UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SEPARAÇÃO POR ASPIRAÇÃO DE FARELO DE SOJA

RENATO SILVA PIVATTO

CURITIBA

2013

RENATO SILVA PIVATTO

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SEPARAÇÃO POR ASPIRAÇÃO DE FARELO DE SOJA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Paraná, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Dra. Fernanda de Castilhos

CURITIBA

2013

DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE SEPARAÇÃO POR ASPIRAÇÃO DE FARELO DE SOJA

Renato Silva Pivatto

Dissertação submetida à Banca Examinadora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Paraná necessária como um dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Banca Examinadora:

_____

Prof[a]. Dra. Fernanda de Castilhos
Departamento de Engenharia Química - UFSM

_____

Prof[a]. Dra. Agnes de Paula Scheer
Departamento de Engenharia Química - UFPR

_____

Prof. Dr. Fernando Augusto P. Voll
Departamento de Engenharia Química - UFPR

Curitiba, fevereiro de 2013.

DEDICATÓRIA

A minha esposa Raira, companheira de todos os momentos, sempre me apoiando e incentivando em todos os projetos e realizações pessoais e profissionais. É em você que procuro meu conforto todos os dias, onde sempre busco a felicidade, você que sempre soube me respeitar e que me apoiou nos momentos em que estive ausente em prol deste trabalho. A você todo o meu amor.

Ao meu filho Matheus, que me serve de inspiração para que todos os dias eu me torne uma pessoa cada vez melhor e mais sábia, para poder assim passar a ele todos estes ensinamentos e que assim possa ter uma vida melhor e mais tranquila.

A minha mãe, que sempre me apoiou em todos os momentos de minha vida, que me deu a base de todos os ensinamentos para eu poder sempre seguir adiante.

A meu pai, minha fonte inspiradora, homem digno onde sempre me espelho e busco todas as respostas para as duvidas que a vida me trás.

Por fim aos meus irmãos Rodrigo e Fernanda, onde por muitas vezes compartilhamos os ensinamentos adquiridos e que com eles sempre tivemos momentos muito felizes na qual jamais esquecerei.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, ele todo soberano que abençoou e iluminou os caminhos certos a seguir.

A minha orientadora, Prof[a]. Fernanda, pela dedicação, orientação, apoio e incentivo a cada desafio surgido neste trabalho, também ao compartilhamento de seus conhecimentos que acrescentaram valores científicos ao trabalho.

A empresa IMCOPA, que acreditou e transformou esta ideia de trabalho em realidade.

A Diretora Técnica Paula, minha gestora que sempre apoiou e também dividiu informações e conhecimentos para a realização do trabalho.

Aos Engenheiros Rafael e Elvis, além de companheiros de trabalho, também amigos que a vida me trouxe e que sempre os levarei, onde compartilharam com a realização do trabalho, dividindo tarefas e afazeres em prol de um melhor resultado.

Ao projetista Marcos e o Supervisor de Montagem Blaudemir, que sem eles o projeto não sairia do papel, ajudando principalmente na etapa de *scale-up* do trabalho.

Ao analista Fábio, que muito cooperou com sua experiência na realização das análises.

E a todos que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho.

RESUMO

O farelo de soja é amplamente usado como composto na formulação de ração animal e seu principal componente é a proteína. Por isso, controles de qualidade do farelo são geralmente aplicados e estes são de extrema importância, uma vez que o teor de proteína fique fora da especificação acordado entre cliente e fornecedor, multas de alto valor são aplicadas. Com base neste controle de especificação da proteína presente no farelo de soja, este trabalho pretendeu desenvolver um sistema de separação por aspiração do farelo de soja com o objetivo de separar as cascas do farelo e consequentemente aumentar o teor de proteína deste farelo. Inicialmente testes em escala piloto foram realizados para avaliar as influências das variáveis no processo como vazão de farelo e depressão de aspiração, e a influência das etapas de processamento de moagem e peneiramento antes da aspiração. Resultados positivos de aumento do teor de proteína para o farelo de soja moído e peneirado foram encontrados no valor de 0,99% e consequentemente de redução da concentração de fibra de 0,83%. Com vistas a estes resultados positivos, o sistema foi implementado em escala industrial e a primeira avaliação foi com o farelo de soja peneirado. As depressões foram novamente avaliadas onde a que melhor se adequou ao sistema industrial foi a depressão de 65 mmCA para a parte retida na peneira e 40 mmCA para a fração do fundo. Fixado esta variável, um teste mais prolongado foi realizado para submeter o processo a um teste estatístico T bicaudal, para avaliar a diferença entre concentração de proteína na alimentação e na saída. O teste apontou que as proteínas encontradas no teste são realmente diferentes validando assim o sistema de separação, que teve um aumento de 0,78% de teor de proteína. O farelo de soja moído peneirado também foi submetido a testes de depressões, porém resultados menos expressivos foram encontrados, isto porque a tela usada no peneiramento foi a mesma utilizada no farelo de soja sem moer, que comprometeu a separação por aspiração da fração do fundo sobrecarregando a coluna de aspiração.

ABSTRACT

Soybean meal is widely used as a compound in the formulation of animal feed and its main component is protein. Therefore, quality controls measures are usually applied to the meal and these are extremely important, once the protein content is out of specification agreed between customer and supplier, high value fines are applied. Based on the specification control of the protein present in soybean meal, this work intended to develop a separation system by aspiration of soybean meal in order to separate the hull from the meal and consequently increase the protein content of this meal. Initially, pilot-scale tests were conducted to evaluate the influences of the variables in the process such as, meal flow rate, depression aspiration, and the influence of the processing steps like grinding and sieving before the aspiration. Positive results of increased protein content for ground and sieved soybean meal were found in the amount of 0.99% and consequently a reduction in fiber concentration of 0.83%. Aiming to these positive results, the system was implemented on an industrial scale and the first evaluation was with sieved soybean meal. Depressions were re-evaluated and the optimized depressions found for the industrial system were 65 mmCA to the portion retained on the sieve and 40 mmCA for the fraction of the fund. Set this variable, a longer test was performed to bring the process to a two-tailed T test statistic, to assess the difference between the protein concentration in the feed and outlet. The test showed that the proteins contents found are actually really different thus validating the separation system, which has increased by 0.78% of protein content. Soybean meal milled and sieved was also underwent tests of depression, but less significant results were found, because the screen used in the sieving step was the same used for the not ground soybean meal, that compromised the separation by aspiration of the fund fraction ,overloading the aspiration column.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1
1.1 Objetivo Geral 2
1.2 Objetivos Específicos 2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 3
2.1 A Soja 4
2.1.1 Lipídeos 5
2.1.2 Proteína 6
2.1.3 Carboidratos 8
2.1.4 Outros Componentes 9
2.2 A Soja no Brasil e Seu Mercado 10
2.3 Processo Industrial de Obtenção de Farelo de Soja 14
2.3.1 Preparação 15
2.3.2 Extração 22
2.3.3 Processo e Utilização do Farelo de Soja 25
2.4 Separação por Aspiração 26
2.4.1 Coluna de Aspiração ou Multi-Aspirador 28
2.4.2 Ciclone 33
2.4.3 Ventilador e Sopradores Centrífugos 34
3 MATERIAIS E MÉTODOS 38
3.1 Procedência e Caracterização da Matéria-prima 38
3.2 Unidade Piloto de Separação por Aspiração 41
3.3 Metodologia dos Testes Experimentais em Escala Piloto 43
3.4 Unidade Industrial de Separação por Aspiração 45
3.5 Metodologia dos Testes Experimentais em Escala Industrial 46
3.6 Especificação das Análises Laboratoriais 47
4 RESULTADOS 49
4.1 Resultados Obtidos em Escala Piloto 49
4.1.1 Aspiração do Farelo de Soja 51
4.1.2 Aspiração do Farelo de Soja Peneirado 53
4.1.3 Aspiração do Farelo de Soja Moído Peneirado 59
4.1.4 Aspiração do Farelo de Soja Moído 64

4.1.5 Aspiração em Alta Vazão 65
4.2 Resultados Obtidos em Escala Industrial 67
4.2.1 Separação por Aspiração do Farelo de Soja Peneirado em Escala Industrial 67
4.2.2 Separação por Aspiração do Farelo de Soja Moído Peneirado em Escala Industrial 74
5 CONCLUSÕES 77
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 79

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Balanço de Oferta e Demanda da Soja em Grão no Brasil. 13
Figura 2.2 - Balanço de Oferta e Demanda do Farelo de Soja no Brasil. 13
Figura 2.3 - Balanço de Oferta e Demanda do Óleo de Soja no Brasil. 14
Figura 2.4 - Sistema Convencional de Preparação da Soja para Extração. (Moore, 1983). 15
Figura 2.5 - Limpador com Aspirador. (Moore, N. H., 1983). 17
Figura 2.6 - Diagrama esquemático do extrator rotatório. (Davy PHG Process, Pittsburgh, PA). 23
Figura 2.7 - Extrator de Correia (De Smet, 2012). 24
Figura 2.8 - Extrator de *Loop* (Crown Iron Works, 2012). 24
Figura 2.9 - Sistema básico de Limpeza por Aspiração. (KICE, 2011). 27
Figura 2.10 - Funcionamento da Coluna de Aspiração (KICE, 2011). 29
Figura 2.11 - Ciclone: Funcionamento e Dimensional (Perry, 2007). 33
Figura 2.12 - Ventilador Radial ou de Palheta Reta (Perry, 2007). 35
Figura 2.13 - Ventilador de Palheta Curvada Para Frente (Perry, 2007). 35
Figura 2.14 - Ventilador de Palheta Curvada Para Trás (Perry, 2007). 36
Figura 3.1 - Comparação Granulométrica entre o Farelo de Soja e o Farelo de Soja Moído. 41
Figura 3.2 - Lay-out da Unidade Piloto da Coluna de Aspiração (P&D, IMCOPA). 42
Figura 3.3 - Unidade Piloto de Coluna de Aspiração (P&D, IMCOPA). 43
Figura 3.4 - Pontos de Coleta de Velocidade do Ar na Saída do Ventilador. ... 44
Figura 3.5 - Fluxo da Separação por Aspiração em Escala Industrial. 46

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Composição do Grão de Soja e Suas Partes Estruturais 4
Tabela 2.2 - Composição Típica do Óleo de Soja Bruto e Refinado 6
Tabela 2.3 - Composição Química Aproximada de Farelo de Soja Desengordurado 7
Tabela 2.4 - Composição de Aminoácidos da Proteína do Farelo de Soja 8
Tabela 2.5 - Balanço de Oferta e Demanda do Complexo Soja no Brasil 12
Tabela 2.6 - Análise Granulométrica de Grãos de Soja Quebrados 18
Tabela 3.1 - Especificação do Farelo de Soja 38
Tabela 3.2 - Teores de Umidade, Proteína e Fibra dos Farelos Utilizados nos Experimentos em Escala Piloto 39
Tabela 3.3 - Distribuição Granulométrica do Farelo de Soja 40
Tabela 3.4 - Distribuição Granulométrica do Farelo de Soja Moído 40
Tabela 3.5 – Análise de Umidade, Proteína e Fibra do Farelo de Soja Coletado na Industrial para Cálculo do Desvio Padrão das Respectivas Análises 48
Tabela 4.1 - Velocidade do Ar na Saída do Ventilador para Diferentes Depressões na Coluna de Aspiração 49
Tabela 4.2 - Vazão de Ar por Metro de Coluna na Saída do Ventilador para Diferentes Depressões na Coluna de Aspiração com 6 Declives 50
Tabela 4.3 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 20, 30, 40 e 50 mmCA do Farelo de Soja a 10 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação 52
Tabela 4.4 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados com Depressão de 20, 30, 40 e 50 mmCA do Farelo de Soja a 10 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação 52
Tabela 4.5 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca e Granulometria do Farelo de Soja Peneirado com Peneira de 2,04 mm de Abertura 53
Tabela 4.6 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 30 e 40 mmCA do Farelo de Soja Peneirado Retido na Peneira de 2,04 mm de Abertura a 20 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação 54

