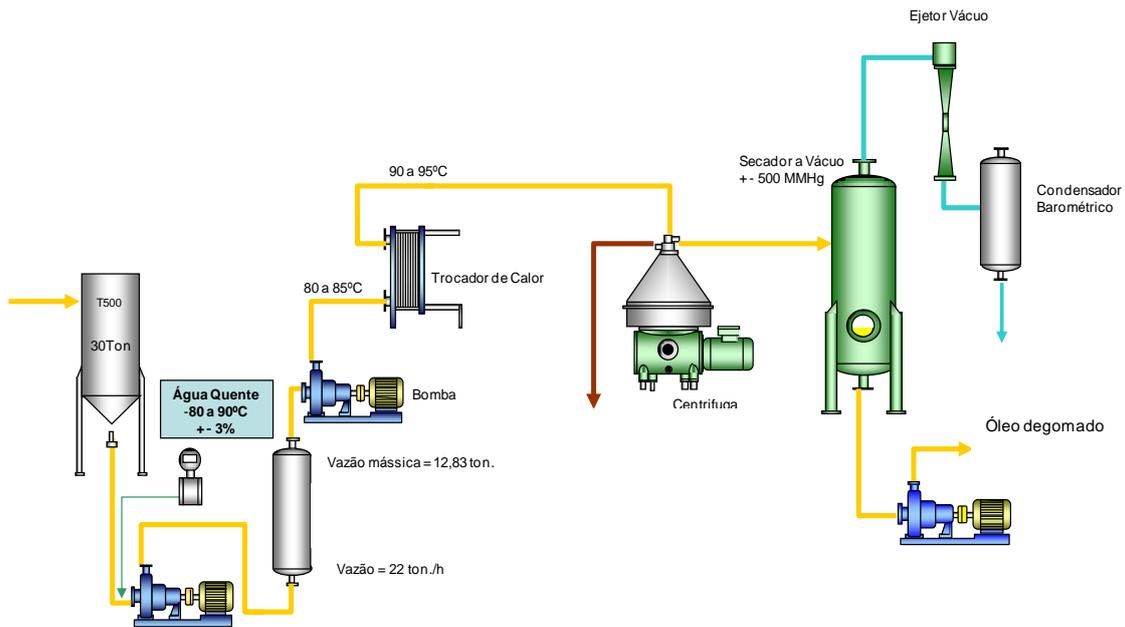


Figura 5 – Instalação de degomagem com água.

Fonte – DORSA (2004)

Degomagem ácida simples

Este processo é realizado quando existe a necessidade de remover os fosfatídeos não hidratáveis, logo é preciso transformar os complexos metálicos e fosfatídeos em sais metálicos insolúveis em óleo e ácido fosfatídico.

De acordo com Dijkstra (2000) o objetivo desta degomagem é decompor os complexos de ácidos fosfatídico e fosfatidil etanolamina com íons bivalentes e convertê-los em ácidos livres, o ácido do degomado deve ser suficiente forte, logo se utiliza sua forma concentrada.

Segundo Givon e Tirtiaux (2000) este processo é realizado aquecendo o óleo bruto a uma temperatura entre 80-90 °C e fazendo uma mistura com ácido fosfórico ou cítrico, e com um tempo de retenção de aproximadamente 5 -20 minutos e então é misturado com um percentual de água de 2-5% antes de enviar para centrifugação, conforme Figura 6.

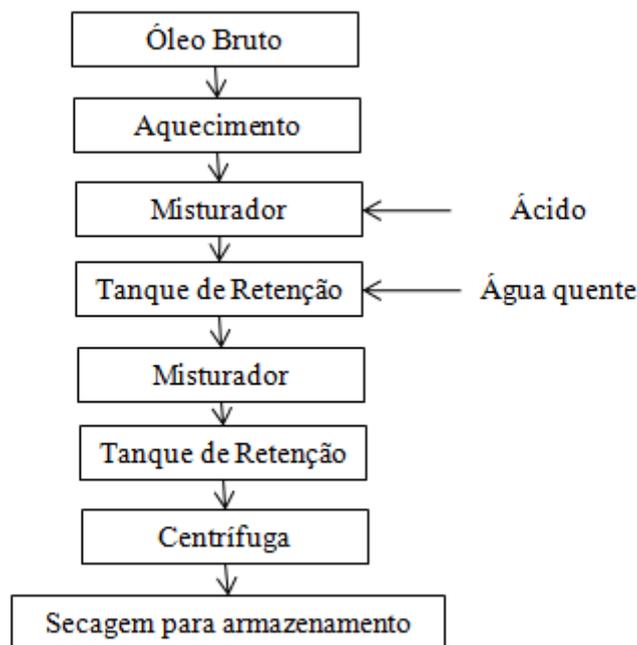


Figura 6 - Processo de degomagem ácida simples.

Fonte: Adaptado - GIVON & TIRTIAUX (2000)

Degomagem Especial

O processo de degomagem especial da Alfa-Laval exposto na Figura 7, também chamado de refinação ácida foi desenvolvido para óleos com altos conteúdos de fosfatídeos como soja e girassol (GIVON & TIRTIAUX, 2000).

Neste processo os fosfatídeos não hidratáveis se decompõem primeiro com um ácido suficientemente concentrado em íons metálicos bivalentes, como cálcio e magnésio. Depois deste tratamento, o ácido fosfatídico e o fosfatidil etanolamina se encontram em sua forma ácida e dissociada (DIKSTRA, 2000).

Portanto, se neutraliza parcialmente com soda cáustica, e posteriormente há uma etapa de hidratação com adição de 2% de água e agitação lenta durante 5- 15 minutos, para permitir a aglomeração dos fosfatídeos. Finalmente, ocorre a centrifugação, obtendo um óleo de 5 a 30 ppm de fósforo, o que depende da qualidade do óleo bruto. (BLOCH, 2000)

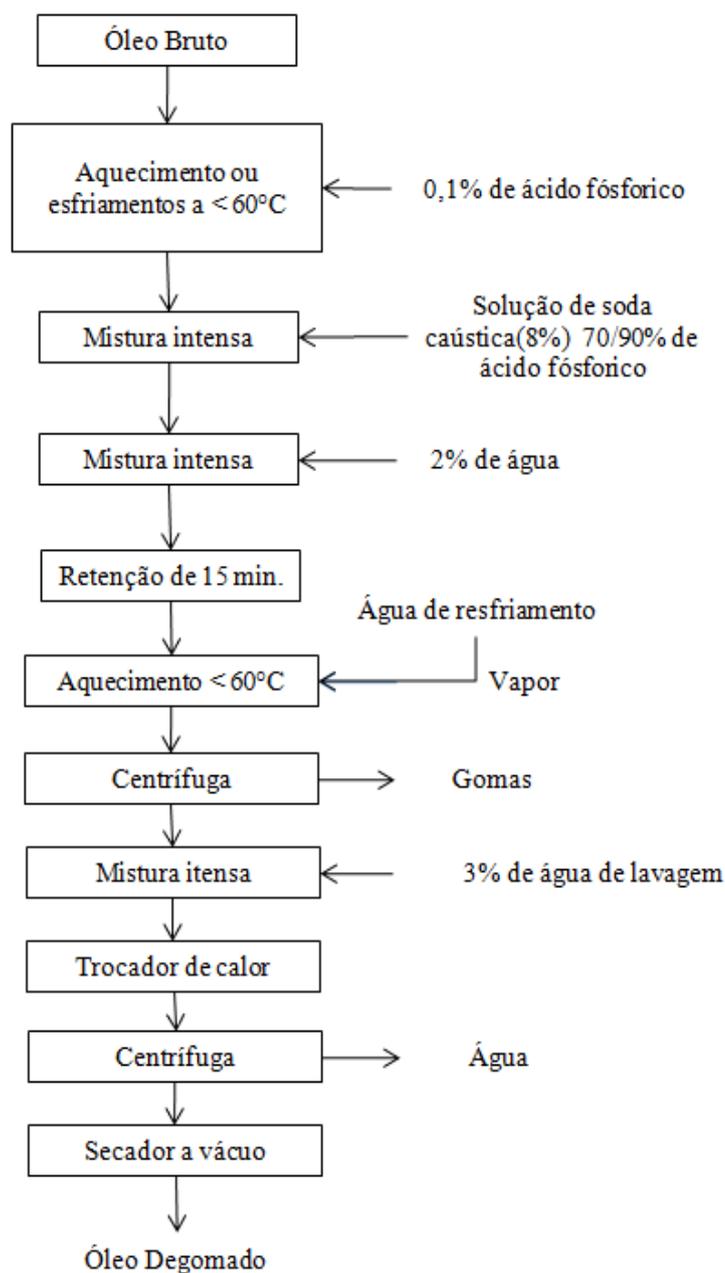


Figura 7 - Degomagem Especial da Alfa Laval.

Fonte: Adaptado - DIEZ (2000).

TOP (Total Degumming Process) Degomagem

No processo de Degomagem TOP o óleo bruto é aquecido de 90-105°C é misturado intensamente com ácido fosfórico, depois de um tempo de retenção de aproximadamente 3 minutos, o ácido fosfórico é parcialmente neutralizado com soda cáustica diluída e os compostos são separados por meio de centrífugas (GIVON e TIRTAUX, 2000). O processo está ilustrado na Figura 8.

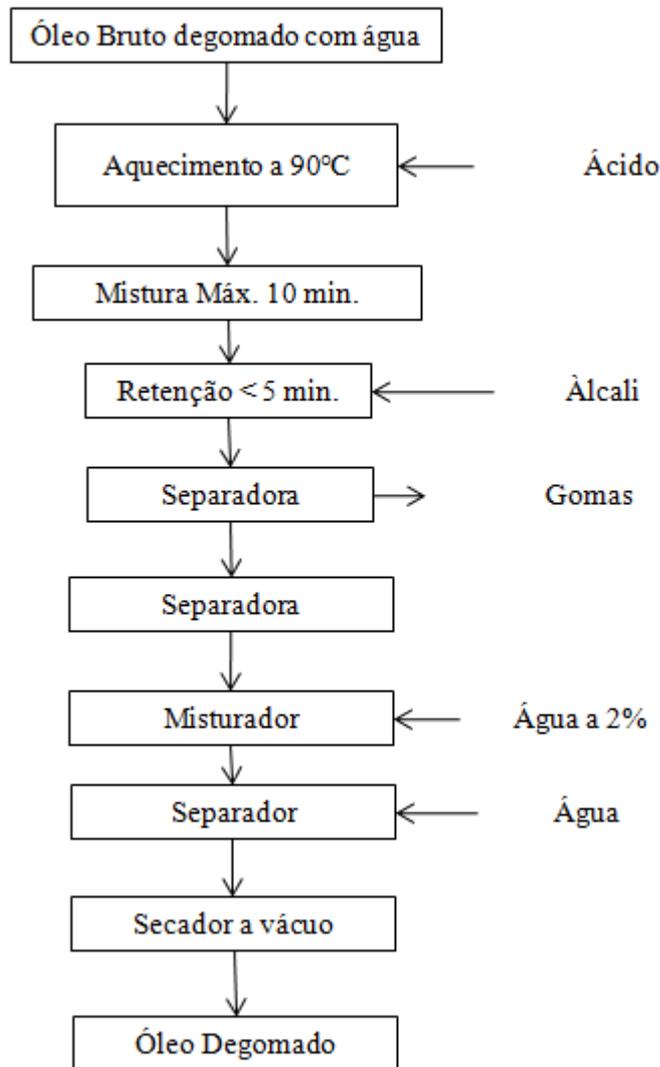


Figura 8 - TOP Degomagem.

Fonte: Adaptado - DIEZ (2000)

Este processo exposto na Figura 8 produz óleo com níveis de fósforo menores de 5 ppm, com alto rendimento, baixos custos e elimina problemas de poluição. O segundo separador, um clarificador, opera de maneira diferente e produz um óleo praticamente sem goma e uma fase de gomas (DIKSTRA 2000).

Super/Uni Degomagem

Dorsa (2004) afirma que estes processos têm as seguintes características:

- Refinação alcalina simplificada com considerável redução na poluição ambiental.

- Mínimo uso de terra clarificante para o refino físico.
- Hidrogenação sem prévio refino.

Na Super-degomagem, o óleo bruto degomado com água é aquecido a 70°C, opcionalmente se adiciona lecitina modificada com o óleo e logo acrescenta uma solução forte de ácido cítrico como ácido de degomagem para decompor os fosfatídeos não hidratáveis (DIKSTRA,2000)

O este processo está exposto na Figura 9.

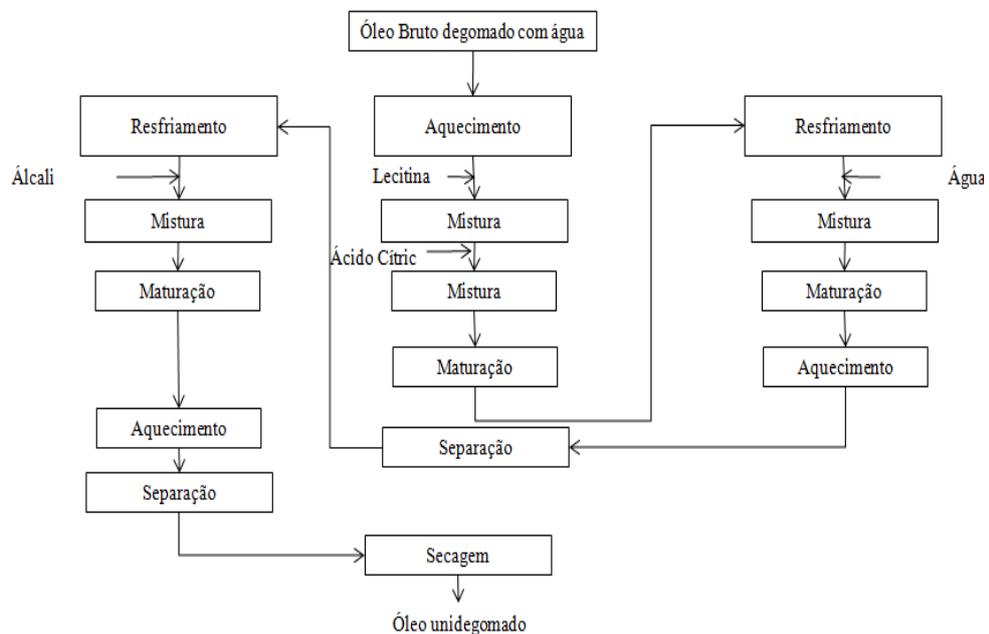


Figura 9 - Diagrama do fluxo do processo de super-uni degomagem.

Fonte: Adaptado – DIJKSTRA (2000).

Degomagem por Ultrafiltração

A degomagem com membrana consiste na formação de uma miscela quando o óleo, rico em fosfolipídios, entra em contato com o hexano. A miscela se separa por ultrafiltração. Na prática é muito inovador o processo, no entanto custoso em termos e custos de inversão inicial e operação e por isso não é adequada à aplicação industrial (GIVON & TIRTIAUX, 2000).

A Figura 10 demonstra o fluxo do processo, e segundo o mesmo autor citado antes o óleo é aquecido e misturado com ácido para acondicionar os fosfatídeos, logo

em seguida é esfriado num tanque de retenção, dosado com um agente de floculação e, se for necessário, se adiciona água ao óleo antes de passar em um misturador no qual as gomas se coagulam. Depois, o óleo é aquecido, centrifugado e eventualmente lavado e centrifugado antes de entrar no branqueamento.

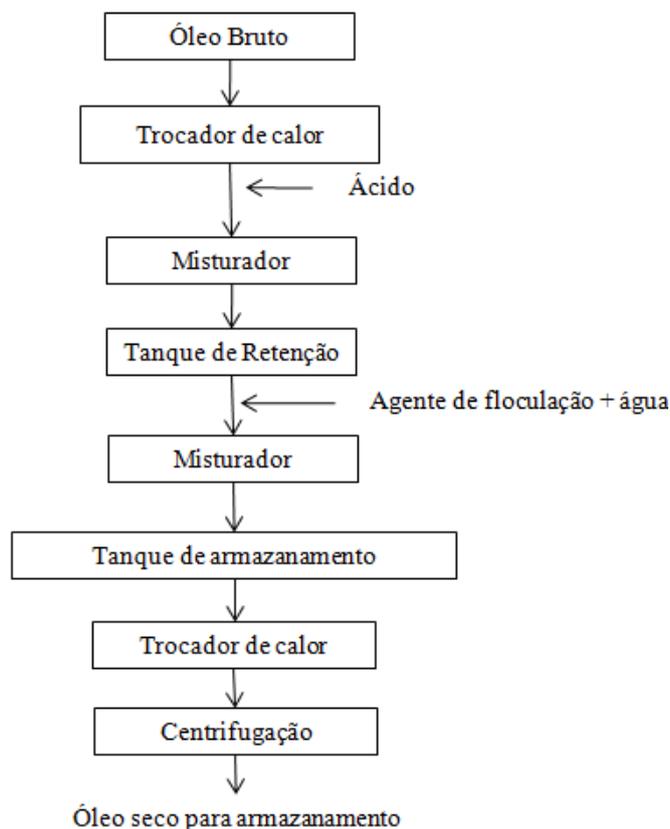


Figura 10 - Degomagem por ultrafiltração

Fonte: Adaptado - GIVON & TIRTIAUX (2000).

Não são encontrados na bibliografia informações sobre os resultados deste processo quanto ao conteúdo final de fósforo, ferro, rendimentos, entre outros (DIEZ 2000).

Degomagem da planta de refino em análise

O processo de degomagem em análise é interligado a uma planta de extração de óleos vegetais por meio da qual envia o óleo para degomagem a uma temperatura média de 98°C. O óleo passa por um tanque onde é adicionado água para hidratação. Após a

hidratação, o óleo passa por uma centrífuga de disco *Alfa Laval* onde ocorre a separação da lecitina, logo o óleo degomado segue para um tanque *flash* para a secagem antes da transferência para o processo de neutralização. Os controles de vazão e hidratação são realizados via sistemas de supervisão.

Dentre todas as etapas descritas anteriormente no processo de degomagem, a centrifugação é a etapa mais importante, pois é nesta operação que ocorre a eliminação dos fosfatídeos hidratáveis. A centrifugação é uma técnica antiga que se caracteriza pela aplicação de forças centrífugas com a intenção de aumentar a velocidade de sedimentação de partículas a serem separadas de uma mistura.

Segundo Foust *et al* (2000), este tipo de centrifugador de discos foi inventado por Del Laval, em 1978, e é usado até desde então com grande generalidade, numa ampla diversidade de aplicações como separação de creme de leite, separação de catalisadores, refinação de óleos, etc.

Para Harten (2000) a centrífuga deve ser utilizada para separar líquidos de densidades diferentes, nos quais são imiscíveis entre si. A mistura de líquido ingressa num tambor rotativo e através de um tubo de alimentação estacionário. A distribuição do mesmo é acelerada a uma velocidade angular e o recipiente envia o óleo bruto hidratado para uma coluna de discos.

Geankoplis (2003) destaca que a fim de intensificar a eficiência de separação, um separador centrífuga opera com vários discos cônicos empilhados. Os discos são espaçados por meio de vedantes que podem ser longos ou curtos: longos vedantes ou vedantes pontos, na maioria dos casos, os discos apresentam furos, que fazem distribuição através de canais através dos quais a alimentação entra na pilha de discos. Para Svarovsky (2000), a alimentação é introduzida através do centro, passa por baixo da pilha de disco girando a uma determinada velocidade angular.

2.5.4 Lecitina

Em 1920 se produziu a primeira lecitina comercial a partir de sedimentos de soja, mas foi em 1930 com a difusão da extração de óleos com solvente e a necessidade de transportar o óleo com estabilidade é que estas gomas começaram a serem produzidas em quantidades suficientes para comercialização. (BRAVERMAM, 2005).

A variação entre os entre as composições dos fosfolipídios e as gorduras ácidas da lecitina estão nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Componentes da Lecitina de Soja.

Componentes	Limites de composição		
	Inferior (%)	Intermediário(%)	Superior(%)
Fosfatidilcolina	12,0 -21,0	29,0-39,0	41,0-46,0
Fosfatidietonalamina	8,0 -9,5	20,0-26,3	31,0-34,0
Fosfatidilinositol	1,7-7,0	13,0-17,5	19,0-21,0
Fosfatidilserina	0,2-1,5	5,0-9,0	14
Lysofosfatidilcolina	0,2	5,9-6,3	-
Lysofosfatidiositol	0,4-1,8	-	-
Lysofosfatidilserina	1	-	-
Ácido Lysofosfatídico	1	-	-
Fitoglicolipídios	-	14,3-15,4	29,6

Fonte: Adaptado- CHERRY & KRAMER (1989).

De acordo com Scheneider (1989), a lecitina é um complexo de mistura de fosfatídeos insolúveis em acetona, combinados com várias quantidades de substâncias como triglicerídeos, gorduras ácidas e carboidratos.

List (1989) salienta que a lecitina da centrifugação contém 25 a 30% de água que deve ser removida rapidamente para evitar um processo de fermentação microbiana. Segundo Sinram (2000), as gomas úmidas requerem um processamento rápido de purificação, pois as mesmas contêm cerca de 40% de umidade e raramente é possível vender gomas úmidas de maneira comercial, devido a sua instabilidade microbiológica.

Tabela 9 - Gorduras Ácidas da Lecitina.

Componentes	Limites de composição		
	Inferior (%)	ntermediário(%)	Superior(%)
Mirísitico	0,3-1,9	-	-
Palmítico	11,7-18,9	21,7-26,7	42,7
Palmitoléico	7,0-8,6	-	-
Esteárico	3,7-4,3	9,3-11,7	-
Oléico	6,8-9,8	17,0-25,1	39,4
Linoléico	17,1-20,0	37,0-40,0	55,0-60,8
Linolênico	1,6	4,0-6,2	9,2
Araquídico	1,4-2,3	-	-

Fonte: Adaptado- CHERRY & KRAMER (1989).

Sob o aspecto de utilização da lecitina de soja podemos segmentar o mercado bem como a sua aplicação e função na Tabela 10.

Tabela 10 - Usos e Funções de Fosfolipídios.

Usos e Funções dos Fosfolipídeos	
Produto	Função
Alimento	
Alimento Instanâneo	Agente umedecedor e dispersante, emulsificante
Panificação	Modificação das propriedades de panificação, emulsificante; antioxidante
Chocolate	Redução da viscosidade; antioxidante
Margarina	Emulsificante, agente antirrespingos; antioxidante
Dietéticos	Suplemento Nutritivo
Nutrientes	
Substituto de leite	Emulsificante; agente umedecedor e dispersante
Indústria	
Inseticidas	Emulsificante; agente dispersante, substância ativa
Tintas	Agente dispersante, estabilizador
Fitas Magnéticas	Agente dispersante, emulsificador
Couro	Agente amaciante, óleo penetrante
Têxtil	Amaciante; Lubrificante
Cosméticos	
Cabelos	Estabilizador de espuma, emoliente
Pele	Emulsificante; emoliente, umectante, umedecedor
Farmacêuticos	
Nutrição parental	Emulsificante
Supositórios	Agente atenuador, veículo
Crems, loções	Emulsificante, facilitador de penetração

Fonte: ERICKSON (1995).

2.5.5 Neutralização

Destaca-se que a neutralização é obtida pelo tratamento do óleo de soja com uma solução aquosa alcalina (mais comumente, hidróxido de sódio) para neutralizar os ácidos graxos livres de um lote ou de um sistema contínuo (HAMMOND *et al*, 2005).

O processo de neutralização visa basicamente a diminuir os ácidos graxos livres, que provocam mau cheiro e desprendimento de gases quando aquecidos. A acidez é um fator que varia com a qualidade da matéria prima, com o tempo de estocagem, com a presença de gomas, que ao fermentarem pela ação de enzimas, acidificam ainda mais o produto. Corantes, indesejáveis e esteróis podem ser removidos.

Para Moretto & Fett (1986), a neutralização ocorre na interface do óleo e solução alcalina. Sendo estas fases não intersolúveis, a neutralização exige uma dispersão de solução alcalina em óleo.

A solução aquosa de NaOH em óleo forma o sistema óleo-água-sabões ou seja, emulsificantes que ocasionam a perda de óleo. Portanto, esta etapa merece atenção porque pode haver a saponificação indesejável de triglicerídeos, conseqüente perda do óleo neutro produzindo mono-glicerídeos e di-glicerídeos (OLIVEIRA, 2001).

A mistura de gomas hidratadas e insolúveis em óleo forma uma pasta denominada de “*sopstock*” (sabões) que pode absorver alguns pigmentos arrastando-os durante a separação do óleo.

O processo de neutralização pode ser do tipo:

1) Descontínuo (Bateladas): Processo ultrapassado, devido à lentidão, alto índices de perdas favorecidas pela arraste do óleo nos sabões e por ser um processo pouco automatizado.

2) Contínuo: O processo de neutralização contínua pode ser do tipo:

a) Químico: soda cáustica, soda cáustica-soda barrilha, neutralização por processo Zenith; refinação física; neutralização em miscela.

b) Físico: Refinação por destilação em corrente de vapor à pressão reduzida.

O processo básico consiste em um aquecimento do óleo até cerca de 90°C, pré-tratamento com ácido fosfórico (85% de concentração) para possibilitar a eliminação de fosfatídeos remanescentes, a neutralização com soda cáustica diluída (16 a 20 °Bé) e separação dos sabões (Dorsa, 2004).

O óleo neutralizado é submetido a duas lavagens com 10-20% de água aquecida à temperatura de 80 – 90°C e novamente à centrifugação, para remover o sabão residual (Moretto & Fett, 1986).

Segundo Amaral *et al* (2006), no processo de neutralização com o método Zenith depois de aquecer o óleo a 95°C, o óleo bruto sobe em forma de gotículas através de uma coluna de solução alcalina diluída, pré-aquecida também a 95°C. O sistema consiste em três unidades, das quais a primeira trata o óleo aquecido com ácido fosfórico, a segunda age como neutralizador, onde o óleo é transformado em gotículas e entra em contato com a solução de hidróxido de sódio por meio de um dispositivo de

alertas, a terceira elimina os traços dos sabões no óleo neutralizado, pela adição de ácido cítrico.

Como subproduto deste processo tem-se a borra de neutralização, separada do óleo neutro em uma centrífuga, conforme citado acima. Para Eickhoff (2000), a borra de neutralização é uma mistura de sais de sódio, ácidos graxos, óleo neutro, água, gomas, álcali livre e outros componentes resultantes da reação entre álcali e várias impurezas no óleo que pode ser separada em ácidos graxos e água ácida, através da adição de ácido sulfúrico em uma instalação à parte.

2.5.6 Branqueamento

Observa-se que o branqueamento destina-se a remoção de compostos coloridos visando obter-se uma cor aceitável dos óleos vegetais. O processo de degomagem já remove certa quantidade de corantes presentes no óleo. A neutralização com álcalis também exibi um efeito branqueador devido à coagulação e ação química (FRÉ, 2009).

Para Mag (2000), o branqueamento é hoje reconhecido como um dos passos mais importante da refinação, compreendendo muito mais que a remoção de pigmentos dos óleos, conforme a Tabela 11.

Tabela 11 - Compostos absorvidos no branqueamento.

Compostos absorvidos no branqueamento
Pigmentos
Carotenóides
Clorofilóides
Outros
Produtos de oxidação primária (decomposição)
Produtos de oxidação secundária
Ferro, níquel
Sabões
Compostos fosfatídicos
Poliaromáticos

Fonte: Adaptado - MAG K. (2000).

Ainda Mag (2000) o branqueamento é efetuado mediante um processo de adsorção. Os materiais polares nos quais estão dissolvidos ou suspensos no óleo em concentrações relativamente baixas são adsorvidos na superfície de um material adsorvente.

A quantidade de terra que é utilizada neste processo depende da qualidade do óleo neutro, e das expectativas do mercado em relação a cor do refinado. Quando se processa o óleo de girassol, quantidades de terra de 0,15 a 0,3% são normais. No caso do óleo de soja a quantidade é normalmente 0,5% (Eichkoff, 2000).

2.5.7 Desodorização

A desodorização é um processo para eliminar substâncias que provocam odores ou sabores indesejáveis ao óleo. Quando se tem estas substâncias contidas no óleo, tem-se um produto final de baixa qualidade conhecido como “rançoso”.

Óleos e gorduras degomados, neutralizados, clarificados e hidrogenados são considerados praticamente como não comestíveis sem a etapa de desodorização. A desodorização é importante porque é uma etapa decisiva nas propriedades sensoriais do óleo refinado (OLIVEIRA, 2001).

A finalidade da desodorização é a remoção das substâncias voláteis que formam sabores e odores não desejados ao óleo. No caso do Refino Físico, os ácidos graxos livres são eliminados em conjunto com as substâncias odoríferas (CAMPRO, 2000).

A desodorização elimina as substâncias indesejáveis do óleo através da destilação, em corrente de vapor, no qual as substâncias voláteis se separam do óleo não volátil.

As etapas do processo de desodorização são constituídas pelas etapas: desaeração, aquecimento, retenção e resfriamento (DORSA, 2004).

2.6 CONCLUSÃO SOBRE O CAPÍTULO 2

A revisão apresentada neste capítulo permite obter as seguintes conclusões:

- a falta de trabalhos mais abrangente sobre alguns assuntos, principalmente no que se refere ao processo de degomagem;
- nas operações envolvidas, principalmente a degomagem, o consumo de água é elevado e ocorre perda de óleo justificando estudos mais aprofundados para minimizar o consumo de água e a perda de óleo.

- o processo de degomagem é importante para manter a qualidade do óleo estocado e proporcionar um processo de refino com menos perda de óleo no arraste dos processos e melhor qualidade.

Nos próximos capítulos a operação de degomagem será mais bem detalhada com finalidade de estabelecer os modelos que serão utilizados na modelagem e análise do processo, bem como os métodos analíticos utilizados para obter a composição das correntes do processo e a avaliação dos parâmetros que influenciam no melhor desempenho na obtenção do óleo degomado.

3. MATÉRIAS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão apresentadas as descrições dos equipamentos e as metodologias utilizadas nos ensaios de degomagem de óleo de soja, realizados na indústria, em escala laboratorial e o modelo proposto.

3.1 MATERIAIS

Nesta seção, serão descritos os equipamentos usados para a degomagem do óleo bruto.

3.1.1 Equipamento industrial

Conforme já descrito anteriormente, para que ocorra a operação de degomagem na indústria é adicionado ao óleo a ser degomado quantidades expressivas de água. A água acrescentada possui a função de contribuir para a hidratação das gomas e a formação de uma mistura que possa ser facilmente separada em duas partes: o óleo degomado e as gomas. Esta separação é realizada por meio de centrífugas, como é mostrado a seguir.

O equipamento industrial típico empregado na separação da mistura mencionada é uma centrífuga de disco da marca Alfa Laval, conforme ilustrado na Figura 11.

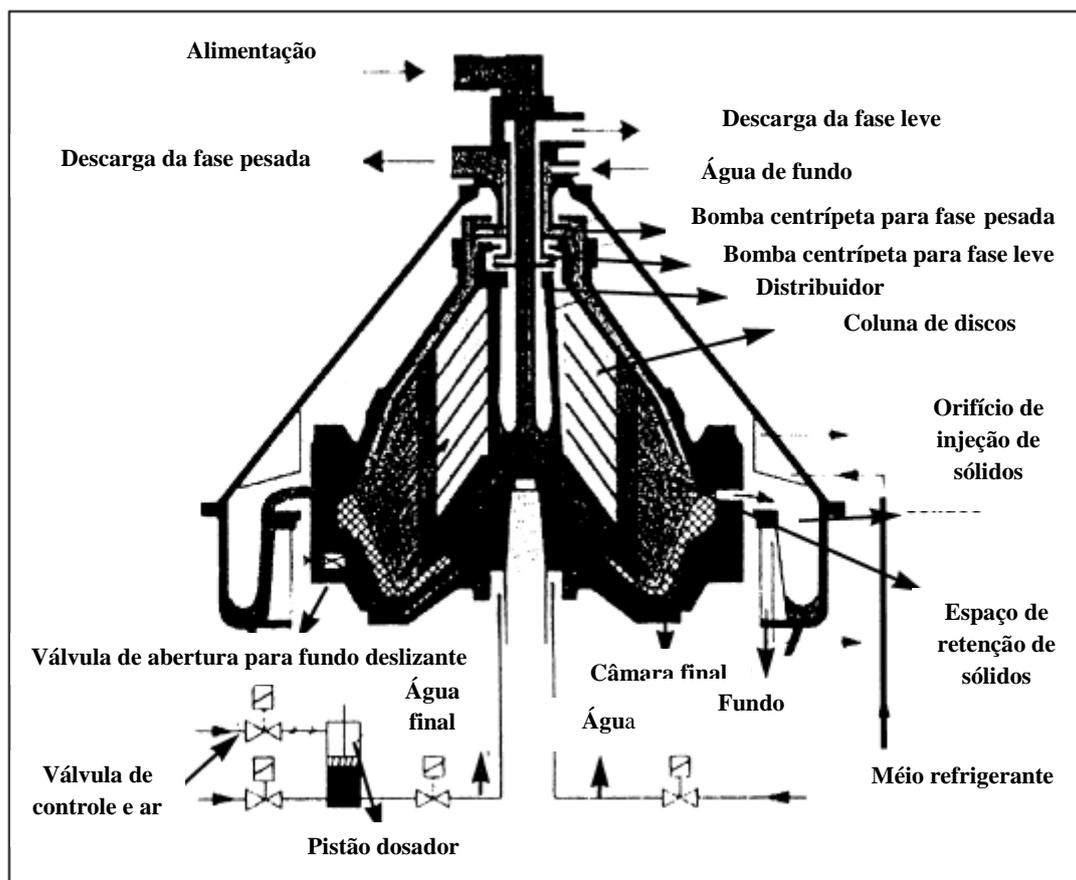


Figura 11 - Centrífuga com tambor de disco.

Fonte: Adaptado- HARTEN (2000).

3.1.2 Aparato utilizado no laboratório

Com o objetivo de simular em laboratório a etapa de degomagem do óleo de soja em condições de variação de temperatura, visto que a planta analisada não permite esta variação, por receber o óleo direto da extração, ensaios foram realizados em grandes quantidades para a coleta de dados. Para este propósito, adotou-se uma centrífuga modelo Mtd III Plus de tubos da marca Metroterm utilizada na centrifugação de líquidos, na qual o princípio de funcionamento baseia-se em aplicar o líquido nos tubos e controlar o tempo e rotação do equipamento. A centrífuga empregada está ilustrada na Figura 12.



Figura 12- Centrífuga Mtd III Plus.

Para obter o comportamento de viscosidade do óleo bruto hidratado e da lecitina em função da temperatura foi usado o viscosímetro *DV- II + Viscometer Brookfield*, um instrumento empregado na indústria para medição das viscosidades de fluidos, e para obter a densidade destes compostos foi utilizado o método *Intercit Inc.* Assim sendo, o método de determinação de viscosidade e o método *Intercit Inc.* serão descritos no item 3.3.

O viscosímetro utilizado é mostrado Figura 13.



Figura 13 - Viscosímetro- DV- II + Viscometer Brookfield.

3.2 LEVANTAMENTO DE DADOS EXPERIMENTAIS NA INDÚSTRIA

Salienta-se que para a realização dos experimentos e análises, foi escolhida a prática industrial comum de degomagem por hidratação, já em análise, foram utilizadas as metodologias recomendadas pela Aocs (1998), que fornecem mais de 400 métodos oficiais relacionados às tecnologias de óleos, gorduras e sabões, bem como algumas práticas desenvolvidas pelas indústrias.

3.2.1 Coleta e Preparação das Amostras

A obtenção de dados operacionais referentes às correntes de alimentação e saída da centrífuga foi concretizada na planta industrial e no laboratório de uma indústria processadora de óleos vegetais localizada na região noroeste do Paraná. Os procedimentos são compostos de medidas de vazão, água adicionada para hidratação, pressão e temperatura, e por amostras que determinam a composição dessas correntes.

3.2.2 Influência da Vazão de Entrada e água adicionada para hidratação no processo de degomagem

Para avaliar o comportamento de alguns parâmetros do processo industrial de separação do óleo, o ensaio na planta industrial foi composto de conjuntos de amostras formadas por óleo bruto, óleo degomado e lecitina, que foram coletadas num intervalo de 1 hora. Destarte, cada conjunto de amostra foi preparado da seguinte forma:

- 1) Regulou-se a vazão de entrada de água para hidratar o óleo com concentrações num intervalo de 7 a 4,5 % na corrente de alimentação da centrífuga. Aguardou-se em torno 1 hora entre cada variação do percentual de hidratação até que o processo estivesse em condição de regime permanente.
- 2) Ajustou-se a vazão de óleo bruto para operar com vazões de 11.800 a 14.500 Kg/h.
- 3) Retirou-se uma amostra de óleo bruto no tanque de alimentação do processo de degomagem a cada experimento.