Tabela 4.7 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados com Depressão de 30 e 40 mmCA do Farelo de Soja Peneirado Retido na Peneira de 2,04 mm a 20 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação 54
Tabela 4.8 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 20 e 30 mmCA do Farelo de Soja Peneirado do Fundo da Peneira de 2,04 mm de Abertura a 20 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação 55
Tabela 4.9 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados com Depressão de 20 e 30 mmCA do Farelo de Soja Peneirado do Fundo da Peneira de 2,04 mm de Abertura a 20 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação..... 55
Tabela 4.10 - Análise Combinada dos Melhores Resultados Obtidos de Proteína da Separação por Aspiração do Farelo de Soja Peneirado com Peneira de 2,04 mm de Abertura a 20 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação..... 56
Tabela 4.11 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 40 mmCA do Farelo de Soja Peneirado Retido na Peneira de 2,04mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação 57
Tabela 4.12 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados com Depressão de 40 mmCA do Farelo de Soja Peneirado Retido na Peneira de 2,04mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação 57
Tabela 4.13 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 20 mmCA do Farelo de Soja Peneirado do Fundo da Peneira de 2,04 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação 58
Tabela 4.14 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados com Depressão de 20 mmCA do Farelo de Soja Peneirado do Fundo da Peneira de 2,04 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação 58
Tabela 4.15 - Análise Combinada dos Resultados Obtidos de Proteína da Separação por Aspiração do Farelo Normal Peneirado com Peneira de 2,04 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação 59
Tabela 4.16 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca e de Granulometria do Farelo de Soja Moído Peneirado com Peneira de 1,42 mm de Abertura 60

Tabela 4.17 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 30, 40 e 50 mmCA do Farelo de Soja Moído Peneirado Retido na Peneira de 1,42 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação 60
Tabela 4.18 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados com Depressão de 30, 40 e 50 mmCA do Farelo de Soja Moído Peneirado Retido na Peneira de 1,42 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação..... 61
Tabela 4.19 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressões de 10, 20, 30 e 40 mmCA do Farelo de Soja Moído Peneirado do Fundo da Peneira de 1,42 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação..... 62
Tabela 4.20 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados do Farelo de Soja Moído Peneirado do Fundo da Peneira de 1,42 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação..... 62
Tabela 4.21 - Análise Combinada dos Melhores Resultados de Proteína da Separação por Aspiração do Farelo de Soja Moído Peneirado com Peneira de 1,42 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação 63
Tabela 4.22 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 20, 30, 40 e 50 mmCA do Farelo de Soja Moído a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação..... 64
Tabela 4.23 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados do Farelo de Soja Moído a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação..... 65
Tabela 4.24 - Teores de Proteína e Fibra das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 30, 40 e 50 mmCA do Farelo de Soja Moído a 60 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação..... 66
Tabela 4.25 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados do Farelo de Soja Moído a 60 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação..... 66
Tabela 4.26 - Teores de Proteína e Fibra das Amostras Geradas da Separação por Aspiração das Frações Retida e Fundo do Farelo de Soja Peneirado em Peneira com 2,04 mm de Abertura com Diferentes Depressões..... 68
Tabela 4.27 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados do Farelo de Soja Peneirado em Peneira de 2,04 mm de Abertura 69

Tabela 4.28 - Teores de Proteína e Fibra das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 65 mmCA na Fração Retida e Depressão de 40 mmCA na Fração do Fundo do Farelo de Soja Peneirado em Peneira com 2,04 mm de Abertura 70
Tabela 4.29 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados com Depressão de 65 mmCA na Fração Retida e Depressão de 40 mmCA na Fração do Fundo do Farelo de Soja Peneirado em Peneira de 2,04 mm de Abertura 71
Tabela 4.30 - Teste Estatístico T Bicaudal para as Médias de Proteína de Entrada e Saída dos Testes com Depressão de 65 mmCA na Fração Retida e Depressão de 40 mmCA na Fração do Fundo do Farelo de Soja Peneirado em Peneira de 2,04 mm de Abertura 72
Tabela 4.31 - Teste Estatístico T Bicaudal para as Médias de Fibra de Entrada e Saída dos Testes com Depressão de 65 mmCA na Fração Retida e Depressão de 40 mmCA na Fração do Fundo do Farelo de Soja Peneirado em Peneira de 2,04 mm de Abertura 73
Tabela 4.32 - Teores de Proteína e Fibra das Amostras Geradas da Separação por Aspiração das Frações Retida e Fundo do Farelo de Soja Moído Peneirado em Peneira com 2,04 mm de Abertura com Diferentes Depressões..... 74
Tabela 4.33 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados do Farelo de Soja Moído Peneirado em Peneira de 2,04 mm de Abertura 75

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de processos e aplicações de proteína de soja ganharam muita atenção, como pode ser visto através de publicações incluindo o Handbook de Circle (1950) e de Smith e Circle (1972); patentes e procedimentos da conferência mundial da American Oil Chemists' Society (AOCS) de Munich em 1973 (1974), Amsterdam em 1978 (1979), Acapulco em 1980 (1981), Singapura em 1988 (1989) e Budapeste em 1992 (1993). A maioria dos trabalhos científicos sobre a soja tem sido direcionados ao leite de soja e tofu, em processamento de farelo e em processamento de extrusão. Desde a aplicação global das zonas 200-*mile-offshore*, que se refere ao limite comercial de pesca, e conseqüente o interesse em possíveis substitutos para produtos de peixe, cientistas japoneses tem se tornado o grupo mais proeminente em publicações de pesquisas sobre proteína de soja, seguido pela Coréia do Sul e os Estados Unidos (Lusas e Rhee, 1985).

A proteína de soja é comumente encontrada na forma de farelo de soja, que é um dos produtos gerados pela extração de óleo do grão de soja. Uma especificação típica para este farelo é de 48% para a proteína com níveis de 12 a 13 % de umidade.

Para obter estes valores industrialmente, controles de qualidades são constantemente realizados nas indústrias de modo a garantir que estes não fiquem fora da especificação acordada entre cliente e fornecedor. Quando não corretamente especificados, estes produtos acarretam em multa por parte do cliente ao fornecedor fazendo com que os lucros da empresa sejam reduzidos ou até mesmo tornando as atividades industriais inviáveis perante as concorrentes.

Neste sentido, o aprimoramento dos processos industriais através da padronização de parâmetros e de procedimentos, instalação de novos procedimentos e equipamentos para buscar melhores condições e aumento de qualidade dos produtos resultaria em maior rendimento e eficiência na produção.

Com base na obtenção desta "Proteína de Soja", este trabalho visa desenvolver um método de remoção de cascas do farelo de soja por separação

por aspiração, com a finalidade de aumentar os níveis de proteína presentes no farelo e assim garantir e melhorar a qualidade do farelo de soja e atender suas especificações.

1.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo principal desenvolver e avaliar a viabilidade de um sistema de separação industrial baseado na aspiração e aprimorar a separação das cascas do farelo de soja e consequentemente aumentar o teor de proteína no farelo.

1.2 Objetivos Específicos

Para que a meta principal seja alcançada, alguns objetivos específicos também são necessários:

- Avaliar a influência das variáveis de operação na eficiência da separação das cascas, com vistas ao aumento da concentração de proteína do farelo através de testes na unidade em escala piloto;

- Avaliar a influência da granulometria do farelo de soja na eficiência do processo de separação das cascas através de testes na unidade em escala piloto;

- A partir dos resultados obtidos em escala piloto, implementar o sistema de separação em escala industrial;

- Determinar as condições apropriadas das variáveis do processo para o sistema de separação implantado em escala industrial a partir de testes experimentais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como seu objetivo principal apresentar uma revisão bibliográfica a respeito da composição do grão de soja, da soja no Brasil e seu mercado, da obtenção de farelo de soja por extração com solvente orgânico (hexano) e do sistema de separação por aspiração em colunas de aspiração.

Ainda a respeito da revisão, observou-se que foram restritas para as operações envolvidas com o processo de obtenção de óleo e farelo de soja. Como se verificará, os trabalhos científicos, analisados e referenciados sobre as operações envolvidas no processo, carecem de atualidade pelo menos na literatura aberta. Estes se situam entre as décadas de 50 e 80. A partir de então até os dias atuais, uma revisão bibliográfica acurada mostrou que, durante a década de 90, houve uma estagnação no que se refere ao desenvolvimento científico do processo produtivo em si; porém, houve uma percepção de que os esforços do desenvolvimento científico, nestes últimos anos, se voltaram no sentido de agregar valor ao óleo e ao farelo de soja (Paraíso, 2001).

Com relação ao grão de soja, mostra-se sua composição estrutural e química, dando ênfase aos principais componentes encontrados no grão, que são os lipídeos, a proteína e os carboidratos.

No que se refere ao grão de soja e seus derivados, farelo e óleo, procura-se mostrar a evolução da produção nos últimos anos no Brasil, desde a safra 2008/09 até uma projeção na safra 2012/13; e mostra-se ainda a movimentação do mercado com relação ao consumo interno e as exportações dos mesmos produtos.

Já o que se refere à industrialização da soja e produção de seu farelo a contextualização das principais etapas do procedimento de fabricação do mesmo é apresentada com a descrição do processo de cada etapa e de alguns equipamentos, sendo estas mostradas de forma seqüencial, na forma de um fluxograma, onde todas as etapas estão interligadas como um todo.

Finalmente são mostrados os estudos sobre separação por aspiração, processo que foi utilizado para o desenvolvimento deste trabalho.

2.1 A Soja

A soja é um dos produtos da agricultura com maior valor econômico por causa de sua composição química única. Entre os cereais e outros legumes especiais, a soja possui a maior concentração de proteína (cerca de 40%); enquanto que legumes contêm entre 20% a 30% e cereais possuem uma concentração de proteína na faixa de 8 a 15%. A soja também contém cerca de 20% de óleo, a segunda maior quantidade entre todos os alimentos (a maior presença de óleo é encontrado no amendoim com cerca de 48% em base seca) (Salunkhe, 1983).

Na média, óleo e proteína juntos constituem cerca de 60% da soja seca. O restante do material seco é composto de principalmente carboidratos (cerca de 35%) e fibra (cerca de 5%). A quantidade de água no grão estocado é usualmente cerca de 13% para assegurar a estabilidade da estocagem, em uma base úmida, o grão de soja contém cerca de 35% de proteína, 17% de óleo, 31% de carboidrato e 4,4% de fibra (Liu, 1999).

Em geral, os grãos de soja cultivados contêm aproximadamente 8% de cascas, 90% de cotilédones e 2% de hipocótilo (Tabela 2.1). Cotilédones contêm a maior porcentagem de proteína e óleo, enquanto que as cascas os menores valores destes componentes. Assim, o óleo presente nas cascas é tão baixo que pode ser considerado apenas como resíduo deste componente. O hipocótilo tem uma proteína similar ao cotilédone, mas somente metade com relação os lipídeos. O cotilédone é o maior componente em todo o grão, abrangendo quase toda a semente independentemente da grande diferença composicional da maioria das partes estruturais (Liu, 1999).

Tabela 2.1 - Composição do Grão de Soja e Suas Partes Estruturais

		Composição Química (% Base Seca)			
	% Total	Proteína	Lipídeos	Carboidratos	Cinzas
Cascas	8,0	9,0	1,0	86,0	4,3
Hipocótilo	2,0	41,0	11,0	43,0	4,4
Cotilédones	90,0	43,0	23,0	29,0	5,0
Semente Total	100,0	40,0	20,0	35,0	5,0

Fonte: Valores adaptados de Wolf e Cowan, 1975.

2.1.1 Lipídeos

Durante o desenvolvimento da semente, o grão de soja estoca seus lipídeos, principalmente na forma de triglicerídeos, em uma organela conhecida como bolsa de óleo. Em algumas referências da literatura, bolsas de óleo são também chamadas de bolsas de lipídeos, esferossomos, oleossomos, ou vesículas lipídicas. As células têm paredes, membranas e citoplasma. Entretanto, ao contrário de células de plantas regulares, muitas organelas tal como os núcleos, mitocôndrias, e retículo endoplasmático desaparecem com a maturação da semente. Ao invés disso, as células contêm muitos corpos de proteína rodeados por muitas bolsas de óleos pequenas. Como outras culturas de óleo de semente, bolsas de óleos na soja são relativamente homogêneas nos tamanhos, ficando entre 0,2 a 0,5 μm de diâmetro. Elas são pequenas em tamanho comparado com as de amendoim, que ficam entre 1,0 a 2,0 μm de diâmetro (Jacks, 1967).