4) Recolheu-se uma amostra de lecitina e de óleo degomado. Assim, as análises realizadas estão descritas no item 3.3 e os pontos de coleta estão indicados nas Figuras 14 e 15, respectivamente.



Figura 14 – Ponto de coleta de lecitina



Figura 15 – Ponto de coleta de óleo degomado

Os resultados estão expostos na seção 4.

3.2.3 Influência da variação de temperatura

O ensaio foi executado por meio de uma amostra de aproximadamente 3 litros de óleo bruto coletada, na alimentação da planta de refino, juntamente com 1 litro de água aplicada nesta planta para hidratação.

A partir das amostras de óleo e água coletadas foram preparadas amostras com hidratação de óleo de 4%, sendo que cada amostra passou por um agitador por 5 minutos e posteriormente foi aquecida sob agitação manual. As temperaturas trabalhadas foram de 25 a 100°C para obter resultados próximos das temperaturas citadas pela literatura.

Cada amostra foi submetida à centrifugação por 10 minutos, considerando que foram separadas as fases de óleo degomado da lecitina para análise, segundo o esquema da Figura 16. Com efeito, o objetivo foi coletar as amostras para elaborar as análises do item 3.3.

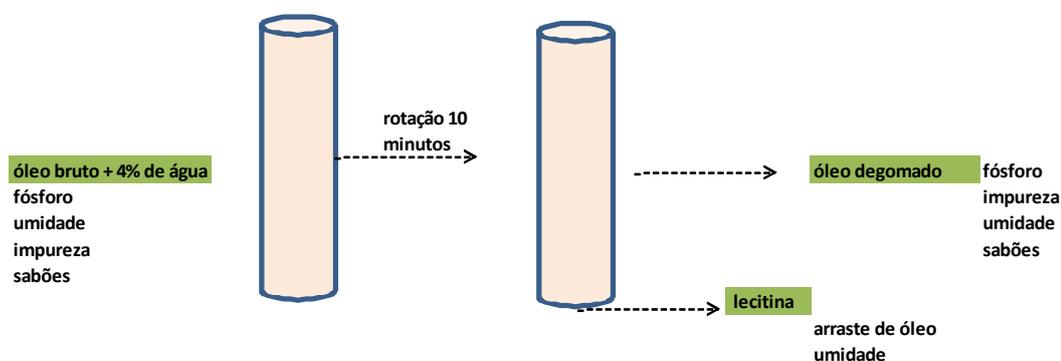


Figura 16 – Esquema de degomagem no laboratório

Os resultados estão expostos na seção 4.

3.2.4 Influência da avaliação de Densidade e Viscosidade

Para melhor avaliar o comportamento dos componentes envolvidos no processo em função da temperatura, foi preparada uma amostra de óleo bruto hidratada a 4% e aquecida às temperaturas de 25 a 70°C. Nesta amostra, foi verificado o comportamento

da viscosidade utilizando o equipamento viscosímetro já apresentado no item 3.1 e o comportamento da densidade do óleo bruto hidratado, empregando o método *Intercit* em função da temperatura. O mesmo procedimento descrito anteriormente foi efetuado para a amostra de lecitina coletada na planta, variando as temperaturas de 25 a 70°C. Dessa forma, os resultados desta avaliação estão expostos na seção 4.

3.2.5 Influência da variação de Pressão no equipamento

Kreisner (1981) assevera que as centrífugas de disco permitem controlar o arraste de uma fase para outra por meio de controladores de pressões, colocados na saída das máquinas. Nesse sentido, vê-se que o ensaio foi elaborado com 5 pontos em uma centrífuga com capacidade de 5000 Kg/h pelo seguinte procedimento:

1) A pressão de contra corrente de alimentação de óleo bruto hidratado da centrífuga foi variada por meio dos controladores de pressão na faixa de 0,9 a 1,9 bar, e aguardou-se o tempo de 30 minutos para a obtenção de condições de regime permanente.

2) As análises das composições das correntes foram consumadas junto das amostras de variação da pressão, com o objetivo de compor os balanços materiais para cada experimento.

3.3 ANÁLISES REALIZADAS

Com o intuito de avaliar a quantidade de componentes existentes nas correntes de entrada e de saídas de produto, nos ensaios de degomagem na planta industrial e no laboratório, foram elaboradas as análises de umidade, fósforo, sabões, impurezas e análise de óleo arrastado. Além disso, foram realizadas as análises de densidade e viscosidade.

3.3.1 Umidade

Também, utilizou-se uma parte do conjunto de amostra (óleo bruto+ lecitina+ óleo degomado) para executar a análise de determinação de umidade e voláteis em base

úmida (X_{bu}), de acordo com a equação 3.1, medindo a massa das amostras antes e depois da secagem pelo método clássico de secagem à massa constante.

$$X_{bu} = \frac{MU - MS}{MU} \quad (3.1)$$

No qual, (MU) é a massa da amostra úmida e (MS) é a massa da amostra seca.

É válido ressaltar que este método é aplicável para todos os tipos de óleos vegetais, sendo que os aparelhos utilizados são:

- Estufa com circulação de ar forçado;
- Placa de Petri em alumínio;
- Dessecador contendo agente dessecante eficiente.

Preparação da amostra:

Devido à água tender a decantar nas amostras, deve-se tomar cuidado de agitar vigorosamente as amostras para distribuir a água uniformemente. Esta agitação poderá ser manual ou feita com a utilização de um misturador.

Após a preparação da amostra segue:

Pesar cuidadosamente 5,0 g da amostra em uma placa de Petri tarada e que tenha sido previamente seca e esfriada em dessecador. Colocar em uma estufa, esfriar à temperatura ambiente em dessecador e por último, pesar.

3.3.2 Fósforo

Constatou-se que a análise de fósforo foi baseada no método oficial AOCS Ca 12-55 que determina o equivalente em fosfatídeos, contido na amostra calcinada na presença de óxido de zinco, seguido da medida espectrofotométrica de fósforo com complexo azul ácido fosfomolibdico. O cálculo do percentual de fósforo em cada amostra de óleo bruto e óleo degomado foram obtidos pela equação 3.2, pesando a massa de fósforo contido na amostra (F_s), a massa de fósforo contido no branco (F_a), a massa da amostra (M) e o volume da alíquota (V_a).

$$Fósforo\% = \frac{10(F_a - F_s)}{M * V_a} * 10.000 \quad (3.2)$$

É possível observar que este método é aplicável para óleos vegetais: bruto degomado e refinado. Os aparelhos empregados no procedimento são:

- Cadinho de porcelana de 50 ml, resistente à temperatura de 600°C;
- Chapa de aquecimento;
- Forno mufla;
- Funil de vidro com haste curta, (50 mm de diâmetro);
- Papel de filtro com 15 cm de diâmetro;
- Pisseta, frasco lavador com capacidade para 500 mL;
- Balões volumétricos de 50 mL e 100 mL;
- Pipetas graduadas de 2 mL, 5 mL e 10 mL;
- Espectrofotômetro;

Os reagentes utilizados são:

- Solução de ácido clorídrico (1/1) v/v;
- Óxido de zinco PA;
- Solução de hidróxido de potássio 50% m/v;
- Solução de molibato de sódio 2,5% m/v;
- Solução de sulfato de hidrazina 0,015% m/v;

O procedimento consiste nas seguintes etapas:

- 1) Pesar 1,5g da amostra em um cadinho de porcelana. Adicionar 0,5g de Óxido de Zinco, homogeneizar e deixar calcinar em chapa de aquecimento, tomando o devido cuidado para não perder a amostra devido à fervura;
- 2) Após prévia calcinação em chapa, transferir o cadinho para Mufla 600°C e deixar por 2 horas, ou até completa calcinação da amostra. Remover e esfriar à temperatura ambiente;
- 3) Adicionar 10 mL de Solução de ácido clorídrico (1/1) a cinzas;
- 4) Cobrir o cadinho com vidro de relógio e aquecer a fervura suave por 5 minutos;
- 5) Filtrar a solução no sistema (papel filtro + funil + balão volumétrico de 100 mL). Lavar a parte interna do vidro de relógio e as paredes do cadinho com

aproximadamente 10 mL de água destilada quente. Purificar o cadinho e o papel filtro com 4 porções de 10 mL de água destilada quente;

6) Esfriar a solução à temperatura ambiente e neutralizar até a turbidez com a adição de hidróxido de potássio a 50%;

7) Adicionar ácido clorídrico (1/1) até que o óxido de zinco precipitado tenha se dissolvido, então adicionar mais duas gotas, e completar o volume do balão volumétrico para 100mL;

8) Pipetar 10 mL dessa solução (do balão volumétrico de 100 mL) e transferir para um balão volumétrico de 50mL;

9) Adicionar 8 mL da solução de sulfato de hidrazina e 2 mL da solução de molibdato de sódio;

10) Tampar e homogeneizar. Afrouxar a tampa e aquecer o balão por 10 minutos em um banho de água fervente;

11) Remover do banho e deixar esfriar a +/- 25°C;

12) Completar o volume do balão volumétrico de 50 mL e homogeneizar. Transferir a alíquota para a cubeta de 10 mm e realizar a leitura com a absorvância de 650nm;

13) Preparar um branco reagente sem adição de óleo, seguindo o procedimento descrito de 1 a 12.

3.3.3 Impurezas

É importante salientar que para determinar impurezas nas amostras de óleo bruto e de óleo degomado, seguiu-se o método oficial AOCS Ca 3a-46, que analisa substâncias estranhas insolúveis em querosene, bem como em éter de petróleo.

O cálculo da impureza é feito pela equação 3.3, pesando a massa do preparado seco (M_s), a massa com o resíduo seco (M_{rs}) e a massa da amostra (MA).

$$\text{Impurezas\%} = \frac{M_{rs} - M_s}{MA * 100} \quad (3.3)$$

Este método é aplicável para todos os óleos e gorduras. Os aparelhos utilizados são:

- Cadinhos de Gooch preparado;

- Kitasato com adaptador para cadinho de Gooch;

- Bomba de vácuo;
- Provetas de 25 e 50 mL;
- Estufa com circulação de ar a 130 °C;
- Dessecador com sílica gel.

Os reagentes utilizados são:

- Éter de petróleo PA;
- Querosene PA;
- Álcool etílico;

Nesse passo, os procedimentos consistem nas seguintes etapas:

- 1) Preparar o cadinho Gooch antes do uso (colocar no cadinho de Gooch o filtro de fibra de vidro sem matéria orgânica, lavar com água, álcool e éter, secar em estufa até atingir o peso constante, esfriar em dessecador à temperatura ambiente, pesar e anotar a massa);
- 2) Usar o resíduo da determinação do teor de umidade e matéria volátil, ou uma amostra preparada da mesma maneira;
- 3) Adicionar 50 mL de querosene ao resíduo e aquecer num banho de água para solubilizar a gordura;
- 4) Filtrar no cadinho de Gooch preparado usando a bomba de vácuo. Lavar com 5 porções de 10 mL de querosene quente, deixando cada porção secar antes de adicionar a próxima;
- 5) Lavar com 30 mL de éter de petróleo para remover toda a querosene;
- 6) Secar o cadinho Gooch em estufa de circulação de ar até obter o peso constante. Após retirar da estufa, esfriar em dessecador à temperatura ambiente e pesar.

3.3.4 Determinação de Sabões

Os sabões no óleo de soja bruto foram determinados pela equação 3.4, utilizando o método oficial da AOCS Cc 17-95 por meio da titulação com a solução de ácido clorídrico (0,005M) (*G*) e a massa da amostra (*MA*).

$$Sabões(ppm) = \frac{G * 1,522}{MA} \quad (3.4)$$

Os aparelhos adotados na análise são:

- Erlenmeyer de 250 mL;
- Proveta de 50 mL;
- Titulador semiautomático ou bureta de 25 mL;

Os reagentes empregados são:

- Solução de ácido clorídrico 0,005 M;
- Solução de hidróxido de sódio 0,1 M;
- Solução acetônica com indicador azul de bromofenol.

O procedimento experimental consiste nas seguintes etapas:

- 1) Pesar amostra no erlenmeyer de 250 mL;
- 2) Adicionar 50 mL de solução acetônica;
- 3) Homogeneizar e deixar separar as camadas. Se houver sabão, a camada superior apresentará uma coloração verde escuro ou azul;
- 4) Titular com solução de ácido clorídrico 0,005 M até que a coloração verde escuro ou azul seja eliminada, permanecendo apenas a coloração amarela.

3.3.5 Análise de Arraste de Óleo

Nota-se que parte da amostra de lecitina foi aproveitada para determinar o conteúdo total de óleo presente na amostra pelo método de extração com acetona e os cálculos de óleo presentes na amostra foram produzidos pelas Equações 3.5 e 3.6.

$$ABU(\%) = \frac{(PBO) - (PBV)}{PA} * 100 \quad (3.5)$$

$$ABS(\%) = \frac{(PBO) - (PBV)}{[PA - (PA - \%umidade)] / 100} * 100 \quad (3.6)$$

Onde (PBO) representa o peso balão volumétrico com óleo, (PBV) o peso do balão volumétrico vazio, (PA) o peso da amostra, (ABU) teor de óleo arrastado na base úmida e (ABS) teor de óleo arrastado na base seca.

Os aparelhos utilizados são:

- Béquer de 150 mL;
- Bastão de vidro;
- Balão de soxhlet 250 mL, junta 24x40;
- Papel filtro;
- Funil analítico raiado pequeno;
- Bolinhas de vidro.

Os reagentes utilizados são:

- Acetona de boa procedência, refrigerada;
- Sulfato de Sódio Anidro.

O procedimento fundamenta-se nas seguintes etapas:

- 1) Pesar aproximadamente 2,5g da amostra vigorosamente homogeneizada;
- 2) Adicionar aproximadamente 10g de Sulfato de Sódio Anidro e homogeneizar com o auxílio de um bastão de vidro;
- 3) Acrescentar aproximadamente 50 mL de Acetona refrigerada, homogeneizar e esperar sedimentar os sólidos;
- 4) Filtrar o sobrenadante em papel filtro previamente umedecido com Acetona. Recolher o filtrado no balão de Soxhlet de 250 mL, contendo bolinhas de vidro, seco e tarado;
- 5) Efetuar extrações com porções de 20 mL de Acetona, até a micela estar incolor;
- 6) Utilizar o sistema soxhlet para recuperar acetona (balão de 250 mL). Após evaporar, secar o balão na estufa a 130°C +/- 3°C por 1 hora. Retirar da estufa e finalmente, resfriar em dessecador.

3.3.6 Análise de Determinação da Viscosidade do Óleo Bruto e Lecitina de Soja

Nota-se que este procedimento determina a resistência ao escoamento do produto expressando o resultado em centiPoise.

Os aparelhos empregados são:

- Viscosímetro Brookfield RVDV - II+;

- Béquer de 1000 mL;
- Termômetro.

O procedimento é alicerçado nas seguintes etapas:

- 1) Medir aproximadamente 1Kg de amostra.
- 2) Ligar o aparelho e esperar estabilizar. Pressionando qualquer tecla, aparecerá no visor a solicitação de auto zero. O aparelho poderá ser calibrado para o zero, também ao pressionar uma das teclas;
- 3) Depois de estabilizado e calibrado para o zero, utilizar a haste nº2 para realizar a medição da viscosidade;
- 4) Colocar a barra de proteção da haste, programar o aparelho para uma rotação de 20rpm;
- 5) Efetuar a leitura em cP (centi Poise) diretamente no visor.

3.3.7 Análise de Determinação da Densidade do Óleo Bruto e Lecitina de Soja- Método Intercit In. Adaptado

Este método analítico é alternativo à análise com picnômetro. A densidade de um composto ou solução é definida pela relação entre sua massa e volume. Assim, pode-se determinar a densidade de um composto ou solução pesando-se um volume conhecido, em balança analítica, fazendo uso de uma pipeta volumétrica para este fim. Deve-se salientar que o procedimento correto para esta análise é utilizar um picnômetro, porém, quando não se exige grande precisão, pode-se aplicar a pipeta volumétrica para medição do volume a ser pesado.

Os aparelhos envolvidos são:

- Banho de água a 20o C +/- 0,2°C.
- Becker de 100 ml.
- Pipeta volumétrica de 50 ml.
- Balança analítica com sensibilidade de 0,1mg.

O procedimento consiste nas seguintes etapas:

- 1) Colocar o becker seco e limpo na balança analítica e tarar;

2) Pipetar 50ml da amostra a 20°C +/- 0,2°C com auxílio da pipeta volumétrica, deixando escoar na parede do becker em velocidade constante;

3) Anotar o peso.

$$Densidade = \frac{massa}{volume} \quad (3.7)$$

4. MODELAGEM MATEMÁTICA

É válido esclarecer que a modelagem desenvolvida neste trabalho baseia-se em equações de conservação de massa e quantidade de movimento. Foust *et al* (2000) propuseram um modelo baseado em balanços de forças que possibilita prever diversas propriedades envolvidas no processo de centrifugação. Bird *et al* (2005) indicaram um modelo respaldado no balanço de massa binário macroscópico, que permite estimar as composições das correntes de saída envolvidas no processo.

4.1 BALANÇO DE FORÇAS NA CENTRIFUGAÇÃO DO ÓLEO BRUTO DE SOJA

De acordo com Foust *et al* (2000), no escoamento de um fluido em regime permanente, sobre um corpo sólido, formam-se camadas limites e o fluido exerce uma força sobre o sólido. Esta força é uma combinação de arraste pela camada limite e o arraste devido à forma, que pode ser expresso em termo de um coeficiente de arraste C_A . Pela equação 4.1, o coeficiente de arraste é:

$$C_A = \frac{2F_A}{V_{cl}^2 \rho S} \quad (4.1)$$

Onde F_A é a força que atua sobre o sólido, V_{cl} é a velocidade da corrente livre em relação à partícula, e S é a área de seção reta na direção normal ao escoamento.

Uma partícula em movimento linear através de um fluido age sob a ação de uma força externa. Esta força pode ser à força de gravidade, ou a força de um campo de forças centrífugas. A teoria básica do movimento dos sólidos através dos fluidos está centrada no conceito do movimento dos corpos livres na equação 4.2:

$$Fg_c = m \frac{dv}{dt} \quad (4.2)$$

Onde F_{g_c} é a força resultante que atua sobre qualquer corpo, dv/dt é a aceleração do corpo, e m é a massa do corpo. Assim, o balanço de força é dado por:

$$(F_E - F_A - F_B)g_c = m \frac{dv}{dt} \quad (4.3)$$

Nesta equação, as forças que atuam sobre o corpo em queda são a força externa (F_E), a força do empuxo (F_B) e a força de arraste (F_A) devido ao atrito do fluido na direção da velocidade relativa entre o fluido e a partícula.

A força externa (F_E) pode ser expressa pela lei de Newton sob a forma da equação 4.4.

$$F_E g_c = m a_E \quad (4.4)$$

Onde a_E é a aceleração da partícula resultante da força externa. A força de arraste é obtida pela equação 4.5.

$$F_A g_c = \frac{C_A V_{cl}^2 \rho S}{2} \quad (4.5)$$

Onde ρ é a densidade do fluido e V_{cl} é a velocidade relativa entre a partícula e o fluido. O princípio de Arquimedes fornece o empuxo. A massa do fluido deslocado é m/ρ_s , onde ρ_s e ρ são as densidades do sólido e do fluido, respectivamente. Portanto, a equação 4.4 torna-se a equação 4.6.

$$F_B g_c = \left(\frac{m}{\rho_s}\right) \rho a_E \quad (4.6)$$

Combinando as Equações 4.1 a 4.6 obtém-se:

$$\frac{dv}{dt} = a_E - \frac{\rho a_E}{\rho_s} - \frac{C_A V_{cl}^2 \rho S}{2m} \quad (4.7)$$

Se a força externa for à gravidade, a_E é igual à aceleração da gravidade g a equação 4.7 fica assim:

$$\frac{dv}{dt} = g \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right) - \frac{C_A V_{cl}^2 \rho S}{2m} \quad (4.8)$$

Se a força externa é proveniente de um campo centrífugo, $a_E = r\omega^2$, onde r é o raio no ponto da trajetória e ω é a velocidade angular, em radianos por segundo. A equação 4.8:

$$\frac{dv}{dt} = r\omega^2 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right) - \frac{C_A V_{cl}^2 \rho S}{2m} \quad (4.8)$$

A equação 4.9 representa o balanço de forças fundamental em torno de uma partícula que cai em um campo centrífugo.

Na maioria das vezes, as partículas movem-se com velocidades bastante pequenas para que o escoamento seja laminar e então $C_A = 24/N_{Re}$. Fazendo esta substituição na equação 4.9 e considerando a equação para partículas esféricas, encontra-se a equação 4.10.

$$\frac{m}{S} = \frac{\rho_s V}{S} \left(\frac{\frac{\pi}{6} D_p^3 \rho_s}{\frac{\pi}{4} D_p^2} \right) = \frac{4\rho_s D_p}{6} \quad (4.10)$$

$$\frac{dv}{dt} = r\omega^2 \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho_s} \right) - \frac{18\mu v}{\rho_s D_p^2} \quad (4.11)$$

Então, considerando-se a velocidade em qualquer posição, $dv/dt = 0$; todavia, em qualquer instante do movimento de uma única partícula, dv/dr é positiva. Portanto, considerando uma posição fixa, $dv/dt = 0$, e equação 4.11 reduzem à equação 4.12:

$$V_R = \frac{r\omega^2 (\rho_s - \rho) D_p^2}{18\mu} \quad (4.12)$$

Onde: V_R = velocidade terminal de partículas esféricas de diâmetro D_p , no ponto de raio r num campo centrífugo cuja velocidade angular de rotação é ω .

A distância radial percorrida pela partícula pode ser obtida multiplicando-se a equação 4.12 pelo elemento infinitesimal de tempo (dt):

$$V_R dt = dr = \frac{r\omega^2 (\rho_s - \rho) D_p^2}{18\mu} dt \quad (4.13)$$

A Equação 4.13 integrada fica:

$$\ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{\omega^2 (\rho_s - \rho) D_p^2}{18\mu} \theta = \frac{\omega^2 (\rho_s - \rho) D_p^2}{18\mu} * \frac{V}{Q} \quad (4.14)$$

Onde:

V = volume do material presente na centrífuga

Q = taxa volumétrica de alimentação da centrífuga

V/Q = tempo de residência de uma partícula no centrifugador

O diâmetro que aparece na equação 4.14 é o de uma partícula que cai entre r_1 e r_2 durante o tempo de residência que lhe é próprio.

$$V_R t = x = \frac{r\omega^2(\rho_s - \rho)D_p^2}{18\mu} * \frac{V}{Q} \quad (4.15)$$

Onde x é a distância radial percorrida por uma partícula de diâmetro D_p durante o tempo de residência disponível.

Se x for igualado à meia-espessura da camada líquida, $(r_2 - r_1)/2$, a metade das partículas com certo diâmetro D_p conseguirá sedimentar-se nas paredes, enquanto a outra metade fica em suspensão até o fluido deixar a centrifugadora. Este diâmetro D_p é o “diâmetro crítico”. As partículas com diâmetros maiores que D_p sedimentarão preferencialmente da fase líquida, e as partículas com diâmetros menores que D_p permanecerão preferencialmente na suspensão. Resolvendo a equação 4.15 para D_p e substituindo x por $(r_2 - r_1)/2$, o diâmetro crítico das partículas será dado pela equação 4.16:

$$D_p = \sqrt{\frac{9\mu Q}{(\rho_s - \rho)\omega^2 V} \cdot \frac{r_2 - r_1}{r}} \quad (4.16)$$

Onde $r_2 - r_1$ é a espessura da camada líquida e D_p o diâmetro crítico das partículas.

Resolvendo a equação 4.16 em Q , inserindo-se ao mesmo tempo a aceleração da gravidade temos a equação 4.17.

$$Q = \frac{(\rho_s - \rho)gD_p^2}{9\mu} * \frac{V\omega^2 r}{g(r_2 - r_1)} = 2v_t * \Sigma \quad (4.17)$$

Onde v_t é a velocidade de sedimentação é apresentado na Equação 4.18 e Σ é o poder de separação representado na Equação 4.19.

$$v_t = \frac{(\rho_s - \rho)gD_p^2}{18\mu} \quad (4.18)$$

$$\Sigma = \frac{V\omega^2 r}{g(r_2 - r_1)} \quad (4.19)$$

A velocidade de sedimentação está relacionada com as características do produto a ser centrifugado e o poder de separação está relacionado com a engenharia do equipamento.

No caso do centrifugador a discos, a fórmula do poder de separação está representada na equação abaixo:

$$\Sigma = \frac{2n\pi(r_2^3 - r_1^3)\omega^2}{3g \tan \Omega} \quad (4.20)$$

Onde: n = número de espaços entre os discos da pilha, r_1 e r_2 = raio externo e interno da pilha de discos e Ω = ângulo de abertura do cone.

De acordo com Lammarino *et al* (2007), o tamanho mínimo da partícula que uma centrífuga pode remover é uma função das propriedades do líquido, taxa de alimentação de centrifugação, geometria da bacia e velocidade de rotação. A velocidade de rotação e a geometria são consideradas pelo fator Sigma Σ para centrífuga. Este fator indica a área de um tanque de sedimentação gravitacional necessário para atingir a mesma quantidade de clarificação como a centrífuga.

Foust *et al* (2000) assevera que o poder de separação Σ de uma centrífuga representa a área equivalente de um tanque estático de decantação. O Σ é uma característica da própria centrífuga e não do sistema que está sendo separado. A escala de fatores está na Tabela 12.

Tabela 12 – Escala de fatores para diferentes centrífugas.

Tipos de Centrífugas	Diâmetro de dentro (in)	Diâmetro do Disco (in)	Nº de Disco	Velocidade r/min	Valor do Σ em 10^4 ft^2
Tubular	1,75	-	-	23000	0,32
Tubular	4,125	-	-	15000	2,7
Tubular	4,9	-	-	15000	4,2
Disco	-	4,1	33	10000	1,1
Disco	-	9,5	107	6500	21,5
Disco	-	12,4	98	6250	42,5
Disco	-	13,7	132	4650	39,3
Disco	-	19,5	144	4250	105
Transportador Helicoidal	6	-	-	6000	0,27
Transportador Helicoidal	14	-	-	4000	1,34
Transportador Helicoidal	20	-	-	3350	40
Transportador Helicoidal	25	-	-	3000	6,1

Fonte: Adaptado- PERRY'S e CHILTON, 1984.

Os parâmetros relativos ao produto seguem a Lei de Stokes para determinação do rendimento da capacidade da centrífuga. Já os parâmetros relacionados com a máquina são chamados de área equivalente de clarificação, utilizada para comparação das centrífugas de discos expressando o tamanho de um tanque de sedimentação (HARTEN, 2000).

A Figura 17 ilustra um fluxo de separação entre dois discos individuais, considerando que uma partícula sólida de um componente pesado do líquido tenha sido separada quando a partícula alcança a superfície inferior do disco superior.

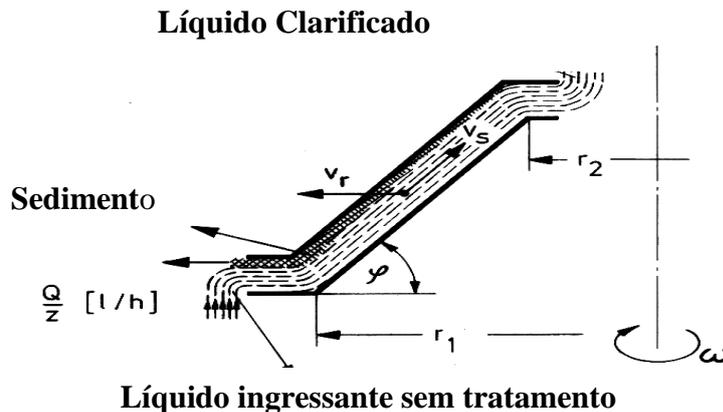


Figura 17- Padrão de um espaço de separação individual entre dois discos.

Fonte (HARTEN, 2000)

Para Couson e Richardson (1968) a introdução de discos cônicos na bacia da centrífuga permite que o fluxo do líquido possa ser dividido em um grande número de camadas muito finas e desta forma, permite uma bacia de maior diâmetro.

Segundo Dorsa (2004), a velocidade de decantação de sólidos na separação centrífuga aumenta com o acréscimo na diferença de densidade entre partículas sólida e óleo, há o aumento do diâmetro da partícula sólida, com a diminuição da viscosidade do óleo e a aceleração efetiva da centrífuga.

Somente a aceleração efetiva é influenciada pela construção do equipamento, logo a separação no seio do líquido dependerá da rotação escolhida, ou seja, de um fator de separação que será dado pela relação entre a aceleração centrífuga e gravitacional, fornecido pela equação abaixo.

$$\alpha = \frac{r * \omega^2}{g} \quad (4.21)$$

Perry's e Chilton (1984) mencionam que uma centrífuga de disco com diâmetro de 13 a 24 polegadas tem um fator de separação de 5.500 a 10.400.

4.2 BALANÇO DE MASSA NA CENTRIFUGAÇÃO DO ÓLEO BRUTO DE SOJA

No que tange à principal etapa do processo de degomagem, esta se trata da separação das gomas presente no óleo de soja através de centrifugação. Assim, a modelagem desenvolvida foi realizada apenas no equipamento centrífuga, considerando que o processo operando em regime estacionário.

O modelo matemático desenvolvido para representar a centrifugação foi obtido observando o balanço de massa e equações constitutivas referentes à centrífuga. O volume de controle do sistema em estudo é apresentado na Figura 18.

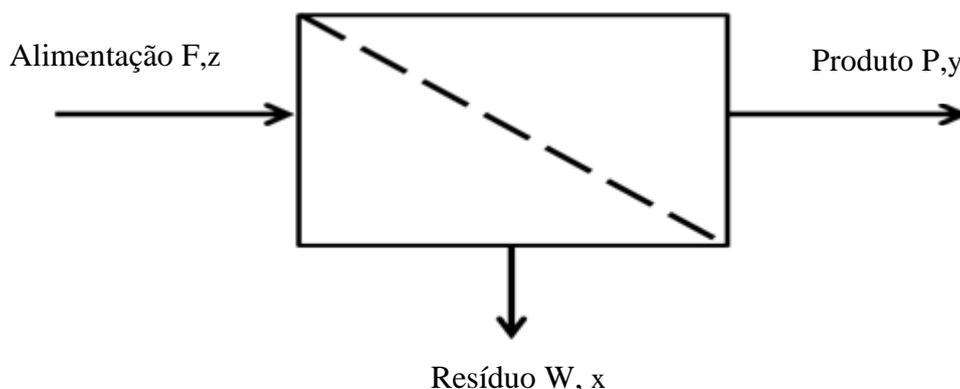


Figura 18 – Processo de Separação Binário

O balanço de massa global na centrífuga para etapa de degomagem do óleo de soja é dada pela Equação:

Balanço de massa global

$$F = W + P \quad (4.22)$$

Balanço de massa no componente óleo de soja:

$$F_z = W_x + P_y \quad (4.23)$$

Considerando uma mistura binária de óleo e goma que entra na centrífuga em uma corrente de alimentação a uma taxa mássica F , e pelo mecanismo de separação, a centrífuga é dividida em um fluxo de produtos mássico P e um fluxo mássico de resíduo (goma) W . A fração mássica do óleo de soja (o componente desejado) no fluxo de alimentação é z , e as frações mássicas de óleo no produto e no resíduo são y e x , respectivamente.

Assim, define-se uma razão de corte $\theta = P/F$ $\theta = P/Q$ das taxas do fluxo do produto, onde se tem (óleo degomado) e de alimentação (óleo bruto). Substituindo a razão de corte na equação 4.22 e eliminando W na equação 4.23, tem-se:

$$z = \theta y + (1 - \theta)x \quad (4.24)$$

Agora, escrevendo a relação entre a alimentação e composição de resíduos, a Equação que relaciona as composições das duas correntes de saída, é:

$$Y = \alpha X \quad (4.25)$$

Onde α é o fator de separação, Y e X são razões mássicas, definidas pelas Equações:

$$Y = \frac{y}{1 - y} \quad (4.26)$$

$$X = \frac{x}{1 - x} \quad (4.27)$$

Em termos de frações mássicas, pode-se escrever a equação 4.27 como:

$$y = \frac{\alpha x}{1 + (\alpha - 1)x} \quad (4.28)$$

ou

$$x = \frac{y}{\alpha - (\alpha - 1)y} \quad (4.29)$$

As Equações (4.24) e (4.28) ou (4.29) descreve a operação de separação do óleo de soja com a lecitina. Para esta situação define-se um separador ideal em termos de uma operação na qual o produto e fluxos de resíduos são sistemas ideais. Mas, mesmo para situações de sistemas não ideais, as mudanças relativamente lentas da composição para separadores reais pode-se definir um termo de correção empírico como um fator de correção, sendo:

$$\alpha = E\alpha^* \quad (4.30)$$

Onde, α^* é o fator de separação para o modelo ideal, e E é um fator de correção que representa um sistema atual para atender o comportamento ideal.

O modelo proposto para um balanço de massa macroscópico pode ser utilizado para diferentes processos de separação, por exemplo, difusões térmicas, centrifugações, entre outros. A Equação 4.31 define o fator de separação.

$$\alpha = 1 + \frac{y - x}{x(1 - y)} \quad (4.31)$$

Assim, a equação do balanço material para uma dada alimentação de óleo bruto produzido pelo separador é uma função do fator de corte θ e do fator de separação θ . Assim combinando as Equações (4.24) e (4.28) e tem-se:

$$z = \theta y + (1 - \theta) \frac{y}{\alpha - (\alpha - 1)y} \quad (4.32)$$

A Equação 4.32 define o modelo matemático para a separação centrifuga.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados das análises das correntes do processo de degomagem de óleo vegetal de soja, gerados a partir da metodologia descrita no Capítulo 3.

5.1 COMPOSIÇÃO DAS CORRENTES

5.1.1 Condições da Corrente de Entrada – Óleo Bruto

Amostras coletadas na corrente de entrada de óleo bruto estão listadas na Tabela 14, a qual fornece dados sobre principais componentes do óleo de soja bruto em percentuais: fósforo (fosfatídeos hidratáveis e não hidratáveis) 0,079 a 0,101, sabões (sais de ácidos graxos) 0,152 a 0,205, impurezas 0,011 a 0,258, água utilizada na hidratação 4,826 a 7,129, considerando que o óleo bruto a ser degomado apresentou uma concentração de óleo de 92,552 a 94,845%.

Tabela 13 - Característica do óleo bruto na corrente de entrada.

Vazão de Entrada kg/h	% água de água de hidratação	% sabões	% fosforo	% impurezas	% óleo
13791	6,176	0,194	0,079	0,015	93,536
12500	5,623	0,189	0,083	0,028	94,078
13780	6,191	0,205	0,103	0,089	93,411
12750	5,736	0,160	0,082	0,080	93,943
12779	6,610	0,202	0,088	0,077	93,022
13764	6,158	0,175	0,100	0,015	93,552
13341	6,416	0,191	0,110	0,014	93,269
11810	7,129	0,228	0,074	0,018	92,552
13425	4,852	0,178	0,101	0,054	94,815
12632	5,775	0,152	0,098	0,258	93,717
12704	6,603	0,193	0,088	0,211	92,906
13351	6,364	0,152	0,093	0,011	93,379
14672	4,826	0,158	0,101	0,110	94,008
14618	5,591	0,190	0,094	0,093	93,126
14703	6,496	0,190	0,079	0,018	94,642
14176	5,094	0,168	0,092	0,032	93,801
14200	5,880	0,195	0,086	0,050	95,168

5.1.2 Condições da Corrente de Óleo Degomado

Os dados da corrente de saída do óleo degomado estão expostos na Tabela 14, mostrando uma redução nos compostos indesejáveis do óleo bruto: fósforo a uma média de 0,023%, sabões a 0,010%, umidade a 0,519% e impurezas a 0,026%. A concentração do óleo degomado foi em média 99,432%.

Tabela 14 - Características da saída de óleo degomado da centrífuga.