Durante o processo de extração, componentes extraídos do grão de soja por solvente orgânico, como o hexano, são classificados como óleo bruto. A maioria dos componentes do óleo bruto são os triglicerídeos (ou triacilgliceróis), os componentes em minorias são os fosfolipídeos, as matérias não saponificáveis, os ácidos graxos livres e traços de metais. Matéria não saponificável consiste de tocoferóis, fitosteróis e hidrocarbonetos. As concentrações destes compostos em minoria são reduzidas depois dos processos típicos de extração do óleo (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Composição Típica do Óleo de Soja Bruto e Refinado

COMPONENTES	Unid.	Óleo Bruto	Óleo Refinado
Triglicerídeos	%	95,0 – 97,0	> 99,0
Fosfatídeos	%	1,5 – 2,5	0,003 – 0,045
Ácidos Graxos Livres	%	0,3 – 0,7	< 0,05
Matéria Não-Saponificável	%	1,6	0,3
Fitosteróis	%	0,33	0,13
Tocoferóis	%	0,15 – 0,21	0,11 – 0,18
Hidrocarbonetos	%	0,014	0,01
Traços de Metais			
Ferro	ppm	1,0 – 3,0	0,1 – 0,3
Cobre	ppm	0,03 – 0,05	0,02 – 0,06

Fonte: Valores adaptados de Pryde 1980.

2.1.2 Proteína

A proteína é o componente de maior presença no grão de soja, com média de 40% do total em base seca. Assim, tem sido sugerido que o grão de soja deveria ser chamado de semente protéica ao invés de semente oleosa. Então, diferentemente do óleo de soja, que é usado em maior parte para consumo humano, a proteína da soja é usada largamente em ração. Somente uma pequena porção é para consumo humano direto, em alimentos de soja tradicional ou ingredientes protéicos. Portanto, a proteína de soja tem sido muito utilizada, particularmente no mundo ocidental, onde a demanda para rações animais requer um fornecimento estável do farelo de soja (Liu, 1999).

O termo proteína de soja tipicamente refere-se aos produtos de soja secos processados exceto farelo de ração animal. Muitos tipos destes produtos são produzidos para uso humano e rações de filhotes em substitutos de leite (Lusas e Rhee, 1985). A Tabela 2.3 mostra uma composição química aproximada deste produto proveniente da soja.

Tabela 2.3 - Composição Química Aproximada de Farelo de Soja Desengordurado

COMPOSTOS	Farelo de Soja Desengordurado	
	Base Úmida	Base Seca
Proteína Bruta (Nx6,25)	52 - 54	56 - 59
Lipídeos Livres Bruto	0,5 - 1,0	0,5 - 1,1
Fibra Bruta	2,5 - 3,5	2,7 - 3,8
Cinzas	5,0 - 6,0	5,4 - 6,5
Umidade	6,0 - 8,0	0
Carboidratos	30 - 32	32 - 34

Fonte: *Soy Protein Products, Soy Protein Council*, 1987.

A composição de aminoácidos da proteína do farelo de soja é mostrada na Tabela 2.4 a seguir. As proteínas de soja contêm substâncias chamadas Tripsinas Inibidoras que inibem a digestão das proteínas e das Haemaglutininas (Lectinas) que são nutricionalmente importantes. Assim o farelo de soja deve geralmente ser aquecido para que as Tripsinas sejam inativadas porque elas exercem efeitos negativos na qualidade nutricional da proteína da soja (Liener, 1981).

Tabela 2.4 - Composição de Aminoácidos da Proteína do Farelo de Soja

Aminoácidos	Farelo de Soja (1)
Alanina	4,0
Arginina	7,0
Ácido Aspártico	11,3
Cistina	1,6
Ácido Glutâmico	17,2
Glicina	4,0
Histidina	2,7
Isoleucina	4,9
Leucina	8,0
Lisina	6,4
Metionina	1,4
Fenilalanina	5,3
Prolina	4,7
Serina	5,0
Treonina	4,2
Triptofano	1,2
Tirosina	3,9
Valina	5,3

Fonte: Central Soya Company, Inc. Fort Wayne, IN, 1994.

(1) Valores expressos em gramas de aminoácidos por 100 gramas de proteína.

2.1.3 Carboidratos

O termo carboidrato, também conhecido como sacarídeo, refere-se à classe de compostos com uma fórmula química geral $C_n(H_2O)_m$ e seus derivados. Inclui açúcares simples (mono e dissacarídeos), oligossacarídeos e polissacarídeos. Polissacarídeos são também conhecidos como complexo de carboidratos, comumente incluindo amido e alguns compostos estruturais de paredes das células (celulose, hemicelulose e pectina).

Na média, os grãos de soja na base seca contêm cerca de 35% de carboidratos. Portanto, eles são o segundo maior componente do grão de soja. Como o valor econômico do carboidrato da soja é considerado menos importante se comparado a proteína e ao óleo da soja, relativamente poucos esforços têm sido feitos para o estudo dos carboidratos da soja e suas potenciais utilizações. O principal uso do carboidrato da soja tem sido em rações animais que contribuem na caloria de dietas.

A soja contém traços de monossacarídeos, como glicose e arabinose, e quantidades mensuráveis de di e oligossacarídeos, como a sacarose na faixa de 2,5 a 8,2%; rafinose 0,1 a 0,9%; e estaquiose 1,4 a 4,1%. Basicamente, os oligossacarídeos na soja são açúcares não-redutores, contendo frutose, glicose e galactose com duas ou mais unidades, ligadas por ligações β-frutosídica e α-galactosídica (Hymowitz, 1972).

Dentre os carboidratos solúveis, rafinose e estaquiose merecem mais atenção, principalmente porque suas presenças têm sido ligadas a flatulência e desconforto abdominal associadas com consumo humano de grãos e produtos de soja. De fato, flatulência é um dos maiores fatores que limita a utilização da soja como alimento (Streggerda, 1996).

Os carboidratos insolúveis na soja incluem a celulose, hemicelulose, pectina e traços de amido. Eles são componentes encontrados principalmente nas paredes celulares. A casca da semente compõe cerca de 8% de todo o grão da soja em base seca e contém cerca de 86% de carboidratos complexos. As paredes celulares da soja contêm cerca de 30% de pectinas, 50% de hemicelulose e 20% de celulose (Kikuchi, 1971).

2.1.4 Outros Componentes

Além de lipídeos, proteínas e carboidratos, no grão de soja são também encontrados vários outros componentes em minoria como minerais, vitaminas, fitatos e flavonóides.

A soja seca tem aproximadamente 5% de cinza. A maioria das formas de minerais nas cinzas são sulfatos, fosfatos e carbonatos. Entre os componentes majoritários na soja, o potássio é encontrado em maior concentração, seguido pelo fósforo, magnésio, enxofre, cálcio, cloro e o sódio.

As presenças destes minerais variam de 0,2 a 2,1% na média. Os minerais minoritários na soja e produtos de soja incluem o silício, ferro, zinco, manganês, cobre, molibdênio, flúor, cromo, selênio, cobalto, cádmio, chumbo, arsênio, mercúrio e o iodo, onde a presença destes minerais varia de 0,01 a 140 ppm. Assim como os outros componentes da soja, os minerais na soja são também influenciados pela variedade, local de cultivo e época de plantio (O´Dell, 1979).

Grãos de soja contêm vitaminas solúveis em água e em óleo. As solúveis em água presente na soja são principalmente as tiaminas, riboflavina, niacina, ácido pantotênico e acido fólico. As solúveis em óleo presentes na soja são as vitaminas A e E, essencialmente sem as vitaminas D e K. A vitamina A existe principalmente como a provitamina β-caroteno. A vitamina E é também conhecida como tocoferol, e tem quatro isômeros, α-, β-, τ-, δ-tocoferóis (Liu, 1999).

O fitato é o sal de cálcio, magnésio, potássio de ácido inositol hexafosfórico comumente conhecido como ácido fítico. Fitato e ácido fítico são também chamados em algumas literaturas de fitinas.

As isoflavonas pertencem ao grupo de compostos que divide uma estrutura básica consistindo de dois anéis benzil juntos a uma ponte de três carbonos, que podem ou não ser fechados em um anel pirano. Este grupo de compostos é conhecido como flavonóides. Além de isoflavonas, outras subclasses de flavonóides incluem pigmentos como antocianinas vermelhas e azuis, flavonas, flavonois, flavanois, auronas e calconas (Deshpande, 1984).

2.2 A Soja no Brasil e Seu Mercado

Desde o final da década de 90, poucos países cresceram tanto no comércio internacional do agronegócio quanto o Brasil. O país é um dos líderes mundiais na produção e exportação de vários produtos agropecuários. É o primeiro produtor e exportador de café, açúcar, etanol e suco de laranja. Além disso, lidera o *ranking* das vendas externas do complexo de soja (grão, farelo e óleo), que é o principal gerador de divisas cambiais (Ministério da Agricultura, 2012).

A soja é a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas três décadas e corresponde a 49% da área plantada em grãos do país. O aumento da produtividade está associado aos avanços tecnológicos, ao manejo e eficiência dos produtores (Ministério da Agricultura, 2012).

A seguir na Tabela 2.5 pode ser visto segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais (ABIOVE) os quadros do balanço oferta e demanda no Brasil para o complexo soja - grão, farelo e óleo – nos últimos 4 anos comerciais (valores expressos em 1.000 toneladas) e uma previsão para o ano comercial 2012/13. A partir dos dados desta tabela, construíram-se os gráficos das Figuras 2.1, 2.2 e 2.3 onde nota-se claramente o crescente aumento da produção e colheita do grão de soja, fazendo com que também aumentem os índices de processamento e produção de farelo e óleo de soja, mesmo com uma previsão de diminuição da produção do grão para 2012/13, a tendência é que o crescimento continue para os próximos anos. Outro fator importante mostrado pelos gráficos é o de que diferentemente do grão onde tivemos aumento tanto de produção com o de exportação, a produção de farelo teve o aumento de produção, porém teve uma estagnação na quantidade de exportação, este fato provocado pelo crescimento do consumo interno, que absorveu todo o aumento de produção. Já com relação ao óleo o aumento do consumo interno foi tão acentuado, que mesmo tendo aumento na produção, ainda assim teve-se um decréscimo na quantidade exportada (fevereiro/janeiro) (ABIOVE, 2012).

Tabela 2.5 - Balanço de Oferta e Demanda do Complexo Soja no Brasil

Descriminação	**2012/13***	**2011/12**	**2010/11**	**2009/10**	**2008/09**
1. Soja					
Estoque Inicial	3.112	1.727	2.106	4.417	3.507
Produção	67.300	75.248	68.919	57.383	59.936
Antecipação da colheita	-	-	(1.700)	1.700	-
Importação	300	40	92	124	83
Sementes/Outros	2.900	2.850	2.800	2.700	2.700
Exportação	31.900	33.789	29.189	28.039	24.514
Processamento	35.000	37.264	35.701	30.779	31.895
Estoque Final Total	912	3.112	1.727	2.106	4.417
2. Farelo					
Estoque Inicial	852	813	678	764	862
Produção	26.700	28.320	27.154	23.549	24.164
Importação	0	21	36	47	113
Consumo interno	13.300	13.828	12.900	11.644	11.845
Exportação	13.500	14.474	14.155	12.038	12.530
Estoque Final	752	852	813	678	764
3. Óleo					
Estoque Inicial	342	254	282	252	291
Produção	6.800	7.341	6.973	5.963	6.187
Importação	20	-	2	41	8
Consumo interno	5.350	5.495	5.393	4.518	4.098
Exportação	1.600	1.758	1.610	1.456	2.136
Estoque Final	212	342	254	282	252

Fonte: ABIOVE - <http:/www.abiove.com.br> fevereiro de 2013.