Vazão de Saída kg/h	% umidade	% sabões	% fosforo	% impurezas	% óleo
12.413	0,487	0,007	0,027	0,022	99,457
11.245	0,500	0,011	0,025	0,028	99,435
12.310	0,528	0,011	0,024	0,022	99,414
11.517	0,510	0,010	0,030	0,020	99,430
11.380	0,505	0,009	0,025	0,024	99,437
12.400	0,420	0,009	0,021	0,017	99,534
12.029	0,516	0,009	0,023	0,021	99,430
10.375	0,503	0,011	0,027	0,018	99,441
12.481	0,468	0,010	0,020	0,019	99,484
11.310	0,530	0,012	0,020	0,032	99,406
11.361	0,488	0,014	0,020	0,097	99,381
11.940	0,527	0,008	0,021	0,024	99,420
13.379	0,538	0,011	0,022	0,000	99,429
13.234	0,577	0,012	0,018	0,021	99,371
13.107	0,478	0,009	0,021	0,002	99,490
12.967	0,510	0,010	0,020	0,040	99,420
12.854	0,527	0,010	0,021	0,030	99,411
13.363	0,512	0,014	0,021	0,024	99,429

5.1.3 Condições da Corrente de Goma (Lecitina)

De acordo com Santos e Zanetti (1981) a lecitina bruta apresenta um teor de óleo de 17% e 50% de água. Nos experimentos foi obtida uma média de 55% para umidade, valor próximo do exposto pelos autores anteriores, no entanto, o arraste de óleo na lecitina está bem elevado com uma média de 41,7%, logo se conclui que o processo possui oportunidades de melhoria. Os resultados estão na Tabela 15.

Tabela 15 - Características da corrente de saída lecitina.

Vazão kg/h	% umidade	% Óleo arrastado	Oleo arrastado Kg/h	% Perda de Óleo
1.378	57,700	40,196	553,907	4,294
1.255	51,473	46,064	577,951	4,915
1.470	53,610	43,141	634,168	4,927
1.233	54,500	42,687	526,327	4,394
1.399	56,277	40,832	571,149	4,805
1.364	57,974	39,187	534,623	4,152
1.312	60,476	36,776	482,481	3,878
1.435	54,931	42,728	612,953	5,608
944	62,801	33,087	312,348	2,454
1.322	50,839	45,052	595,588	5,031
1.343	58,303	38,134	512,188	4,340
1.411	55,711	42,271	596,528	4,785
1.293	53,617	47,771	617,872	4,480
1.384	55,857	42,726	591,351	4,344
1.596	54,235	40,881	652,650	4,690
1.209	57,020	43,406	524,856	3,947
1.346	50,822	40,209	541,090	4,004

5.2 INFLUÊNCIA DA QUANTIDADE DE ÁGUA PARA HIDRATAÇÃO

Observa-se que a quantidade de óleo arrastada pelas gomas parece ter relação muito estreita com a quantidade de água empregada, pois quando se adiciona água ao óleo, os fosfatídeos, as proteínas e as impurezas do tipo coloidal se hidratam e aumentam de peso formando coágulos separáveis por centrifugação, de acordo com Santos e Zanetti (1981).

Para Anderson (1965) é bastante importante ter a proporção correta de água, pois se agregar pouca quantidade de água ao óleo resultará em uma baixa hidratação, portanto, a eliminação incompleta de fosfatídeos, e também é necessário lembrar que ao se agregar muita água pode apresentar problemas de emulsificação e perda de óleo.

Para melhor mensuração do comportamento da quantidade de água utilizada na hidratação, os experimentos com uma vazão próxima de 14500 kg/h, que é a vazão nominal desta planta, foram correlacionados com o comportamento do arraste de óleo na lecitina. Nos experimentos, o percentual de água de aplicada para hidratação foi variado de 4,5 a 6,5% e, nesta vazão o histórico do valor de arraste de óleo com 3,5% de água utilizada na hidratação é de 33%. Os resultados dos diferentes comportamentos da

água de dosagem correlacionados ao arraste de óleo na lecitina são mostrados na Figura 19.

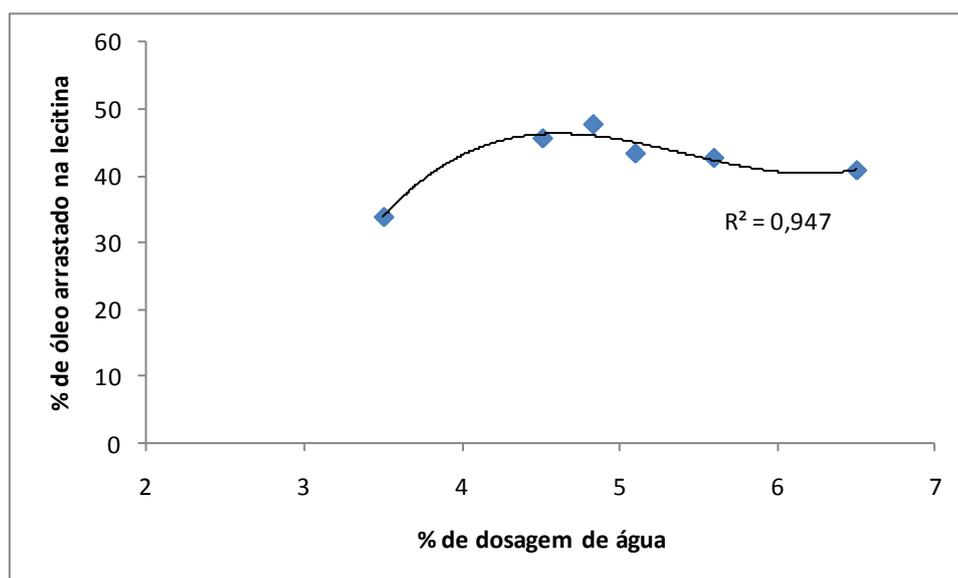


Figura 19 – Comportamento do Arraste de Óleo na lecitina em função da quantidade de água dosada na hidratação.

Não foi possível testar a dosagem de água com valores menores que 3,5 % no processo devido ao fato do controlador de dosagem de água da planta não realizar dosagens com valores inferiores. No entanto, Dorsa (2004) entende que a quantidade de água adicionada neste processo deve ser igual ao conteúdo de fosfatídeos e os mesmos são determinados a partir de uma relação entre o conteúdo de fósforo conforme a equação 5.1:

$$\% Fosfatídeos = 30 * \% Fósforo \quad (5.1)$$

Bloch (1983) disciplina que o método oficial da Ca 12-55 da AOCS prescreveu um fator de conversão do teor de fósforo elementar a fostatídeos igual a 30.

De acordo com o teor de fósforo do óleo analisado na corrente de entrada, é possível calcular a partir da equação 5.1 que teoricamente as dosagens de água devem ser de 2,5%. Logo, é possível obter uma redução no consumo de água, se realizar uma melhoria no controlador de dosagens para operar com quantidades menores, sem perder a qualidade do produto final e influenciar no arraste de óleo.

5.3 ANÁLISE DA VAZÃO EM RELAÇÃO À QUALIDADE DO PRODUTO FINAL

Durante o experimento o processo sofreu diversas alterações nas vazões e dosagens de água, mantendo-se a temperatura e pressão constante, no entanto, foi possível verificar

que a qualidade do produto final permaneceu em termos industriais de modo constante. Logo se concluiu que o processo de purificação está em regime permanente e o equipamento em termos de qualidade do produto final opera com vazão média de 14500 Kg/h, obtendo uma purificação tão eficiente comparada quando há vazões menores.

Na Figura 20, está exposto o comportamento da qualidade do óleo degomado e do óleo bruto da alimentação.

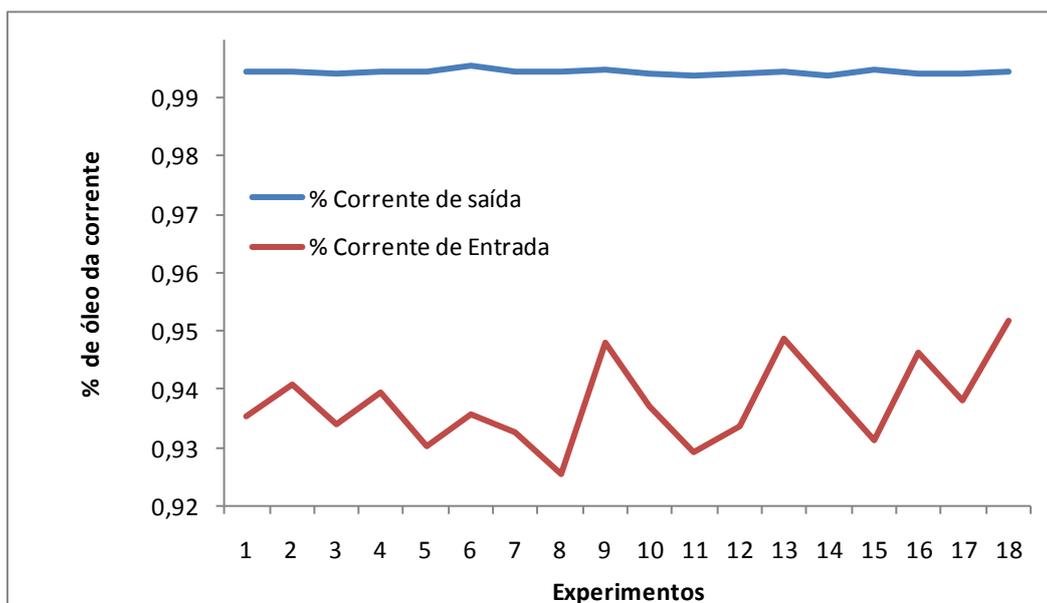


Figura 20 - Comportamento da qualidade do óleo bruto e degomado dos experimentos.

5.4 INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO PROCESSO DE SEPARAÇÃO

No experimento realizado, devido à capacidade de centrifugação pequena do laboratório, não foi possível realizar análise de arraste de óleo na lecitina, pois a quantidade produzida foi insuficiente para a análise de óleo arrastado, no entanto, foi possível analisar os componentes do óleo degomado, em especial o fósforo, sendo este um dos componentes que determinam a qualidade final do óleo na comercialização. Na Figura 21 está expressa a influência da temperatura em função da separação do fósforo, deixando evidente a influência da temperatura no arraste de componentes deste componente do óleo.

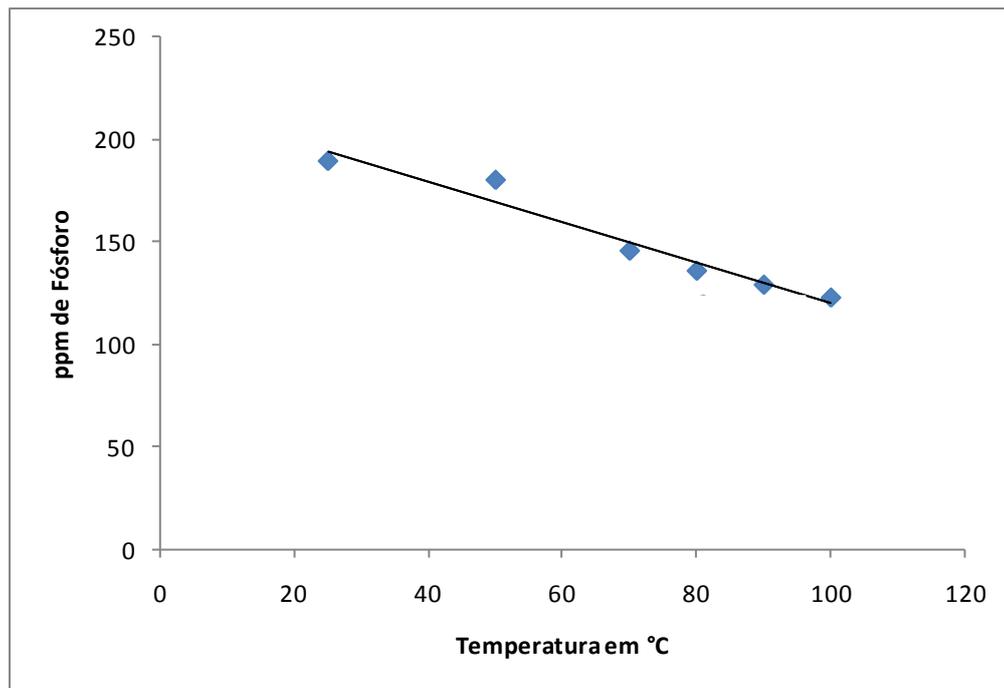


Figura 21 – Comportamento da Separação do Fósforo em relação à Temperatura.

Bockisch (1998) explica que os fatores relativos ao produto podem por vezes também ser alterados, melhorando assim a separação centrífuga. Se, por exemplo, os sólidos têm que ser removidos do óleo, a diferença de densidade pode ser ampliada por meio de um tratamento com água. Se os sólidos são capazes de absorver a água, a diferença de densidade é geralmente maximizada. A viscosidade e densidade do óleo podem então ser reduzidas aquecendo-o; porque ao baixar a viscosidade, aumenta-se a eficiência do transporte do líquido.

De acordo com a teoria de centrifugação, a velocidade de sedimentação na centrifugação é alterada conforme a densidade e viscosidade dos componentes envolvidos no processo.

Para Gupta e Muralidhara (2002), altas temperaturas devem ser escolhidas para baixar a viscosidade da mistura. Logo, foram realizadas avaliações destes parâmetros em relação à variação da temperatura com o objetivo de avaliar o comportamento da velocidade de sedimentação. Nesse sentido, os resultados dos comportamentos da viscosidade e densidade em relação à temperatura realizadas no laboratório do óleo bruto hidratado e da lecitina estão expostos nas Figuras 22 a 26.

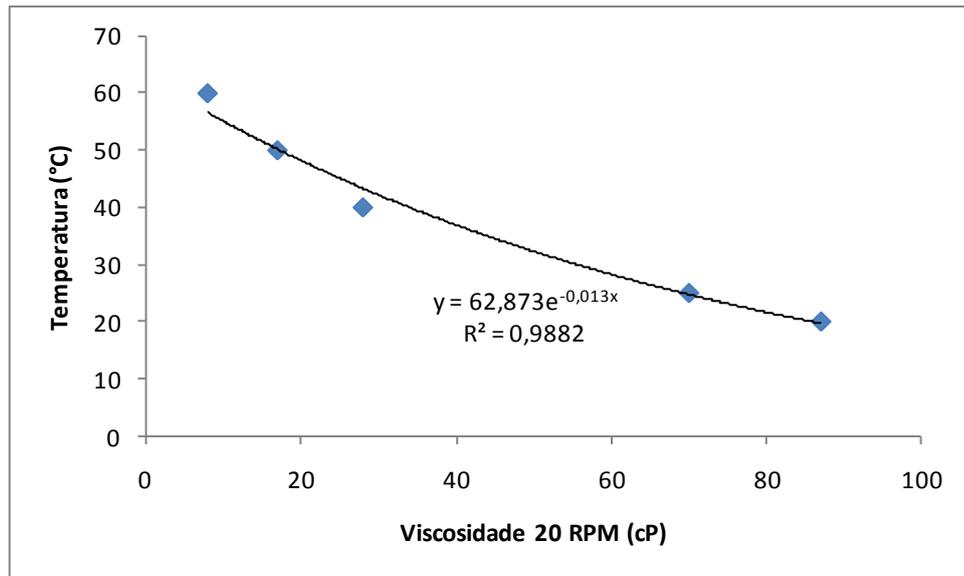


Figura 22 – Dependência da Viscosidade do Óleo Hidratado com a Temperatura.

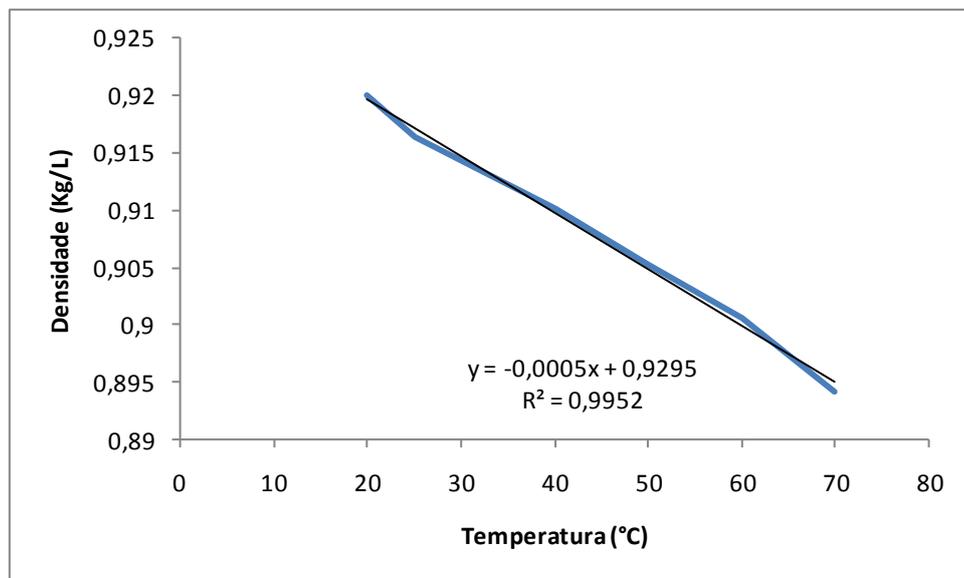


Figura 23 – Dependência da massa específica do Óleo Hidratado com a Temperatura.

O resultado da viscosidade do óleo obtido por Noureddinin (1992) foi compatível com o resultado expresso na Figura 22, que pode ser expresso por:

$$\ln \mu = A + \frac{B}{T + C} \quad (5.2)$$

Na qual μ é a viscosidade expressa em centipoises, A , B e C são constantes e T é a temperatura do óleo.

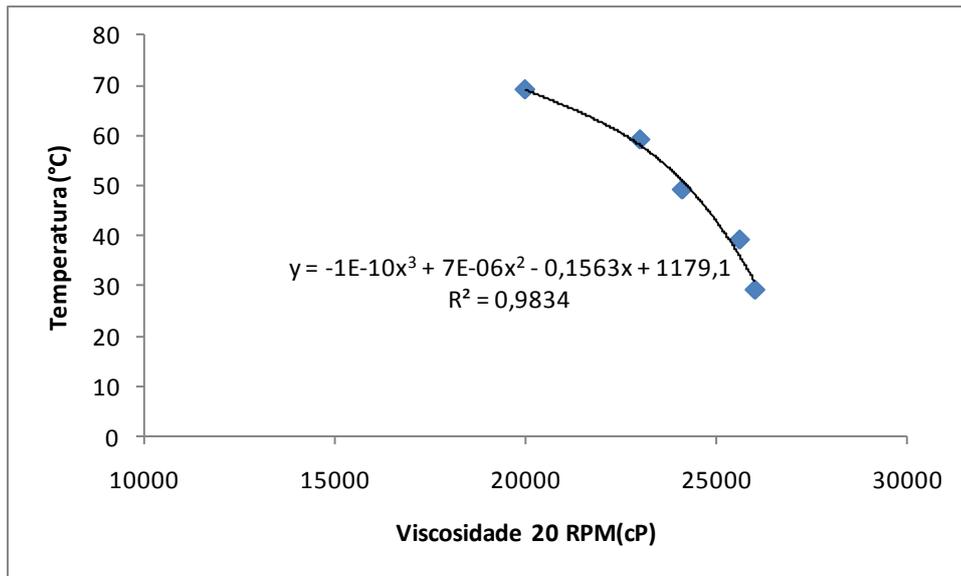


Figura 24 – Dependência da Viscosidade da Lecitina com a Temperatura.

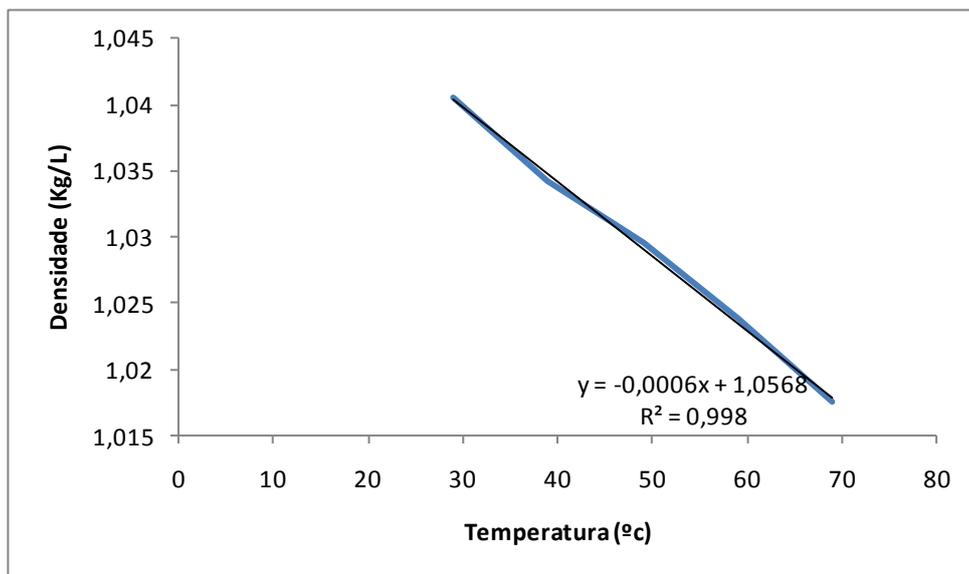


Figura 25 – Dependência da Densidade da Lecitina com a Temperatura.

Através destes comportamentos dos componentes, em relação à temperatura e do Balanço de Forças descrito na seção 4, foi calculado o comportamento da velocidade de sedimentação em relação à variação da temperatura utilizando a Equação 4.18. Os resultados estão expostos na Figura 26.

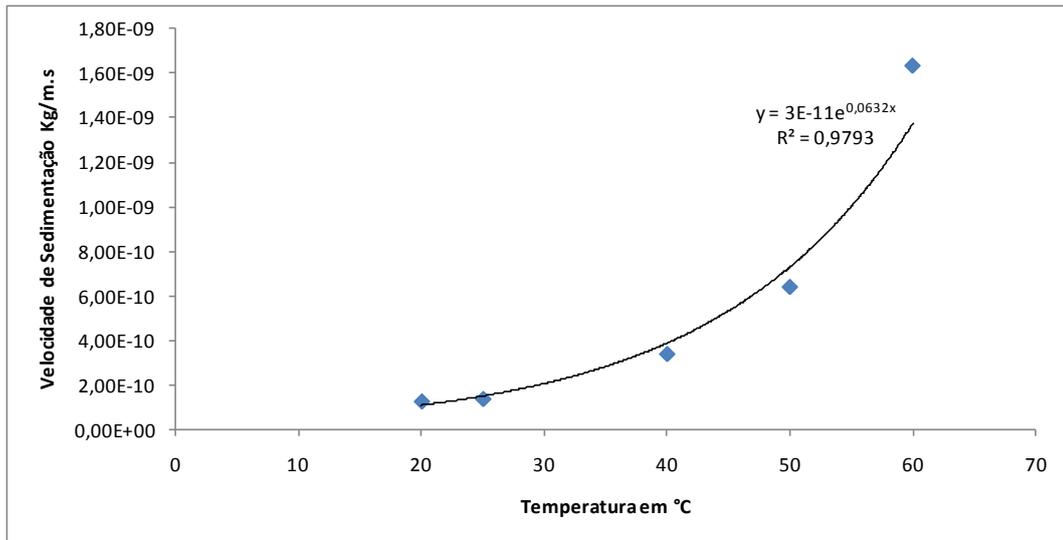


Figura 26 – Comportamento da velocidade de sedimentação e a temperatura

A partir desta avaliação do comportamento da velocidade de sedimentação fica evidente a importância da temperatura no processo de degomagem, pois pela teoria de centrifugação o aumento da velocidade de sedimentação é diretamente proporcional ao aumento da vazão de produção do equipamento.

Na planta em análise, a utilização do óleo quente vindo da extração de óleo para realizar a degomagem é uma estratégia bastante importante, visto que minimiza o consumo de energia para aquecê-lo, conforme comumente é realizado em plantas que não possuem esta opção de integração energética.

5.5 RESULTADOS DA VARIAÇÃO DE PRESSÃO

Nesta análise, foram mantidas constantes a vazão de alimentação de óleo bruto, a composição do mesmo e a quantidade de água de hidratação, variando-se apenas a pressão contra corrente do óleo entre 0,9 a 2 bar. Os resultados estão expostos na Figura 28.

Foi verificada uma forte correlação entre o aumento da pressão e o arraste do óleo. Conforme Erickson (1987), a eficiência de separação pode ser alcançada durante a operação por meio de ajustes da pressão da contra corrente do óleo.

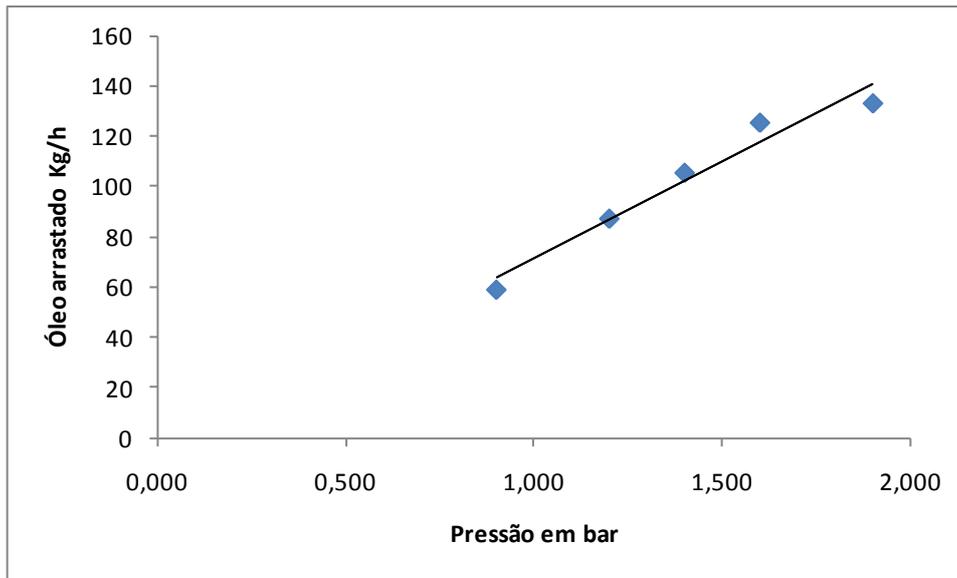


Figura 27 - Variação da contra pressão em relação ao óleo arrastado.

A equação 4.35 que relaciona o fator de separação com a variação de pressão não pode ser validada, pois o equipamento permitiu ajustar apenas a pressão de contra corrente e não realizar a medição da variação da pressão interna, que está envolvida no cálculo da equação sugerida. Logo, foi apenas evidenciado, conforme já previsto na literatura, que a pressão de contra corrente afeta o controle do arraste, porém sem um modelo matemático convalidado com dados experimentais.

6. SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE DEGOMAGEM DO ÓLEO BRUTO DE SOJA

A simulação da modelagem proposta possui a finalidade de obter as concentrações das correntes de saída da centrífuga a partir de um conjunto de dados de entrada para atingir a convalidação do modelo frente aos dados industriais e buscar simular o comportamento da operação em relação às mudanças de parâmetros. O simulador foi estruturado no *Excell* inicialmente, e assim, os resultados obtidos alimentaram a ferramenta *Response Surface* do programa estatístico *Minitab*.

6.1 CONVALIDAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

Para a convalidação do modelo foi utilizado o fator de separação calculada pela equação 4.20, exposta na seção 4, através das medidas realizadas do raio dos discos e da velocidade angular, obtendo assim um fator de separação de 9880. Os dados foram simulados considerando uma temperatura constante. Os resultados dos dados simulados frente aos dados experimentais estão expostos nas Figuras 29 e 30.

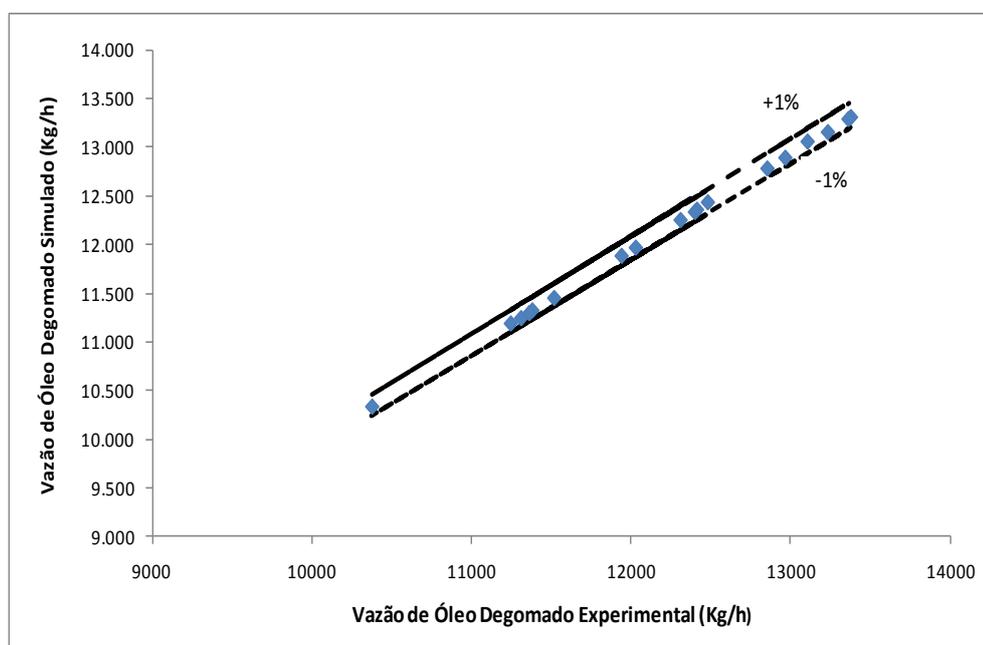


Figura 28 - Modelo simulado frente aos dados experimentais para a corrente de saída do óleo degomado.

Nesta comparação entre os dados simulados e os dados experimentais da Figura 30, o modelo obteve dados satisfatórios com erros inferiores a 5% para a corrente de saída de do óleo.

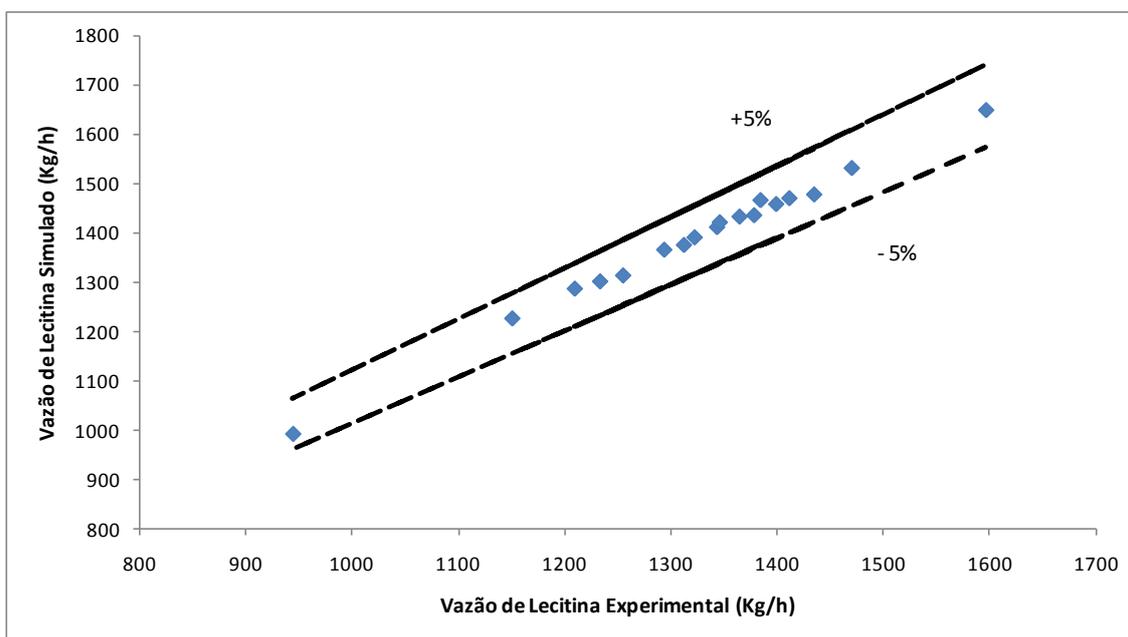


Figura 29 - Modelo simulado frente aos dados experimentais para a corrente de saída da lecitina.

Na Figura 30, os dados simulados e os experimentais resultaram em erros inferiores a 5%. A comparação entre os dados simulados e os experimentais para a composição das correntes entradas e saídas do processo estão na Tabela 16.

Tabela 16 – Dados experimentais frente aos dados simulados para as correntes de saída do processo de degomagem de óleo de soja.

CORRENTES DE SAÍDA	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	RESULTADOS SIMULADOS	% Erro
P - Vazão de Óleo Degomado (Kg/h)	13106,52	13056,264	0,38%
W - Vazão de Lecitina (Kg/h)	1596,48	1646,7136	3,10%
y - Fração mássica de óleo (%)	0,9949	0,9998	0,50%
x - Fração mássica de óleo na Lecitina (%)	0,402	0,380	5,80%

Realizando a variação da corrente de entrada do óleo bruto e do fator de separação nos intervalos que o processo de degomagem opera com o fator de separação

proposto, foi obtido o comportamento do modelo em relação aos experimentais para as frações de óleo nas correntes de saída do óleo degomado e lecitina na Figura 30.

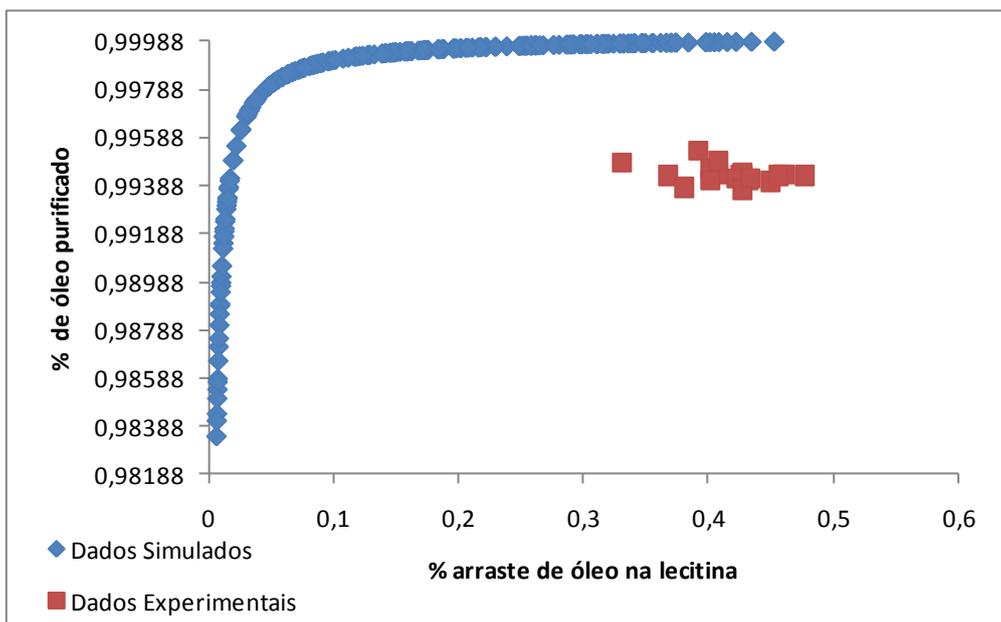


Figura 30 - Modelo simulado frente aos dados experimentais.

Nesta comparação, entre os dados simulados e os dados experimentais, o modelo adquiriu um comportamento satisfatório. Entretanto, com o objetivo de ajustar o modelo, um novo fator de separação foi calculado através da equação 3.40 com os dados experimentais, obtendo uma correção do fator de separação conforme a Tabela 17.

Tabela 17 – Correção do Fator de Separação.

α Ajustado	Fator de Correção E
272,56	0,0276
206,04	0,0209
223,75	0,0226
234,35	0,0237
255,93	0,0259
331,16	0,0335
300,14	0,0304
238,29	0,0241
389,64	0,0394
204,06	0,0207
260,63	0,0264
234,05	0,0237
190,45	0,0193
211,85	0,0214
282,34	0,0286
223,36	0,0226
251,15	0,0254
207,28	0,0210

Os dados simulados com o fator de separação corrigido frente aos dados experimentais estão na Figura 31.

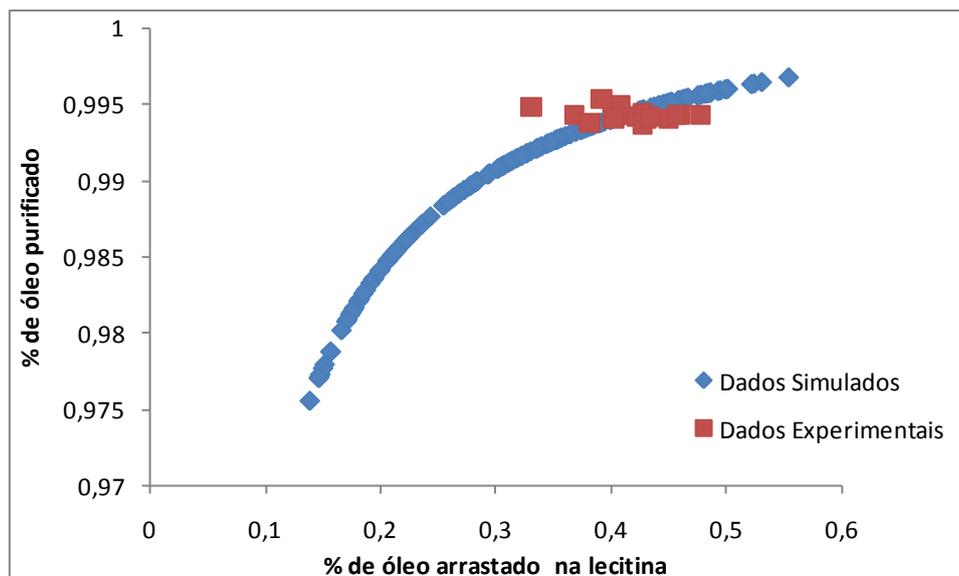


Figura 31 - Modelo ajustado e simulado frente aos dados experimentais.