(*) Previsão – 04 de fevereiro de 2013

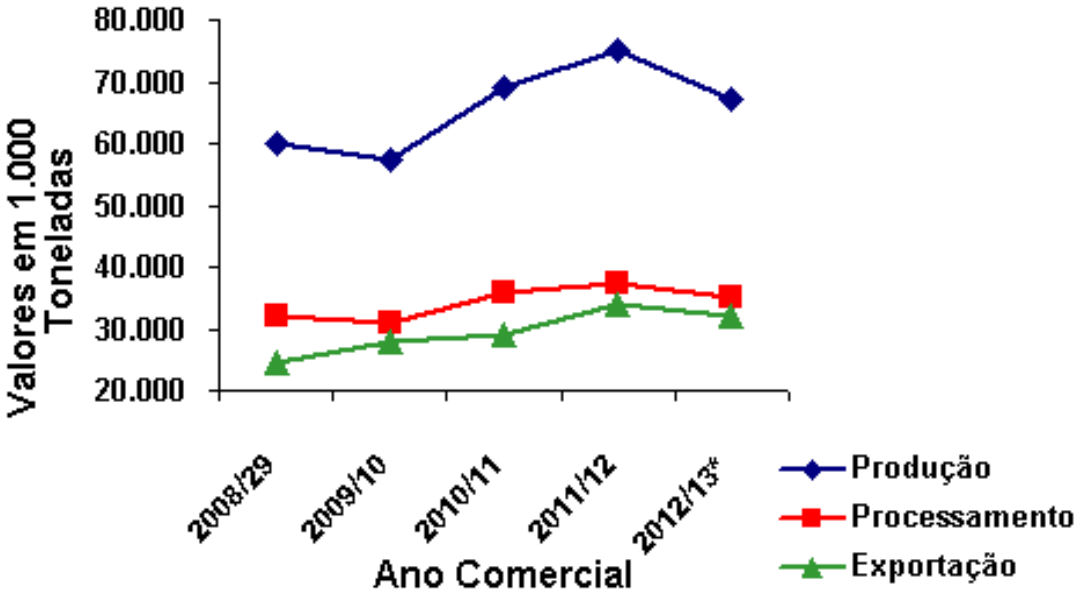

Figura 2.1 - Balanço de Oferta e Demanda da Soja em Grão no Brasil.

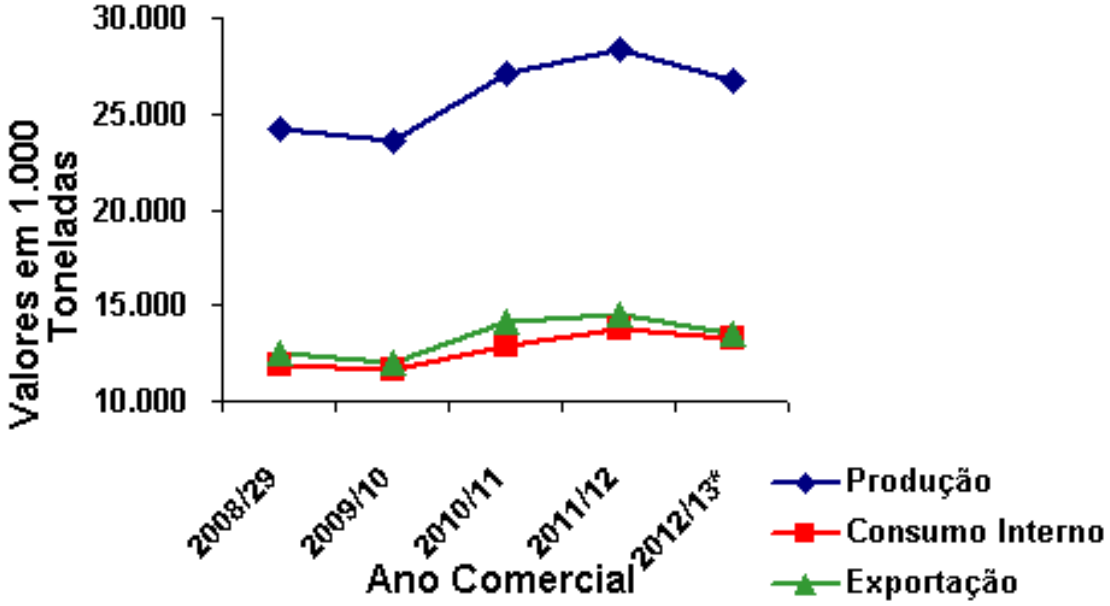

Figura 2.2 - Balanço de Oferta e Demanda do Farelo de Soja no Brasil.

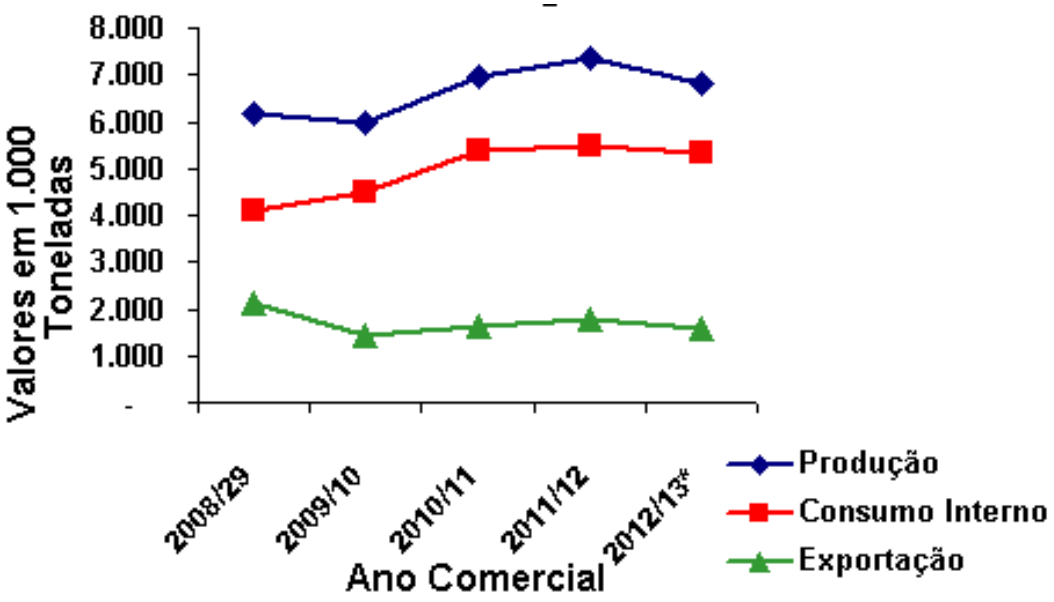

Figura 2.3 - Balanço de Oferta e Demanda do Óleo de Soja no Brasil.

2.3 Processo Industrial de Obtenção de Farelo de Soja

A farinha de soja engordurada ou moída é obtida por moagem dos cotilédones descascados para especificar os tamanhos e tipicamente contem 40% de proteína na base úmida. A farinha ou farelo de soja desengordurado ou moído é preparado por moagem e extração com solvente de lâminas de soja descascadas contendo 52 a 54% de proteína base úmida. Farelos engordurados ou desengordurados são avaliados nas formas de atividade enzimática ou em graus de solubilidade em água, expressada como Índice de Dispersibilidade de Proteína (PDI – *Protein Dispersibility Index*, em inglês) ou Índice de Nitrogênio Solúvel (NSI – *Nitrogen Solubility Índex*, em inglês) (Lusas e Rhee, 1985).

O processo de extração de óleo de soja convencional consiste em quatro etapas: preparação, extração, recuperação de solvente da miscela e a dessolventização/tostagem do farelo (Woerfel, 1995).

A extração por solvente usando hexano é o método primário para recuperar óleo do grão de soja, embora algumas extrações mecânicas ainda sejam usadas. A história da extração com solvente foi revisada por Langhurst (Langhurst, 1951), que detalhou o processo e equipamento e esta revisão se desenvolveu em paralelo com a inicial expansão da produção de soja dos Estados Unidos em 1930 e 1940 (Woerfel, 1995).

Melhorias no processo de plantas de extração têm continuado com o aumento da ênfase na eficiência de energia, redução de custos, redução da perda de hexano, qualidade do farelo e óleo, no aumento da capacidade, impulsionado pelo aumento de seis vezes a produção de grão de soja desde 1950 e pelo aumento do custo de energia desde 1970 (Woerfel, 1995).

2.3.1 Preparação

A preparação convencional do grão de soja consiste em pré-limpeza, secagem, limpeza, quebra, descascamento opcional, condicionamento e laminação como mostrado na Figura 2.4 (Moore, 1983).

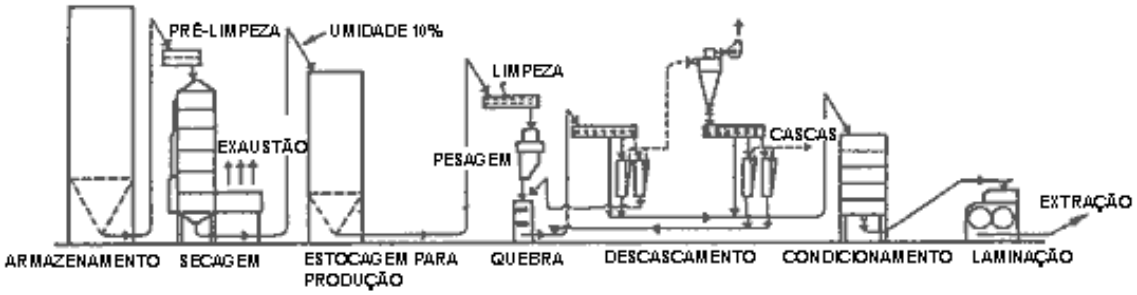

Figura 2.4 - Sistema Convencional de Preparação da Soja para Extração. (Moore, 1983).

Em alguns casos ainda segue após a laminação a presença da etapa da extrusão. A seguir temos uma descrição breve de cada etapa citada:

- **Pré-Limpeza**: o primeiro passo da preparação é a limpeza para remover impurezas do grão de soja. Isto inclui a separação de folhas da planta, seixos, poeira, etc., para a proteção dos equipamentos no processo e permitir a produção dos produtos de soja com alta qualidade. Algumas sementes de plantas daninhas reduzem a estabilidade de oxidação do óleo extraído se não forem removidas. Para grãos de soja que podem conter até 2% de impurezas, uma planta de extração processando 1000 toneladas diariamente removerá 20 toneladas de refugo (Snyder e Know, 1987).

- **Secagem:** grãos de soja são normalmente secos em secadores contracorrente com ar aquecido com gás natural ou óleo combustível. O

movimento uniforme dos grãos de soja passando através do secador e da seção resfriadora é essencial. A temperatura da soja deve ser elevada suficientemente até alcançar a umidade final desejada, mas não deve exceder 76^{o}C, senão a descoloração e a desnaturação da proteína irão acontecer (Woerfel, 1995).

Muitas melhorias têm sido feitas nos anos recentes para reduzir os custos de combustível. Recirculação do ar de exaustão do sistema de resfriamento tem sido amplamente usada para economizar combustível. Secadores vêm também sendo construído usando alternativas de combustíveis como resíduos de madeira (Dada, 1983).

No armazenamento, a soja normalmente tem uma umidade de 13%, ela deve ser seca até este nível para proteção contra o aquecimento dentro do armazém (Woerfel, 1995).

Para remover eficientemente as cascas na preparação, é necessária uma umidade de 10%, fazendo com que um processo de secagem prévio ao descascamento seja requerido. Ar aquecido é distribuído através do grão de soja para ocasionar a perda de água. O mesmo tipo de ar de secagem é usado para reduzir o nível de umidade para armazenagem. Entretanto, secadores mais eficientes têm sido produzidos onde parte do ar resfriado e de secagem é recirculado, economizando 25% no custo de combustíveis. (Moore, 1983).

- **Limpeza:** a soja é limpa novamente depois da etapa de secagem. Apesar de o grão ter sido limpo antes da armazenagem, uma limpeza adicional é desejada para produzir um farelo com alta qualidade (Woerfel, 1995).

O grão de soja passa primeiro sobre um separador magnético e depois por uma peneira de dois *decks* e um aspirador como mostrado na Figura 2.5. Os grãos limpos são pesados usualmente por um funil de carga automático, que promove meios de controle de vazão de alimentação e a quantidade total de matéria-prima para efeito de contabilidade. Com a secagem e a limpeza dos grãos estes estão agora prontos para a quebra (Woerfel, 1995).

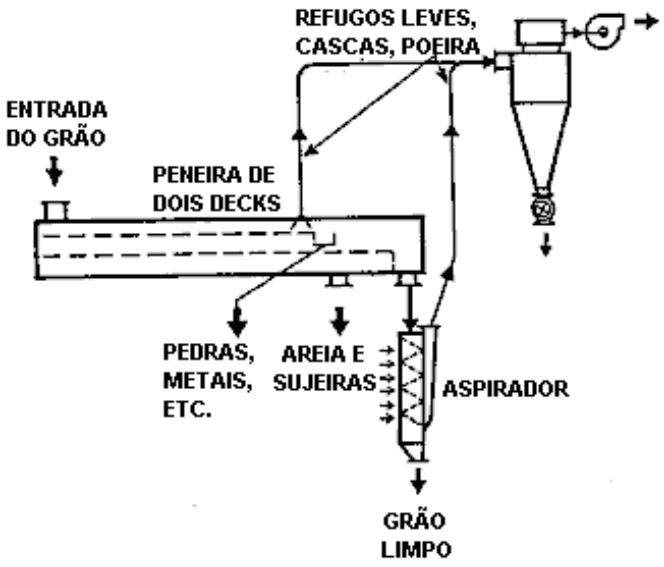

Figura 2.5 - Limpador com Aspirador. (Moore, N. H., 1983).