Analisando todos os resultados simulados frente aos dados experimentais o modelo está convalidado para o processo de degomagem de óleo vegetais, pois o fator de separação obtido através do balanço de forças aderiu ao modelo de separação binário com resultados satisfatórios. Portanto, este modelo pode ser aplicado para análise do processo de degomagem no âmbito industrial.

6.2 SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE DEGOMAGEM

Observa-se que cada centrífuga possui um poder de separação, e este é um parâmetro projetado na construção do equipamento. Considerando uma centrífuga com o fator de separação ajustado fixo, foram realizadas simulações dos parâmetros do fator de corte e da fração de óleo bruto na corrente de alimentação, e obtiveram-se as faixas de trabalho que possibilitam prever o óleo arrastado na lecitina e o óleo purificado, a partir do controle das variáveis de processo tais como concentração do óleo bruto de entrada, fator de corte. As faixas de trabalho estão expostas nas Figuras 32 e 33.

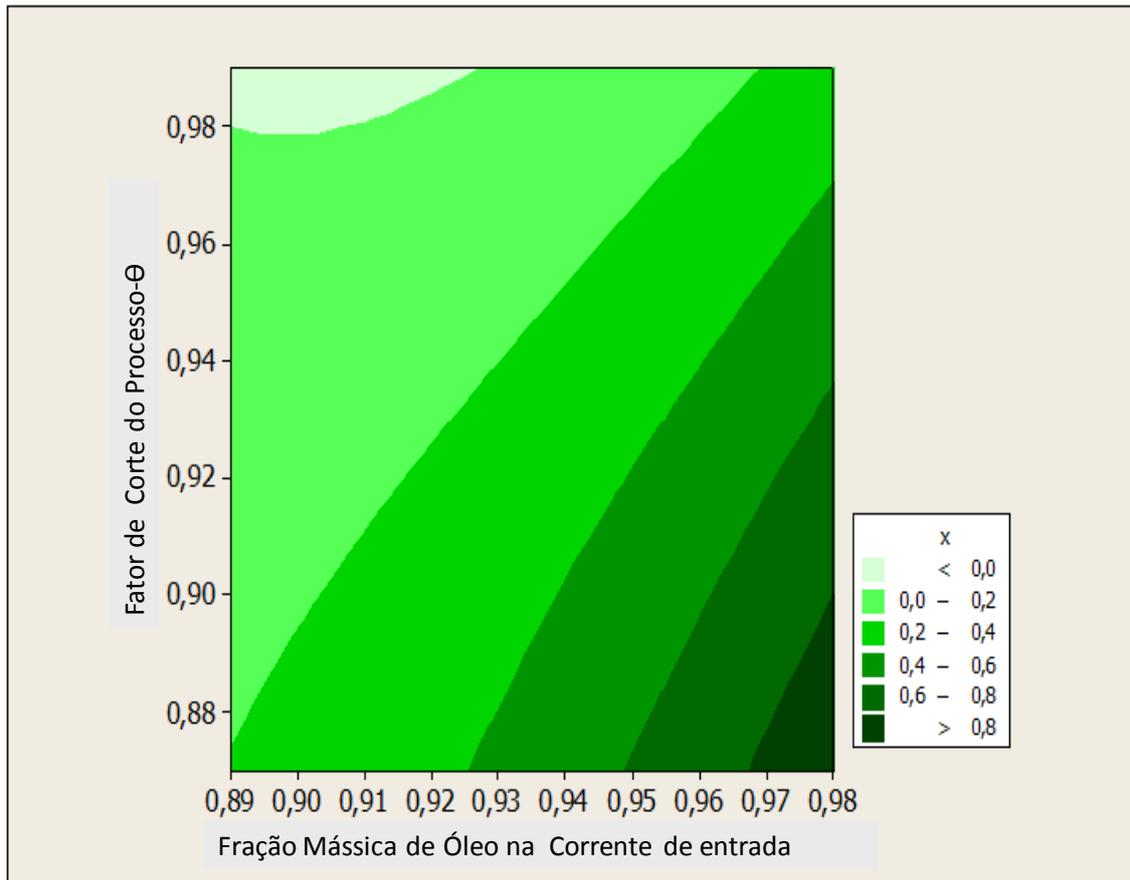


Figura 32 – Análise do comportamento da fração de óleo arrastado em relação ao fator de corte e a fração de óleo na entrada.

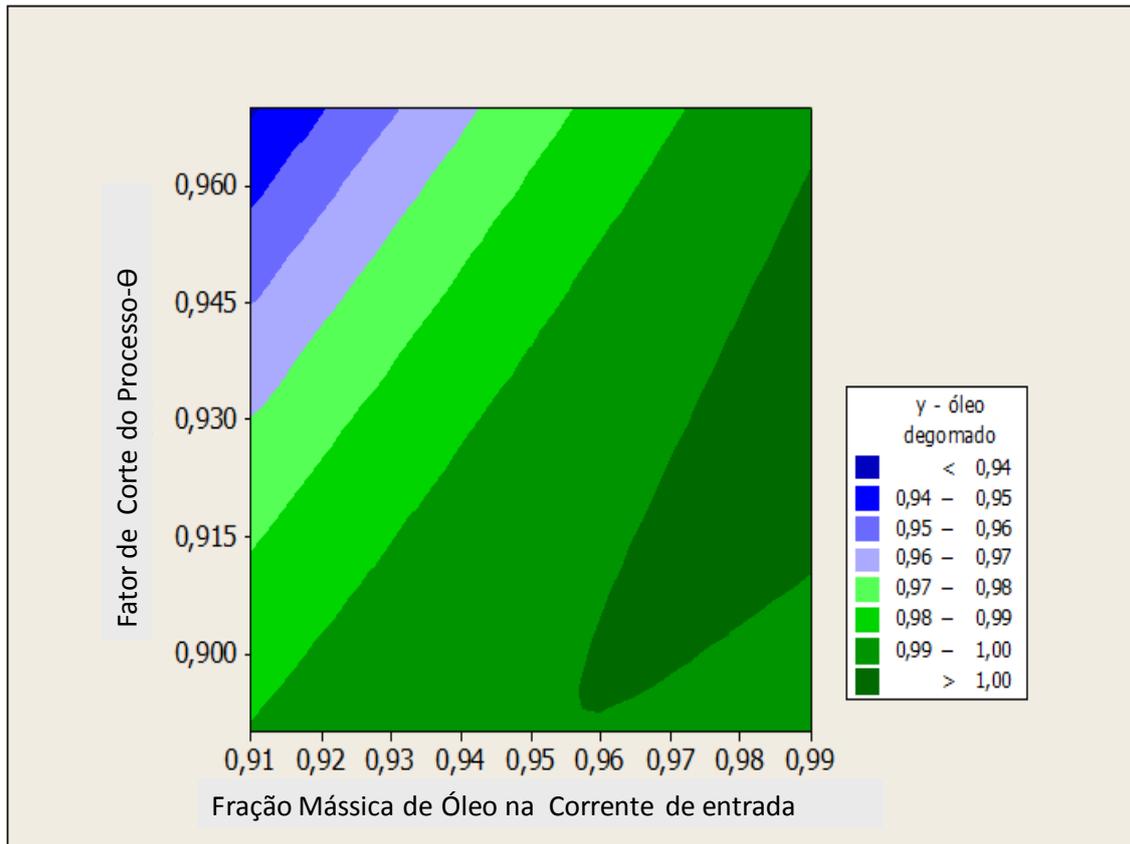


Figura 33 - Análise do comportamento da fração de purificação do óleo em relação ao fator de corte e a fração de óleo na entrada.

Analisando as faixas de operação obtidas nas Figuras 32 e 33 quando a operação é realizada para um fator de corte pequeno com uma fração de óleo maior, o arraste de óleo aumenta. Em contrapartida, nas mesmas condições a purificação do óleo se mantém mais estável.

O ideal é que se busque uma faixa de trabalho com arraste reduzido e boa purificação do óleo. No equipamento simulado, a faixa de concentração de óleo de 0,95 a 0,97, que são concentrações com dosagem de água recomendadas, e fator de corte de 0,94 e 0,96 é possível alcançar uma faixa de trabalho que traz ambos os benefícios para o processo.

A mesma análise foi realizada com o fator de separação não ajustado e foram obtidos os comportamentos seguintes expostos nas Figuras 34 e 35.

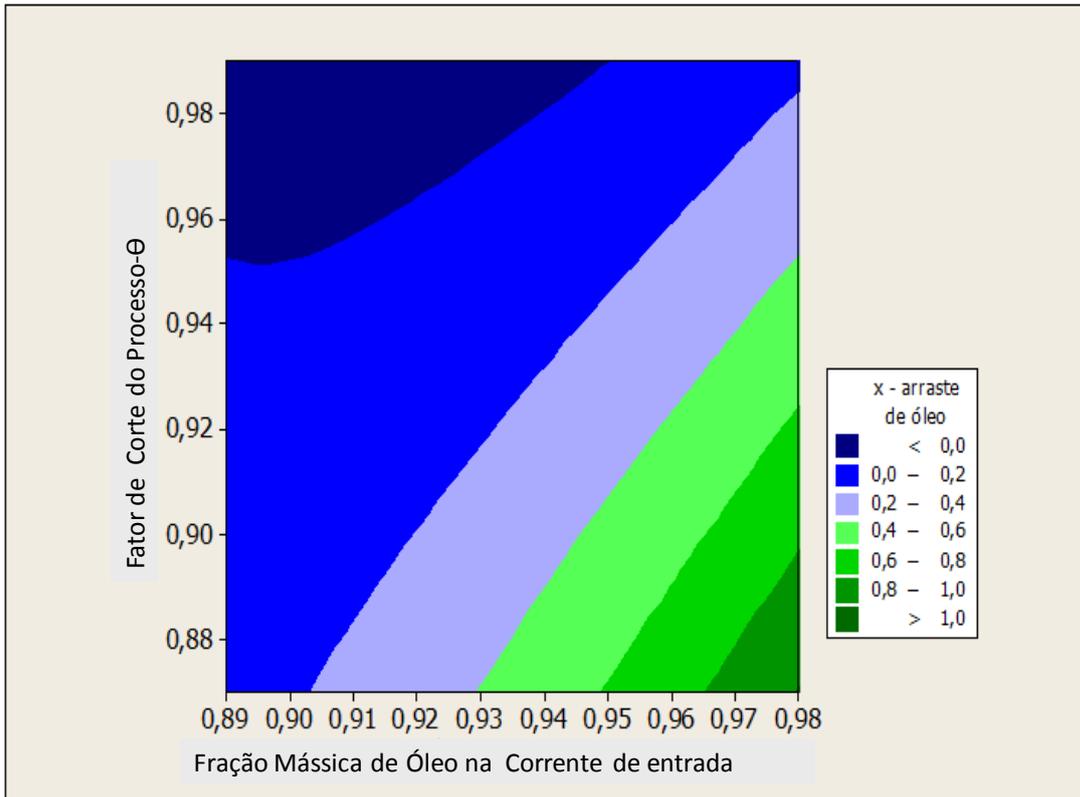


Figura 34 - Análise do comportamento do óleo arrastado - Modelo não ajustado.

O comportamento das faixas no intervalo sugerida acima de operação também proporciona uma boa faixa de operação no modelo não ajustado.

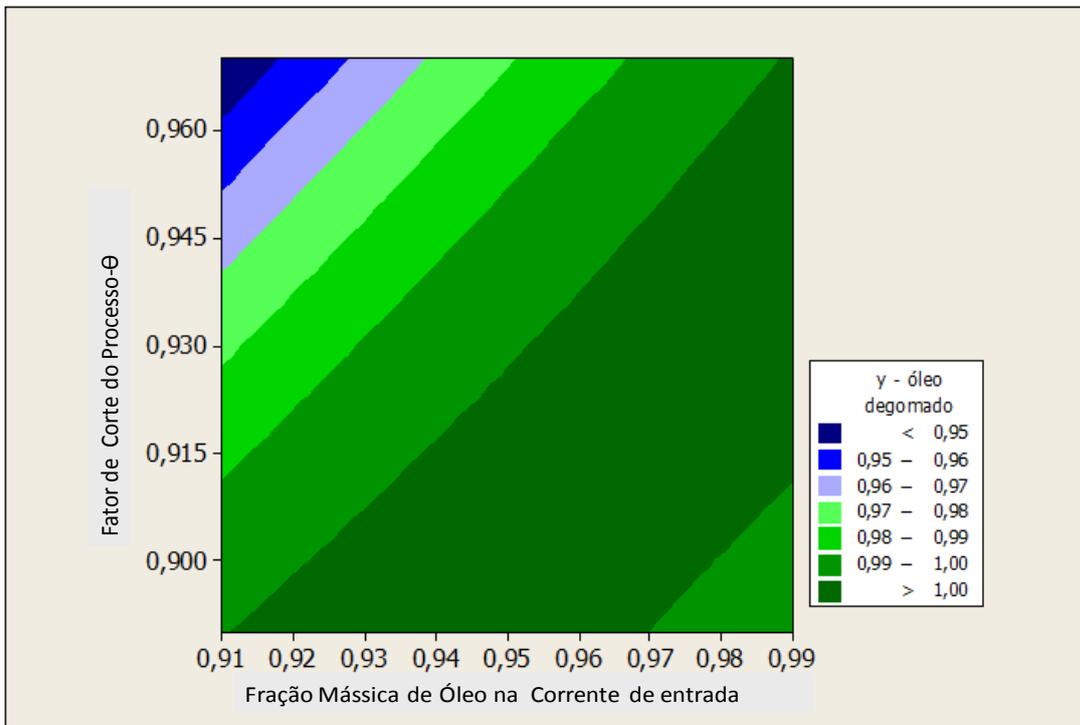


Figura 35 - Análise do comportamento do óleo degomado - Modelo não ajustado.

Avaliando a influência do fator de separação no processo em relação ao fator de corte para uma concentração de óleo em torno de 0,95, novamente tem-se que independente do fator de separação, fatores de corte pequenos aumentam o arraste de óleo, conforme, pode ser conferido na Figura 36.

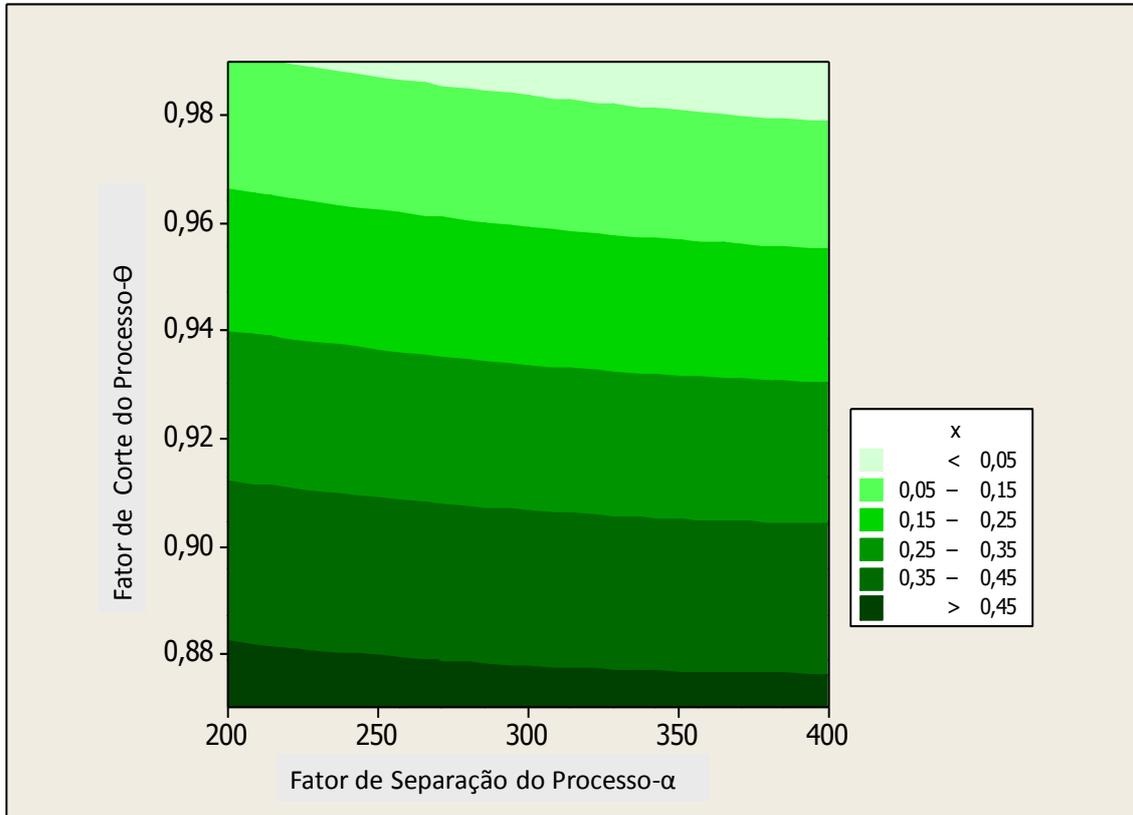


Figura 36 - Análise do comportamento do Arraste de óleo em relação ao fator de separação e o fator de corte.

Contudo, o comportamento de arraste do mesmo fator de corte para diferentes fatores de separação não sofre alteração tão elevada. A purificação do óleo com o variável fator de corte e fator de separação também não passou por uma alteração elevada, quando foram avaliados diferentes fatores de separação, conforme Figura 37.

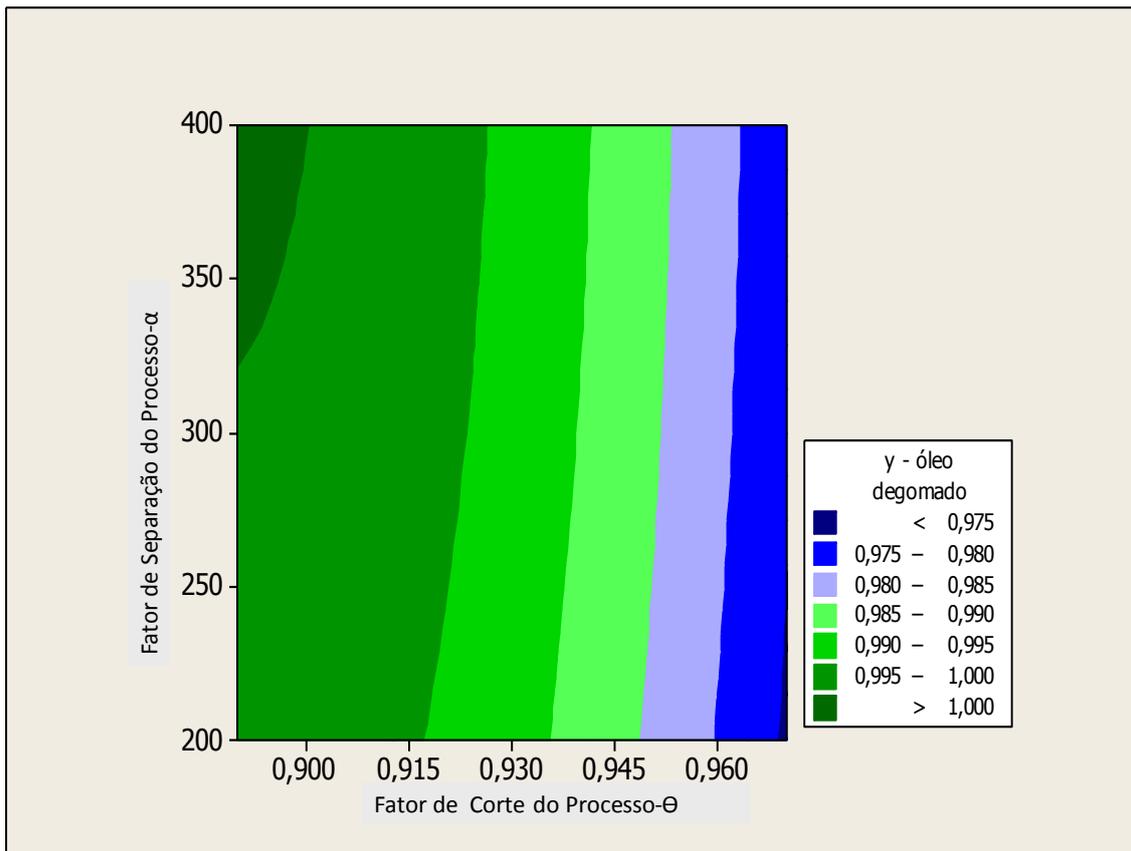


Figura 37 – Análise de Purificação do Óleo Degomado em relação ao fator de separação e ao fator de corte.

A partir destas simulações, percebe-se que o modelo é sensível quando se refere à concentração de entrada do óleo e ao fator de corte, logo as atuações nestas variáveis, concentração do óleo e fator de corte podem promover ganhos em rendimentos na operação de separação. O comportamento da simulação é coerente com a teoria de centrifugação, exposta no Capítulo 4 onde o rendimento de uma centrífuga pode ser melhorado quando se alteram as propriedades do produto como densidade e viscosidade, ou seja, neste caso quando ocorre o ajuste com a hidratação do óleo a ser degomado.

A vazão do equipamento, segundo a teoria, leva em conta o produto e o dimensionamento mecânico do mesmo, logo o fator de corte deve ser trabalhado juntamente com a concentração de óleo para não reduzir o tempo de residência do produto, pois segundo Salte *et al* (2006) apud Boychyn *et al.* (2000), para centrífugas de discos o tempo médio de residência de um sólido em uma área da centrífuga (A_c) é dado por :

$$t_{comp} = \frac{Ac}{2\phi Q} \quad (6.1)$$

Onde Q é vazão volumétrica e ϕ é a fração da vazão volumétrica do sólido. Portanto, o modelo é utilizado como uma ferramenta que permite ajustar os parâmetros de concentração da vazão de entrada e a própria vazão de entrada quando se ajusta o fator de corte, a fim de conseguir um óleo com boa purificação e perda de arraste esperada na temperatura na qual este processo foi analisado.

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Pelas considerações apontadas denota-se que o processo de degomagem foi representado satisfatoriamente pelo modelo matemático desenvolvido, apresentando resultados entre a fração mássica de óleo degomado e o arraste de óleo na lecitina.

O fator de separação teórico contribuiu com os resultados de convalidação, sendo possível ajustá-lo no processo e obter melhorias. Logo, este modelo pode ser usado para análise do processo de degomagem no âmbito industrial permitindo, uma vez conhecido o fator de separação do equipamento, ajustar a concentração adequada do óleo, o fator de corte que permite uma faixa de purificação e um arraste de óleo desejado.

Também é pertinente destacar a dosagem de água que exerce influência significativa sobre o arraste de óleo como previsto na literatura, sendo que no modelo matemático foi evidenciado nas simulações que a variável concentração do óleo interfere no resultado do processo.

Na planta industrial, onde foram coletados os dados, diante dos resultados existe uma oportunidade de redução na quantidade de água utilizada na hidratação, visto que a mesma está operando com a faixa de 3,5%, partindo do princípio que a purificação do óleo se manteve em regime permanente e o teor de fosfatídeos encontrados nas análises possui uma média de 2,5%. Assim, através de melhoria no controlador de dosagem de água para hidratação, a planta pode operar com dosagens próximas a 2,5%.

Observa-se que a planta em análise possui uma integração energética importante onde o óleo de alimentação da refinaria já entra no processo de degomagem aquecido, não havendo necessidade de aquecer, economizando energia nesta etapa, pois segundo as análises realizadas em laboratório e conforme a teoria exposta, a temperatura tem uma influência muito importante na purificação do óleo degomado, o que foi comprovado quando se avaliou um teor de fósforo menor às temperaturas maiores de centrifugação.

Além disso, foram evidenciadas as alterações nas densidades e viscosidades do óleo bruto com o aumento da temperatura, conseqüentemente a velocidade de sedimentação, que é um fator determinante no dimensionamento da centrífuga, possui uma grande correlação com a temperatura do processo.

No que diz respeito à contrapressão neste equipamento, as pressão próximas a 1 bar contribuiu para o menor arraste, e este parâmetro pode ser aplicado sem perdas na

escala de produção de degomagem. Assim, como sugestão de trabalho futuro, pode-se sugerir a validação do modelo com a combinação proposta do ajuste do fator de separação envolvendo a variação de pressão descrita no capítulo 4, pois durante os experimentos não foi possível medir a pressão interna do equipamento impossibilitando a validação do mesmo.

Outra sugestão de trabalho futuro seria uma melhoria no modelo que contemplasse também a influência da temperatura nas simulações, visto que a convalidação ocorreu à temperatura constante, mas foi comprovada a importância deste fator na velocidade de sedimentação.

Mesmo havendo algumas dificuldades industriais para validar o parâmetro pressão, dosagens menores de água e a influência da temperatura no arraste em escala industrial, o modelo se mostrou promissor, uma vez que os dados gerados podem contribuir para o melhor entendimento do processo de degomagem.

Destarte, este trabalho apresenta uma contribuição para os estudos de processamento de óleos vegetais, uma vez que são limitadas as informações sobre a modelagem de processamento de óleos, em específico o processo de degomagem.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIOVE, Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais- Tendência de Mercado da Soja. Disponível no site www.abiove.com.br. Acesso em: Janeiro 2011.

ACASIO, A.U. Soja Manejo y Almacenamiento. Libro de Oro de A&G - 15º Aniversario - v. 2: Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 191-196, 2005.

ANDERSON, D. Edible Oil and Fat Products Processing Technology Bailey's Industrial Oil and Fat Productsed. Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, v. 5, p. 11-20, 1996.

AMARAL, L.; JAIGOBIND, S.J.; JAIGOBIND, A.G.A. DOSSIÊ TÉCNICO: Óleo de soja. Paraná: Serviço Brasileiro de Resposta Técnica, 32 p., 2006. Instituto de Tecnologia do Paraná. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br/dossies-tecnicos>>. Acesso em: 20 mar. 2011.

AOCS, Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. 5a ed., Champaign, 1998.

BIRD, R Byron et al. Transport Phenomena, 2a ed., p. 726-763, 2005.

BRUESKE, D.G. Procesos de separación aceite/ harina. Libro de Oro de A&G - 10º Aniversario - v. 1: Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 533-542, 2000.

BLOCH, Márcia. Estudo sobre fosfatídios em óleo de soja. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1983.

BLOCK, Sergio. Desarrollos recientes em el desgomado y La neutralización de aceites vegetales. Libro de Oro de A&G - 10º Aniversario - v. 2: Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 48-54, 2000.

BOCKISCH, Michael. Fat and Oils Handbook, 1 ed., Champagin Illions, 1998.

BRAVERMAN, Viky. Productos Comerciales de Lecitina. Libro de Oro de A&G - 10º Aniversario - v.3: Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 163-164, 2000.

COULSON, J.M.; RICHARDSON, J.F. Tecnologia Química: Operações Unitárias, 2a ed., v. 2, 1968.

CAMPRO, I. El proceso Zenith – Um método no convencional em la refinación de aceites comestibles. Libro de Oro de A&G - 10º Aniversario – v.2 : Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 60-66, 2000.

CUSTÓDIO, F.A. Modelagem e Simulação do Processo de Separação de Óleo de Soja- Hexano por Evaporação. 230 p. Campinas: FEQ, UNICAMP, 2003. Tese (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 2003.

DIEZ, Roberto. Superdesgomado de aceites crudos. Libro de Oro de A&G - 10º Aniversario – v. 2 : Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 111-120, 2000.

DIJKSTRA, J. Albert. Desgomado, refinación, lavado y secado de aceites y grasas. Libro de Oro de A&G - 10º Aniversario – v.2 : Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 13-29, 2000.

DORSA, Renato. Tecnologia de Óleos Vegetais. Westfalia Separator do Brasil, Campinas: Ideal, 2004.

EICKHOFF, K.P. Ventajas de la refinación alcalina sobre la refinación física de grasas y aceites comestibles. Libro de Oro de A&G - 10º Aniversario – v. 2 : Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 73-82, 2000. Westfalia Separator AG, Oelde.

ERICKSON, R.D. Aspectos críticos en la refinación del aceite de soja. Libro de Oro de A&G - 10º Aniversario – v. 2: Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 30-38, 2000.

ERICKSON, R.D. Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization, St. Louis – Missouri, p. 1-12, 1980.

FOUST,A,WENZLE,L.A.,CLUMP,C.W.,MAUS,L.,BRYCE,A.L.(2000).Princípios das Operações Unitárias. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S.A. , p. 539-554

FRÉ, N.C. Obtenção de ácidos graxos a partir da acidulação de borra de neutralização de óleo de soja. 2009. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

GARCIA, F.W.; JUAN, M.A. Aceite de Soja – Producción nacional e internacional Exportacion, consumo e industrialización. Libro de Oro de A&G - 10º Aniversario – v.1: Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 66-71, 2000.

GEANKOPLIS, C.J. Transport processes and unit operations, Printice Hall, New Jersey, 2003., p. 828 -845.

GIVON V.; TIRTIAUX A.P. Revisión de los distintos métodos para la eliminación de gomas y ceras. Libro de Oro de A&G - 10º Aniversario – v. 2 : Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 101-110, 2000.

GUPTA, K.M. Procesos para mejorar la calidad Del aceite de soja. Libro de Oro de A&G - 10º Aniversario – v.1 : Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p.59-64, 2000.

GUPTA, R.; MURALIDHARA, S.H. A Novel Approach to Process Crude Oil Membrane Concentrate Using a Centrifuge. Journal American Oil Chemical. Soc., 79, p. 419–423, 2002.

HAMMOND, E.G. et al. Bailey's Industrial Oil and Fat Products: Edible Oil and Fat Products: Edible Oils. 6. ed. Ames, Iowa: Wiley-Interscience, Iowa State University, v.2, p. 577-653, 2005.

HARTEN, B.; EICKHOFF, K.P. El uso de Decantadoras y Separadoras Centrífugas en la Industria Oleoquímica. Libro de Oro de A&G - 10º Aniversario – v. 3 : Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 35-48, 2000.

IMRAM, Nazlim, Tetra Pak Processing Systems, Soya Handbook, 2003

KEMPER G.T. Edible Oil and Fat Products Processing Technology, Bailey's Industrial Oil and Fat Products, ed. Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, p. 57 - 98, 1996.

KREISNER, Samuel. Refinação do Óleo de Soja. In: MIYASAKA, S. & MEDINA, C. Ed. A Soja no Brasil. Campinas, 1981.

KULLENBERG, F.W. Lecithin in Animal Health and Nutrition.,In.: LECITHINS: Sources,Manufacture & Uses., Edited by Szuhaj F. B. AOCS, Champaign,Illinois, p. 97-108, 1989.

LAMMARINO, Michael et. al. Impact of Cell Density and Viability on Primary Clarification on Primary Clarification of Mammalian Cell Broth. An Analysis Using Disc-Stack Centrifugation and Charged Depth Filtration. BioProcess Internation, p. 38-50, November, 2007.

LIST, R.G. Commercial Manufacture of Lecithin.,In.: LECITHINS: Sources,Manufacture & Uses, Edited by Szuhaj F. B. AOCS, Champaign, Illinois , p. 145-162, 1989.

LOPES, K.S. Avaliação da etapa de clarificação do óleo de soja através de planejamento composto central e investigação do potencial de melhoria energética no processamento da soja. 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharias (PIPE), Departamento de Engenharia de Processos Térmicos e Químicos, Universidade Estadual do Paraná, Curitiba, 2008.

MAG, K.T.I. Blanqueo: Teoría y práctica. Libro de Oro de A&G - 10º Aniversario – v. 2 : Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 134-143, 2000.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria n. 795, de 15 de dezembro de 1993. Aprova as normas de identidade, qualidade, embalagem, marcação e apresentação do óleo e do farelo de soja. Diário Oficial da União, Brasília, 20 dez. 1993.

Disponível em: www.claspar.pr.gov.br/arquivos/File/pdf/farelosoja795_93.pdf Acesso em: 20 fev 2011a.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Cultura Soja. Disponível WWW.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/soja acesso em junho/2012.

MCCABE,L.W., Smith C. J.. Unit Operations of Chemical Engineering. Ed. 5. Mcgraw-Hill Internacional Editins,1993.

MEDINA, A. L. Producción Y Usos de La Lecitina de Soya, Soyanoicias, p. 1-5, 1996.

MORETTO, E.; FETT, R. Óleos e Gorduras Vegetais (Processamento e Análise), UFSC, Florianópolis, 1986a.

NOUREDDININ H.; Toh,B.C.Clement, S.D. Viscosities of Vegetables oils and fatty acids. Jounael American Oil Chemical Society, p. 1189-1191, 1992

ONG. L. El impacto de las condiciones de preparación de las semillas de soja. Libro de Oro de A&G - 15º Aniversario – v.2 : Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 227-233, 2005.

OLIVEIRA, Cristiana. Proposta de Modelagem Transiente para a Clarificação de Óleos Vegetais – Experimentos Cinéticos e Simulação do Processo Industrial. 20 de Fevereiro 2001. 144f. Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

PARAÍSO, P.R. Modelagem e Análise do Processo de Obtenção de Óleo de Soja. 220f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001a.

PERKINS, E.G. in: Pratical Handbook of Soybean Processing and Utilization, AOCS Press and the United Soybean Board, 1995.

PERRY, R.H e CHILTON, C.H. Chemical Engineers' Handbook, 5 ed., Tokyo, 1984.

PINTO, Alice Regina et al. Manual de normalização de trabalhos acadêmicos. Viçosa, MG, 2011. 88 p. Disponível em:<<http://www.bbt.ufv.br/>>. Acesso em: 18/07/2012.

POUZET, A. Conociendo la soja por dentro. Libro de Oro de A&G - 10º Aniversario – v. 1 : Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 50-51, 2000.

RIBEIRO, Ana Paula Badan et al. The optimisation of soybean oil degumming on a pilot plant scale using a ceramic membrane. Journal Of Food Engineering, Campinas, p. 514-521. 16 jan. 2008.

Disponível em: <www.sciencedirect.com>. Acesso em: 05 mar. 2011.

SCRIMGEOR, Charlie. Edible Oil and Fat Products Processing Technology, Bailey's Industrial Oil and Fat Products, ed. Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, v. 1, p. 1-43, 1996.

SIPOS, E.F.; SZUHAI, B.F. Aceite de soja: Composición y propiedades físicas. Libro de Oro de A&G – 10° Aniversario: Recopilación de Artículos Técnicos, Argentina, n. 10, p. 52-58, 2000.

SINRAM, D. S.; MEYER L. El valor agregado de las lecitinas para uso em especialidades. Libro de Oro de A&G - 10° Aniversario – v.2 : Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 716-721, 2000.

SÁ, L.A. Desacidificação de óleo de soja por extração líquido-líquido. 2007. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

SALTE. H., A Methodology for Centrifuge Selection for the Separation of High Solids Density Cell Broths by Visualisation of Performance Using Windows of Operation, Wiley Periodicals, Inc. Biotechnolog and Bioengineering, v. 95, n° 6, December, 2006.

SANTOS L.K.; Zanetti S.L., Obtenção, Purificação e Usos de Lecitina de Soja, In: MIYASAKA, S.. & MEDINA, C. , Ed. A Soja no Brasil. Campinas, ITAL, 1981, 963.

SCHNEIDER, M., Fractionation and Purification of Lecithin, In.: LECITHINS: Sources, Manufacture & Uses., Edited by Szuhaj F. B. AOCS, Champaign, Illinois, p. 109-130, 1989.

SINRAM, D.S.; MEYER Lucas. El valor agregado de las lecitinas para uso em especialidades. Libro de Oro de A&G - 10° Aniversario – v. 2 : Recopilación de Artículos Técnicos, Asociación Argentina de Grasas y Aceites, n. 10, p. 716-721, 2000.

SVARVSKY, Ladislav. Solid – Liquid Separation Handbook, Butterworth-Heinemann Elsevier plc Group, 4a ed., 2000.

CHERRY, P.; KRAMER, H. Plant Sources of Lecithin, In.: LECITHINS: Sources, Manufacture & Uses., Edited by Szuhaj F. B. AOCS, Champaign, Illinois, p. 16-21, 1989.

WILKINSON, John et. al. Perspectiva do Investimento em Agroindústria.
Instituto de Economia da UFRJ e Instituto de Economia da Unicamp, p. 46-55, 2006.