- **Quebra:** a etapa da quebra é muito importante para o descascamento tradicional. Com a secagem apropriada, na quebra da soja os cotilédones separam-se facilmente das cascas. Se a soja estiver muito seca ela se pulveriza nos rolos dos quebradores e produzem finos em excesso, que podem causar problemas no extrator. Por outro lado, se estiver muito macia ou úmida, ela tende a esmagar e não soltar das cascas (Woerfel, 1995).

As variáveis de operação e manutenção dos rolos são críticas. Rolos de quebradores convencionais podem ter duas ou três alturas. Os rolos são corrugados em um padrão dente de serra, e os rolos opostos correm em diferentes velocidades.

O objetivo dos quebradores é romper o grão de soja em pedaços adequados para o descascamento e para a laminação, havendo um mínimo de finos e sem grãos esmagados. O tamanho da lâmina será proporcional ao tamanho dos pedaços, sendo que uma análise granulométrica dos grãos quebrados fornece uma correta quebra, conforme a Tabela 2.6. A quebra precisa desejada varia de planta para planta, tipicamente, o grão é quebrado em quatro a seis pedaços. O operador da preparação deve ter cuidado em manter as variáveis ajustadas da alimentação e as variáveis de espaçamento dos rolos baseada na análise granulométrica dos quebrados e na experiência pessoal (Woerfel, 1995).

Tabela 2.6 - Análise Granulométrica de Grãos de Soja Quebrados

MALHA	RETENÇÃO
Mesh 6	30,0 – 40,0%
Mesh 10	40,0 – 50,0%
Abaixo de Mesh 10	Máximo 10%

Fonte: Woerfel, 1995.

Primeiro os grãos devem ser bem limpos sem nenhuma pedra ou outro material duro que poderá danificar as corrugações. Imãs devem ser colocados em um sistema acima dos rolos para remover qualquer metal. O mecanismo de alimentação deve prover uma alimentação uniforme através de toda a largura do rolo que assim terá um desgaste uniforme da corrugação. As corrugações deverão ser monitoradas diariamente e os rolos inspecionados frequentemente por supervisores de manutenção e estabelecer um programa para recortar as corrugações dos rolos. O objetivo é manter uma operação de quebra eficiente. A etapa do descascamento não é de boa qualidade sem uma boa quebra (Woerfel, 1995).

- **Descascamento:** esta etapa é feita para produzir farelo com alta concentração de proteína para alimentação animal ou farinha para consumo humano. Em particular, a demanda de farelo com alta proteína pelas indústrias de aves é de um produto consistente e de alta qualidade (Woerfel, 1995).

Os grãos de soja contem cerca de 8% de casca em massa. Na prática, não é possível ter uma absoluta separação de casca do grão (cotilédone), mas o objetivo é ter uma separação suficiente para obter farelo com níveis de proteína dentro do padrão requerido. Geralmente, se a fibra é reduzida até o valor desejado, a proteína estará na especificação. Existem exceções e por vezes, a proteína inerente do grão pode ser tão baixa que dificulta a produção de farelo com alta proteína (Woerfel, 1995).

De um ponto de vista econômico, é desejável que um pouco de soja seja perdido nas cascas. Pequenas partículas de soja estão aderidas a cascas e são carregadas com elas e este fator é monitorado por análises nas cascas.

Assim o óleo da casca é usado como controle de descascamento e uma concentração ótima esta abaixo de 1,5% em massa (Woerfel, 1995).

A separação de casca é comumente feita por peneiramento com aspiração. A peneira geralmente usada é a de dois *decks*, equipadas com peneiras de 4 Mesh e 10 Mesh. As cascas são aspiradas do topo da peneira e a descarga do fim da peneira de 10 Mesh vai a uma coluna de aspiração para classificação. O material pesado da coluna de aspiração e os finos que passaram através da peneira de 10 Mesh são na maioria soja e vão direto para o condicionamento. O material aspirado do topo da peneira e do multiaspirador é coletado em um ciclone e descarregado em um sistema de descascamento secundário. O descascamento secundário pode ter novamente uma peneira de dois *decks* e um aspirador similar ao primeiro estágio. Em alguns casos outros tipos de equipamentos, chamados “batedores de cascas” são usados antes da segunda peneira (Woerfel, 1995).

A etapa de extração de óleo da soja é similar tanto para os grãos de soja descascados quanto para os não descascados. O descascamento aumenta a capacidade de extração da planta, porque as cascas não são passadas pelo extrator. O rendimento da planta pode ter um aumento de 10% ou mais com o descascamento. Assim, algumas plantas seguem a prática do descascamento mesmo quando produzem farelo de baixa proteína. As cascas são separadas e adicionadas no farelo de alta proteína para ajustar os níveis de proteína (Woerfel, 1995).

O descascamento a quente também tem sido utilizado. Este processo difere da preparação convencional em que as cascas são removidas por divisão de grãos de soja antes da quebra e laminação (Woerfel, 1995).

- **Condicionamento:** grãos de soja quebrados devem ser condicionados por calor e umedecidos para obter uma ótima plasticidade necessária para a produção das lâminas. A temperatura do material é de 65 a 70^{o}C, que ajuda na manutenção da temperatura do sistema de extração com solvente a 60^{o}C (Liu, 1999).

Se necessário, uma injeção de vapor direto nos grãos pode aumentar a umidade até 11%. Os aquecedores freqüentemente usados são os de estaca vertical ou cozinhador rotatório horizontal. Alternativamente, aquecedores de

leito fluidizado secam o grão e condicionam a massa com ar recirculado promovendo uma rápida transferência de energia tendo assim um custo mais efetivo do que o convencional. Controles da umidade do grão e das lâminas minimizam a extração subsequente de fosfolipídios não hidratáveis por inativação da enzima fosfolipase D (List, 1992).

- **Laminação:** este tem tradicionalmente sido o passo final na preparação de grãos de soja para a extração. Moinhos laminadores consistem em um par de rolos de superfície lisa de grande diâmetro. O diâmetro mínimo é 0,5 metro para fornecer um ângulo de compressão adequado. Os rolos são montados sem folga e operados em diferentes velocidades. Uma dimensão típica dos rolos dos moinhos consiste em 0,5 metros de diâmetro e 1,0 metro de comprimento (Langhurst, 1951).

A pressão entre rolos é gerada por um sistema mecânico ou hidráulico, e a espessura das lâminas é controlada por ajuste desta pressão. Um alimentador em cada parte dos rolos oferece uma mesma vazão de quebrados de soja ao longo da largura do rolo para garantir um carregamento e desgaste uniformes. Um sistema permite o transbordamento de quebrados no fim do rolo para garantir alimentação nas bordas dos rolos. Separadores magnéticos são providos em cada rolo para prever danificação por ferros perdidos (Woerfel, 1995).

Nos últimos anos, a tendência tem sido para rolos com maior capacidade. A capacidade adicional é fornecida pelo aumento do diâmetro, comprimento e velocidade periférica. Rolos de grande capacidade economizam espaços reduzindo o número de rolos requeridos. Atualmente rolos com diâmetros de 60 a 80 centímetros e comprimentos de 150 a 200 centímetros são comuns (Woerfel, 1995).

Espessuras das lâminas são geralmente na faixa de 0,2 a 0,5 milímetros e, mais comumente, de 0,25 a 0,3 milímetros. O tamanho das lâminas e a espessura são controlados pelo tamanho dos quebrados dos grãos de soja, condicionamento e o ajuste dos rolos de laminação. A espessura é medida com um micrômetro, e amostras são retiradas regularmente em ambas as extremidades e no centro do rolo com a freqüência necessária, tipicamente de hora em hora, para obter um controle confiável (Woerfel, 1995).

Um problema comum é o maior desgaste no centro do que nas extremidades dos rolos. Com o aumento do desgaste, as lâminas do centro se tornam mais espessas do que as das extremidades. Ajustes contínuos de pressão para corrigir as lâminas do centro podem causar excessiva pressão nas extremidades e lascar ou corroer o metal (Woerfel, 1995).

A laminação é importante antes da extração com solvente porque o solvente pode mais facilmente atravessar o leito de lâminas quando comparado ao leito de material da soja ou partículas de finos. A passagem entre os rolos rompe as células dos cotilédones ricas em óleo, aumentando a penetração do solvente aos corpos de lipídeos. Assim, lâminas reduzem a distância de difusão do solvente ou miscela (óleo/solvente) (Liu, 1992).

- **Extrusão:** *expanders* também chamado de extrusoras foram originalmente desenvolvidas no Brasil e foram introduzidas nas indústrias de soja e algodão dos Estados Unidos no início dos anos 80. Em 1980, 70% destas culturas estavam sendo processada pela *expander* (Watkins, Lucas, Koseoglu, Doty e Johnson, 1989).

A *expander* é implementada ao processo de preparação convencional depois da laminação e modifica as lâminas para formar *pellets*, que são alimentadas no extrator.

Condições típicas de preparação usando a *expander* são as seguintes:

1. Secar o grão de soja para 10% de umidade para a quebra;
2. Quebrar em oito pedaços;
3. Remover as cascas;
4. Condicionar de 55 ^{o}C a 82^{o}C para 10 a 11% de umidade;
5. Preparar lâminas de 0,5 milímetros;
6. Processo na *expander* com vapor na matriz de saída de 105 a 120^{o}C;
7. Resfriar até 60^{o}C para a extração de óleo.

Watkins em 1989 concluiu: “A *expander* oferece várias vantagens em processamento de oleaginosas:

- A semente é finamente macerada na *expander*, libertando o óleo para uma rápida extração;

- *Pellets* são formados, que são mais densos se comparado com as lâminas (mais massa por volume);

- Os *pellets* são porosos e não restringem a percolação do solvente através do leito do extrator, como pode ocorrer com as lâminas mais frágeis.

- Mais óleo é recuperado pela extração com solvente por tonelada de grão de soja processada;

- A drenagem do solvente é mais completa no extrator, resultando em uma completa remoção de óleo e uso de menos energia para dessolventizar a massa.

Todos os fatores juntos em uma planta de extração podem resultar em quase o dobro de rendimento destes extratores de hexano, podendo reduzir os custos de extração por tonelada de grão de soja processada, e pagando a compra e instalação da máquina em menos de um ano" (Watkins, 1989).

2.3.2 Extração

Extração por solvente de óleo de soja é uma operação de difusão em que o solvente (hexano) seletivamente solubiliza componentes miscíveis (óleo) de outras substâncias. O extrator fornece meios físicos de contato entre o solvente e o sólido preparado de soja. O contato pode ser alcançado pela imersão dos sólidos no solvente, percolação do solvente através do leito de sólidos, ou uma combinação dos dois. Embora inicialmente extratores fossem do tipo imersão, depois o desenvolvimento favoreceu o de percolação, utilizando um leito composto de lâminas ou *pellets* de soja e fluxo contracorrente de miscela (mistura de óleo e hexano). Projetos bem sucedidos têm sido desenvolvidos por vários anos para uma combinação de considerações teóricas e experiências práticas. Muitos projetos têm sido realizados, e aqueles que têm tido sucesso tem sido constantemente implantados (Woerfel, 1995).

Good, em 1970 discutiu a teoria de extração de óleo de soja e os fatores que influenciam os projetos do extrator (Good, 1970). Karnofsky, em 1986 derivou equações para o extrator baseado em resultados de laboratório (Karnofsky, 1986).

A seguir são apresentados alguns dos tipos mais usados de extratores em plantas de extração de óleo de soja:

- **Rotatório ou Leito Profundo:** estes extratores consistem de uma série de células arranjadas concentricamente, que são preenchidas com material oleoso. Cada célula é preenchida consecutivamente e trazida em contato com miscela decrescentemente concentrada, como a Figura 2.6. Os sólidos recém carregados são trazidos em contato primeiramente com a miscela mais concentrada, e os sólidos totalmente extraídos em contato com o solvente fresco antes da descarga (Woerfel, 1995).

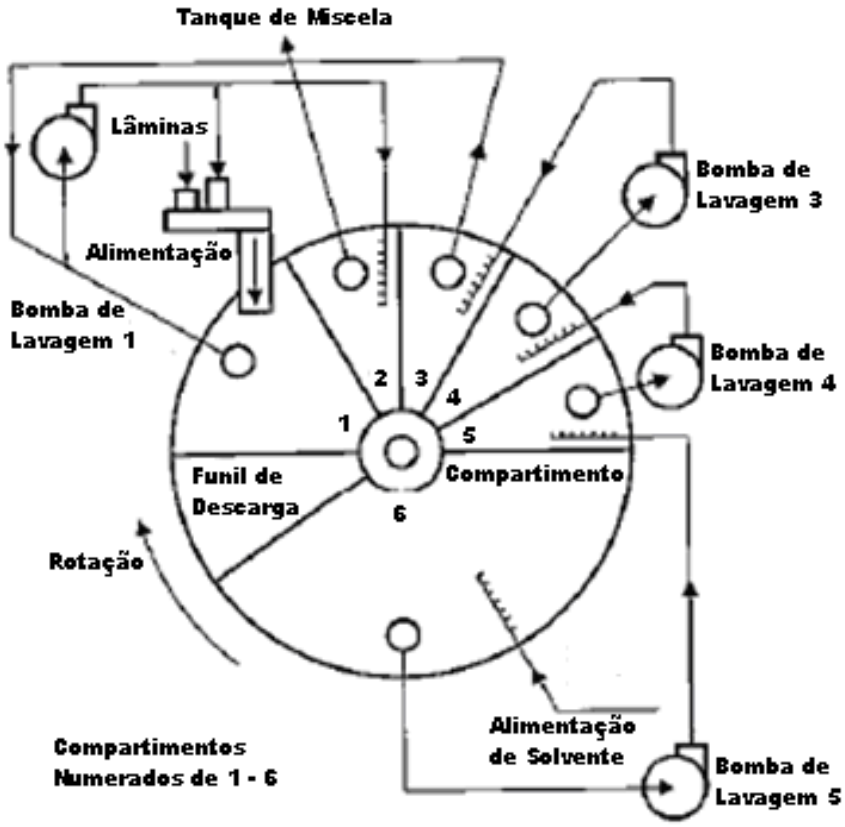

Figura 2.6 - Diagrama esquemático do extrator rotatório. (Davy PHG Process, Pittsburgh, PA).

- **Correia Horizontal:** este extrator, como mostra a Figura 2.7 consiste de um transportador de correia suportado em rolos em um reservatório retangular horizontal. O material oleoso é carregado nesta correia, que tem uma ligeira inclinação para cima e é lavado com uma série de sucessivos *sprays* operando em contracorrente. Depois da percolação através do leito, a miscela passa através de uma fina tela e é coletada em um funil de carga abaixo do transporte. Uma bomba embaixo de cada funil circula a miscela para o *spray* instalado acima do mesmo funil ou no próximo (De Smet, 1992).

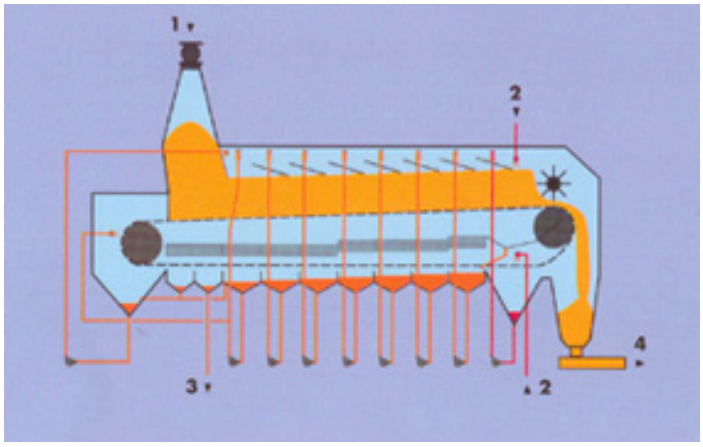

Figura 2.7 - Extrator de Correia (De Smet, 2012).

- **Extrator Contínuo de Loop:** o extrator de *loop* é um extrator de leito raso em que o material sólido é carregado através de um circuito vertical fechado, com um movimento de transporte de arraste dos sólidos através do circuito, como mostrado na Figura 2.8. Eles são construídos para capacidades acima de 4.000 toneladas de soja por dia. A alimentação e a descarga variam em diferentes modelos. Uma característica interessante do extrator de *loop* é que o leito de lâminas é completamente integrado, permitindo o contato de solvente e lâminas de ambos os lados. O leito raso do extrator é para promover um contato excelente, drenagem rápida e uma extração mais completa com uma ampla variedade de produtos e permitindo utilizar lâminas frágeis e com um teor maior de fios (Crown Iron Works, 1993).

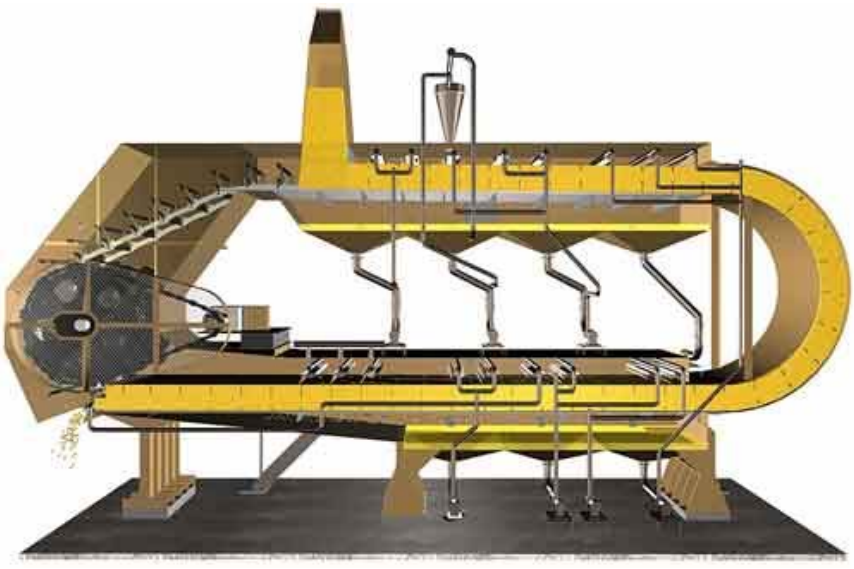

Figura 2.8 - Extrator de *Loop* (Crown Iron Works, 2012).

2.3.3 Processo e Utilização do Farelo de Soja

Lâminas de soja extraídas saem normalmente de um extrator contínuo com um residual de hexano de 29 a 35% em base úmida. O processo inclui a remoção e recuperação para reusar este residual de hexano, a secagem, o resfriamento e o dimensionamento do farelo extraído como requerido para usos finais na alimentação pecuária (Witte, 1995).

- **Dessolventização e Tostagem:** este passo engloba remover o hexano das lâminas, seguido de cozimento entre 100 a 105^{o}C para níveis de umidade elevada de 16 a 24% na saída do equipamento e para tempos de residência entre 15 a 30 minutos (Witte, 1995).

As lâminas extraídas molhadas de hexano deixam o extrator com uma temperatura de cerca de 57^{o}C e entram no topo da câmara do DT (*Desolventizer/Toaster*) ou DTDC (*Desolventizer/Toaster/Dryer/Cooler*). Vapor direto é injetado abaixo do nível do farelo no fundo de uma ou mais seções; o vapor que condensa fornece o calor latente requerido para a evaporação do hexano, e o vapor condensado aumenta o nível de umidade facilitando a operação de tostagem (Witte, 1995).

O farelo deixa a seção do DT normalmente tendo um residual de solvente menor do que 500 ppm. A atividade de Ureáse deve ser reduzida para que o pH em testes padrões de ureáse seja menor do que pH 0,2 (AOCS, 9-39). Este teste é normalmente um controle de processo para a tostagem, porque é rápido e fácil. Atualmente, este teste é somente um indicador de eficácia de destruição, ou desnaturação, de muitos fatores anti nutricionais presentes na soja crua. Um teste mais diretamente relacionado a valores nutricionais, mas mais demorado, é a medida da atividade anti tripsina remanescente (AOCS, 2-75).

O tempo de tostagem, temperatura e condições de umidade afetam tanto o grau de cozimento como os resultados das propriedades nutricionais do farelo. Porém, a otimização destas variáveis do processo é difícil na prática, isto porque testes nutricionais são processos lentos e usá-los como controle de produção não é muito prático (Witte, 1995).

- **Secagem e Resfriamento:** após sair do DT a massa desengordurada de soja já pode ser chamada de farelo de soja e pode ser seca e resfriada em uma bandeja Secadora/Resfriadora imediatamente abaixo da seção DT, em um secador rotatório ou outros tipos de equipamento de Secador/Resfriador. Neste passo do processo, o farelo tostado é seco de 16 a 22% de umidade na saída da seção do DT para níveis perto de 12% requeridos para o farelo final e é então resfriado para níveis de armazenagem e manuseio seguros. O farelo deve sair do resfriador com uma temperatura menor do que 32^{o}C ou 6^{o}C a mais que a temperatura do ar ambiente, seja qual for a temperatura mais alta. A etapa de secagem é conduzida usualmente a temperaturas bem abaixo da temperatura de tostagem; assim não há preocupação para possíveis danos nutricionais ao farelo (Witte, 1995).

- **Moagem e Dimensionamento:** este passo é normalmente o processo final na extração contínua. Esta etapa reduz o tamanho da partícula do farelo quando requerida pelos clientes. Algumas plantas fora dos Estados Unidos omitem esta etapa porque a moagem é feita em um moinho depois da formulação da ração. Isto porque em alguns sistemas de transportes é desejável uma mínima produção de pó (abaixo de 100 Mesh) no processo de moagem (Witte, 1995).

- **Armazenagem e Embarque:** a armazenagem e embarque do farelo acabado é o último passo de uma planta. A capacidade de armazenagem pode ser somente para poucas horas de produção, ou pode ser projetada para manter o farelo por meses para esperar surgir uma demanda de mercado. O armazenamento deve ser capaz de manter o farelo sem refugo e deve ser projetado para que o farelo não cozinhe durante o armazenamento e se torne difícil, ou impossível de descarregar dos silos (Witte, 1995).

2.4 Separação por Aspiração

Existem varias razões por que a aspiração deve ser considerada para separação de produtos. A separação por aspiração é mais simples de usar e ainda é extremamente precisa na separação de “leves” dos “pesados”.

Tradicionalmente, peneiras são os primeiros equipamentos a serem usados quando uma separação é requerida para qualquer material. Atualmente, um separador de ar – coluna de aspiração ou aspirador – pode ser mais adequado para o trabalho. Finalmente, uma coluna de aspiração e uma peneira podem ser usadas juntas para assim alcançar os melhores efeitos (KICE, 2011).

Qualquer produto que é tipicamente “peneirado” é um bom candidato para aspiração. Para um sistema básico, é requerido um alimentador (espalhador rotatório de corrente, alimentador rotatório de ventoinha, etc.), uma fonte de sucção (ventilador centrifugo com controle de *damper*), um receptor/separador (ciclone separador coletor ou filtro de manga), um selo de ar para descarregar os finos (válvula de câmara rotatória) e um duto de conexão. Todos estes componentes são avaliados e combinados para obter em conjunto a máxima eficiência. A seguir temos uma visualização destes componentes em um sistema básico de limpeza na Figura 2.9 (KICE, 2011).

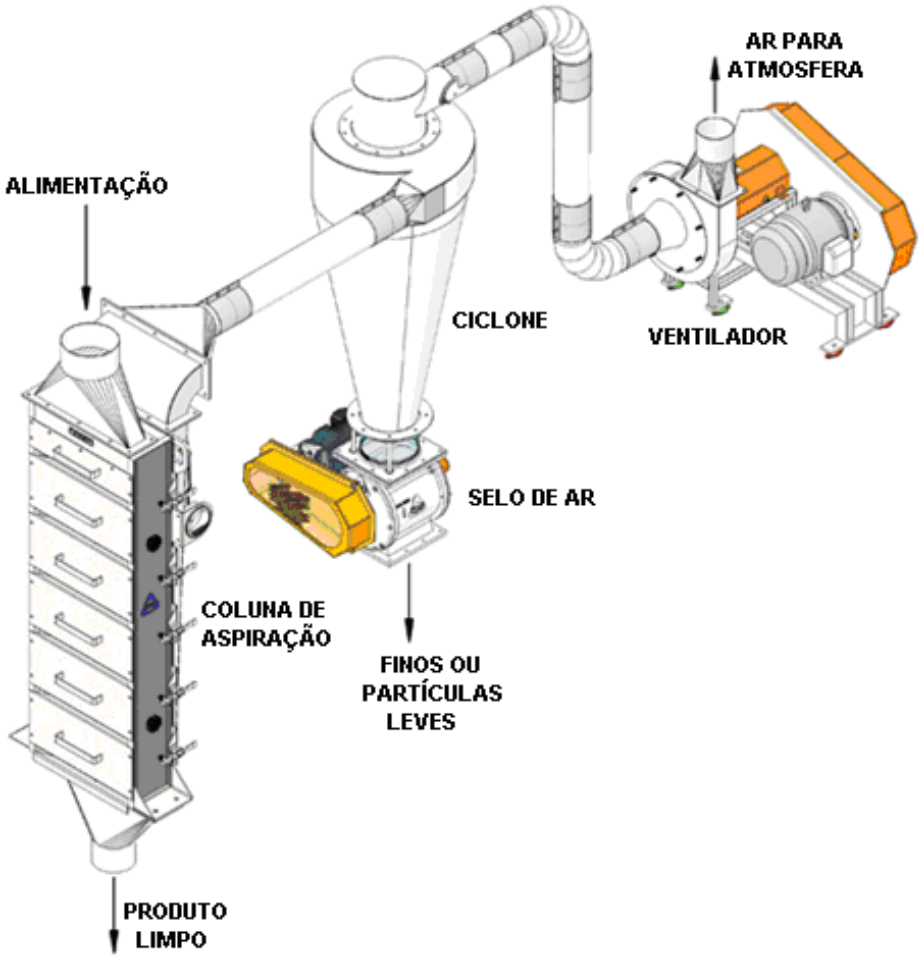

Figura 2.9 - Sistema básico de Limpeza por Aspiração. (KICE, 2011).

2.4.1 Coluna de Aspiração ou Multi-Aspirador

Há vários aspiradores avaliados que são utilizados em séries de defletores, mas há uma simples entrada e saída de ar. Este essencialmente faz uma única passagem no aspirador.

Kice originalmente desenvolveu o conceito da coluna de aspiração ou multi-aspirador no final da década de 1920. A coluna de aspiração usa ar para classificar materiais por tamanho e densidade tomando vantagem das diferenças nas velocidades terminais dos produtos específicos. Atualmente a coluna de aspiração é usada extensivamente para grãos, polímeros, químicos, farmacêuticos e nas indústrias de mineração, apenas para citar alguns exemplos (KICE, 2011).

A coluna de aspiração tem sido aplicada no produto acabado para remover finos e pó (*pellets*, cereais, grânulos), durante o processo de redução do pó (finos explosivos, infestação, limpeza e corrente de produtos, etc), e para fazer melhorias em produtos. A coluna de aspiração tem também sido usada para separar diferentes tipos de polímeros em sistemas de “retificas/recuperados”, remoção de pó de grânulos de fertilizantes, limpeza e melhora de grãos – removendo núcleos danificados e material estranho, separação de casca ou conchas das sementes ou castanhas, e muitas outras aplicações (KICE, 2011).

Para uma separação efetiva via classificação com ar, é necessário ter o controle de fluxo do produto dentro da coluna de aspiração, ter uma distribuição do produto através de toda a largura da unidade e o ajuste da vazão de ar para fazer a separação requerida.

A coluna de aspiração tem uma série de 4 ou 6 declives que permitem ao produto cair para trás e para frente sob a ação da gravidade através do equipamento. Em cada passagem, ar ambiente é puxado através do produto, elevando a partícula mais leve para dentro de uma câmara seletora para determinar se está qualificado para ser transportado ou se deve permanecer com as mais pesadas. Estas partículas mais leves que têm sido “selecionadas” são removidas da corrente de produto. O produto então cai dentro da próxima câmara de seleção onde todas as partículas remanescentes são novamente expostas ao processo de seleção. Este processo é repetido um total de quatro ou seis vezes todas em uma só máquina (KICE, 2011).

- **Informações Operacionais da Coluna de Aspiração:** este equipamento pode fazer a completa separação das partículas tendo somente pequenas diferenças de velocidade terminal. As partículas com as velocidades terminais mais baixas serão carregadas pelo ar em uma velocidade menor do que as partículas tendo a velocidade terminal mais alta. Este funcionamento pode ser visto na Figura 2.10.

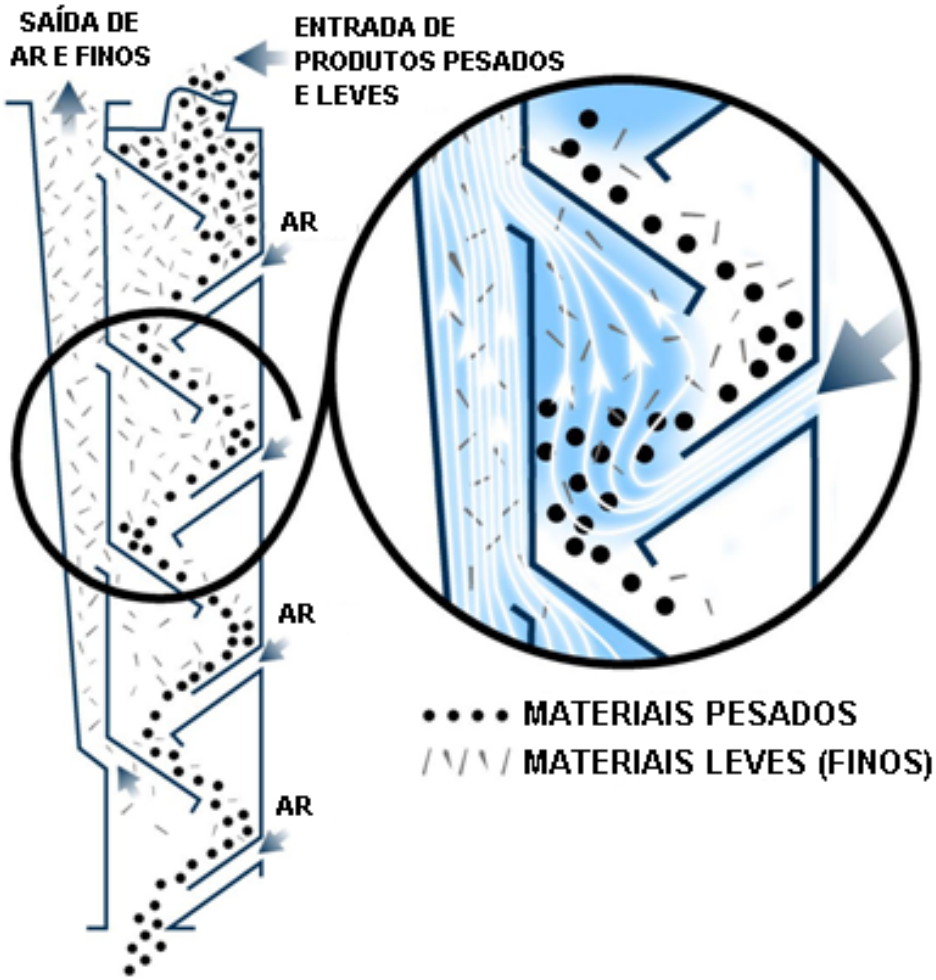

Figura 2.10 - Funcionamento da Coluna de Aspiração (KICE, 2011).

Em muitas unidades, há uma tela de ajuste pivotante adicional no outro lado para ajudar a espalhar o material sobre toda largura da coluna. A coluna de aspiração é projetada para fornecer ar uniforme para todos os declives. Por repetição destas passagens uniformes de ar através de todo o produto, uma completa separação das partículas que serão elevadas a uma dada velocidade é realizada (KICE, 2011).

A utilização de uma velocidade de ar alta através do material resulta na remoção de partículas com altas velocidades terminais. O sistema deve ser projetado com ventiladores de capacidade suficiente para que seja possível remover mais material do que requerido. O refinamento do sistema de finos pode ser realizado por um abafador (*damper*) de fluxo de ar para qualquer velocidade requerida para corresponder com a velocidade terminal da partícula que deve ser removida da corrente do produto (KICE, 2011).

Em alguns produtos há uma variedade de tipos de partículas, e as partículas de pequena densidade podem voar nas mesmas velocidades do ar das partículas grandes abertas. Neste caso, a separação destas partículas que tem a mesma velocidade terminal, mas diferentes tamanhos e formas pode então ser feita por peneiramento. Em algumas aplicações, pode ser desejado peneirar antes da coluna de aspiração para diminuir a faixa de tamanho de partículas que possuem esta sobreposição da velocidade terminal, sendo assim minimizada dentro da corrente da coluna de aspiração. Em outros casos peneirar pode ser mais prático em produtos aspirados pela coluna de aspiração. O fluxo e a organização do equipamento devem ser determinados para cada produto e para cada sistema em sua base individual (KICE, 2011).

Em geral, o aumento da capacidade da coluna de aspiração como requerido aumenta quando o comprimento aumenta. O *layout* às vezes requer o uso de coluna de aspiração dupla. Este modo usa duas unidades dispostas de costas uma com a outra com uma saída de ar de comum própria (KICE, 2011).

A outra consideração importante é o número de declives; normalmente unidades de 4 e 6 passos são utilizadas, embora unidades de 2 e 3 declives são utilizadas quando o topo é de maior interesse (KICE, 2011).

- **Velocidade Terminal:** o tamanho, a densidade e o efeito da forma dos produtos especificam a velocidade terminal. Um produto específico começara a cair em uma taxa devagar e acelera até que alcance uma velocidade máxima ou velocidade terminal. Se fluxo de ar é ascendente, ele resistirá à força gravitacional no produto, assim reduzindo a taxa de caída. Se a velocidade do ar atinge a velocidade terminal do produto, o produto flutuará, e se a velocidade do ar exceder a velocidade terminal do produto, ele irá suspender o produto.

Quando partículas dentro de uma mesma corrente de produto têm diferentes velocidades terminais, algumas cairão e outras serão suspensas pela corrente de ar. A coluna de aspiração eficiente e precisa remove produtos com baixa velocidade terminal dos produtos com alta velocidade terminal (KICE, 2011).

Segundo McCabe, Smith e Harriott (1993), uma partícula de massa *m* se movendo através de um fluido sobre a ação de uma força externa F_E. Onde velocidade de uma partícula relativa sobre o fluido é *u*. A força flutuante na partícula é F_B, e a força de arraste F_D. Então a resultante das forças na partícula é $F_E - F_B - F_D$ e a aceleração da partícula *du/dt* resulta:

$$\frac{m}{g_C} * \frac{du}{dt} \equiv F_E - F_B - F_D \qquad \text{Eq. 1}$$

A força externa pode ser expressa como o produto da massa *m* e da aceleração a_E da partícula desta força:

$$F_E \equiv \frac{m * a_E}{g_C} \qquad \text{Eq. 2}$$

A força flutuante é, pelo princípio de Archimedes, o produto da massa do fluido deslocado da partícula e da aceleração pela força externa. O volume da partícula é m/ρ_P, *onde* ρ_P é a densidade da partícula e a partícula desloca este mesmo volume de fluido. A massa do fluido deslocado é $(m/\rho_P)\rho$, onde ρ é a densidade do fluído. A força flutuante então é:

$$F_B \equiv \frac{m * \rho * a_e}{g_C * \rho_P} \qquad \text{Eq. 3}$$

A força de arraste é dada por:

$$F_D \equiv \frac{C_D * u_0^2 * \rho * A_P}{2 * g_C} \qquad \text{Eq. 4}$$

Onde,

C_D = coeficiente de arraste adimensional;

A_P = área projetada da partícula medida no plano perpendicular na direção de ação da partícula;

u_o = velocidade.

Se a força externa é a gravidade, a_E é g, e substituindo as forças das Equações 2, 3 e 4 na Equação 1 então temos:

$$\frac{du}{dt} \equiv g * \frac{\rho_P - \rho}{\rho_P} - \frac{C_D * u^2 * \rho * A_P}{2 * m} \qquad \text{Eq. 5}$$

No assentamento gravitacional, g é constante. Também o arraste sempre aumenta com a velocidade. A Equação 5 mostra que a aceleração diminui com o tempo e aproxima de zero. A partícula rapidamente chega a uma velocidade constante, que é a velocidade terminal. A equação para a velocidade terminal u_t é dada pela Equação 5 tomando du/dt = 0, assim:

$$u_t \equiv \sqrt{\frac{2 * g * (\rho_P - \rho) * m}{A_P * \rho_P * C_D * \rho}} \qquad \text{Eq. 6}$$

- **Volume de Ar:** o ar requerido para a coluna de aspiração é determinado por testes experimentais. Depois da instalação, o volume de ar é finamente obtido por observações do material conforme o volume do ar é variado pelo *damper* fornecido pelo ventilador. A pressão diferencial através da coluna de aspiração é bem baixa – muito fechado para 25,4 milímetros de coluna d'água (1 polegada de coluna d'água), na maioria dos casos não maior do que 76,2

milímetros de coluna d'água (3 polegadas de coluna d'água) quando filtros são instalados nas entradas de ar (KICE, 2011).

2.4.2 Ciclone

O tipo de equipamento de coleta de pó amplamente usado é o Ciclone, em que o gás carregado de pó entra em um cilindro ou câmara cônica tangencialmente em um ou mais pontos e o deixa através de uma abertura central (Figura 2.11). As partículas de pó, pela virtude de suas inércias, tendem a mover em direção as paredes do separador, onde são levadas a um receptor. Um ciclone é essencialmente uma câmara seletora em que a aceleração gravitacional é substituída pela aceleração centrífuga. Nas condições operacionais comumente empregadas, a força ou aceleração centrífuga de separação pode variar de 5 vezes a gravidade em grandes diâmetros (ciclones de baixa resistência), e 2.500 vezes a gravidade em pequenos diâmetros (unidades de alta resistência). A entrada do ciclone é usualmente retangular (Perry e Green, 2007).

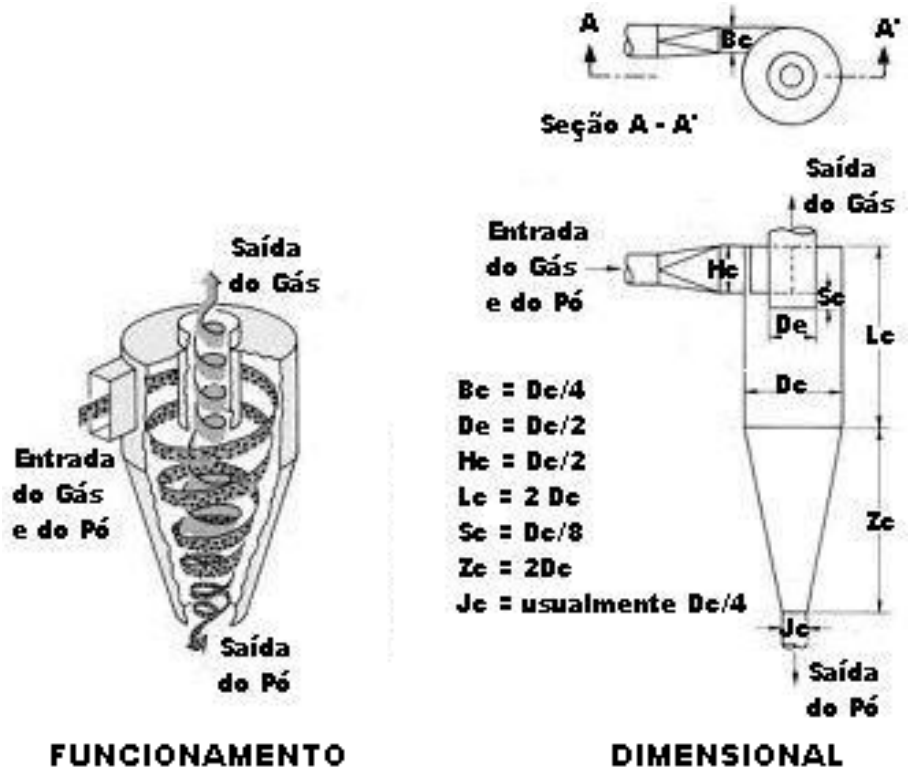

Figura 2.11 - Ciclone: Funcionamento e Dimensional (Perry, 2007).

Dentro da variação de suas capacidades de performance, ciclones coletores oferecem um dos meios menos onerosos de coleta de pó de ambos os pontos de vista de investimento e de operação. Sua maior limitação é que sua eficiência é baixa para coleta de partículas menores do que 5 a 10μm. Embora ciclones possam ser usados para coletar partículas maiores do que 200μm, câmaras seletoras gravitacionais ou simples separadoras inerciais são usualmente satisfatórios para partículas deste tamanho e são menos sujeitas a abrasão. Em casos especiais em que o pó é altamente aglomerado ou em alta concentração (acima de 230 g/m^3 – gramas por metro cúbico), ciclones removerão pó tendo partículas de tamanho pequeno. Em certas circunstâncias, uma eficiência tão alta quanto 98% tem sido atingido em poeiras tendo tamanho de partículas de 0,1 a 2,0 μm porque o efeito predominante da aglomeração das partículas contribui a alta força entre partículas. Ciclones são usados para remover sólidos e líquidos dos gases e tem sido operado a temperaturas tão altas quanto 1.200^oC e pressões que atingem 50.700 kPa (500 atm) (Perry e Green, 2007).

Com relação ao dimensionamento, ciclones podem ser pequenos ou grandes. Os tamanhos dos ciclones menores são de aproximadamente 1 a 2 centímetros de diâmetro e os maiores cerca de 10 metros de diâmetro. O número de ciclones usados para um simples leito fluidizado pode variar de 1 a até 22 conjuntos de estágios simples ou estágios duplos (44 ciclones no total) (Perry e Green, 2007).

2.4.3 Ventilador e Sopradores Centrífugos

Ventiladores são usados para baixas pressões onde geralmente a pressão de saída é menor do que 3,447 kPa, e sopradores são usados para altas pressões. Entretanto, eles são usualmente usados a pressões de saída abaixo de 10,32 kPa. Estas unidades podem também ser do tipo centrífugo ou de vazão axial (Perry e Green, 2007).

Ventiladores e sopradores são usados para vários tipos de trabalhos de ventilação como sistemas de ar condicionado. Em grandes construções, sopradores são frequentemente usados devido à alta pressão de saída necessária para superar a queda de pressão no sistema de ventilação. A

maioria destes sopradores é do tipo centrífugo. Ventiladores são usados para mover grandes volumes de ar ou gases através de dutos, fornecendo ar para secagem, transporte de material suspenso na corrente de ar, remover fumo, torres de condensação e outras vazões grandes, aplicações a baixas pressões (Perry e Green, 2007).

Estes ventiladores e sopradores centrífugos têm ar ou gases entrando na direção axial e sendo descarregado na direção radial. Eles têm três tipos de palhetas: radial ou palheta reta, palhetas curvadas para frente, e palhetas curvadas para trás (Figuras 2.12, 2.13 e 2.14 respectivamente) (Perry Green, 2007).

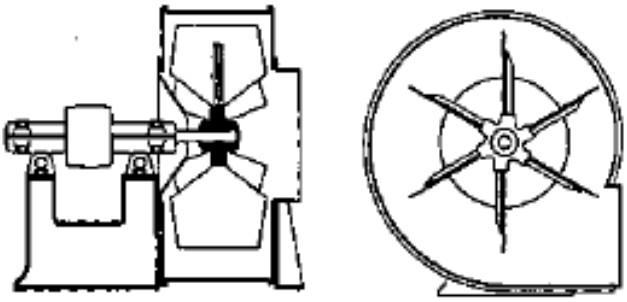

Figura 2.12 - Ventilador Radial ou de Palheta Reta (Perry, 2007).

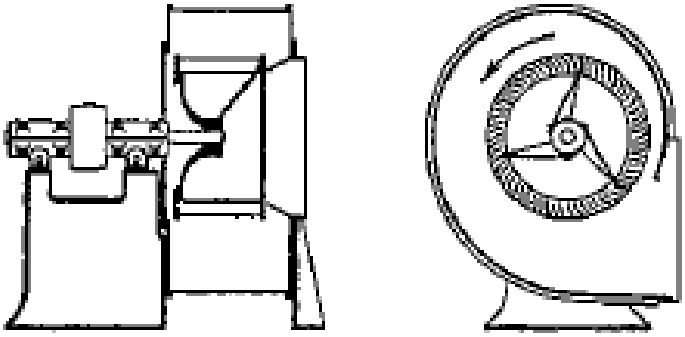

Figura 2.13 - Ventilador de Palheta Curvada Para Frente (Perry, 2007).

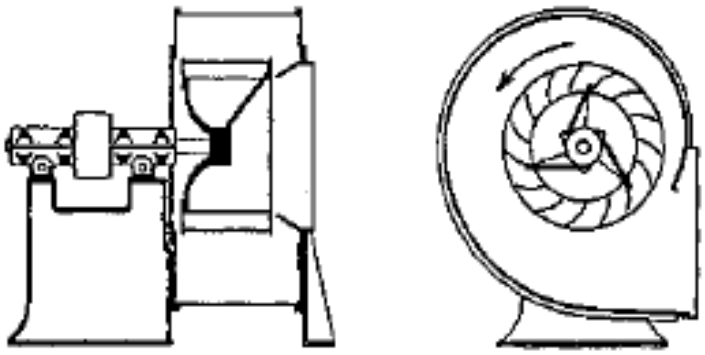

Figura 2.14 - Ventilador de Palheta Curvada Para Trás (Perry, 2007).

Os ventiladores de palheta reta são usualmente usados em aplicações de diâmetros grandes ou de alta temperatura. As palhetas sendo na direção radial têm muito menos estresse quando comparado ao de palhetas para frente e para trás. Os rotores têm em qualquer lugar 4 a 12 palhetas e usualmente operação em velocidades baixas. Estes ventiladores são usados em trabalhos de exaustão especialmente para gases em alta temperatura e com suspensão na corrente de vazão (Perry e Green, 2007).

O ventilador centrífugo produz energia na corrente de ar pela força centrífuga e confere uma velocidade ao gás pelas palhetas. O rolamento da voluta espalha o ar e cria um aumento na pressão estática pela redução da velocidade do gás. A mudança na pressão total ocorre no rotor. A pressão estática é aumentada em ambos o rotor e a seção difusora. A faixa de eficiência de operação dos ventiladores é de 40 a 80 por cento. Esta pressão total de descarga é a soma da pressão estática e da velocidade inicial (Perry e Green, 2007).

A performance dos ventiladores centrífugos varia com a mudança nas condições como temperatura, velocidade e densidade do gás sendo manuseado. É importante manter isto no uso dos dados dos catálogos dos vários ventiladores produzidos, uma vez que os dados são usualmente baseados nas condições padrões especificados. As variações usuais são como as seguintes:

- Quando a velocidade varia, (1) capacidade varia diretamente com a taxa de velocidade, (2) pressão varia com o quadrado da taxa de velocidade, (3) potência varia com o cubo da taxa de velocidade (Perry e Green, 2007).

- Quando a temperatura do ar ou gás varia, potência e pressão variam inversamente com a temperatura absoluta, velocidade e capacidade ficam constantes.
- Quando a densidade do ar ou gás varia, potência e pressão variam diretamente com a densidade, velocidade e capacidade ficam constantes (Perry e Green, 2007).

Com vistas a esta proteína presente no grão de soja e principalmente ao farelo de soja, seu mercado próspero e em crescimento, e um possível potencial de aumento de concentração de proteína com o uso dos equipamentos para a aspiração para poder agregar valor, buscamos avaliar a eficiência deste sistema como será visto a seguir.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são apresentados os materiais utilizados para realizar e desenvolver os experimentos, a descrição sucinta dos equipamentos presentes na unidade em escala piloto e industrial e as análises e suas metodologias aplicadas nas amostras geradas.

3.1 Procedência e Caracterização da Matéria-prima

Todos os farelos de soja utilizados nos experimentos provem da unidade industrial da IMCOPA, Importação, Exportação e Indústria de Óleos S.A. localizada no município de Araucária - Paraná. Uma especificação deste farelo pode ser visto na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Especificação do Farelo de Soja

PARÂMETROS	UNIDADE	VALORES TÍPICOS
Umidade	% m/m	Máx. 12,0
Proteína Bruta	% m/m	Mín. 48,0
Extrato Etéreo	% m/m	Mín. 2,0
Fibra Bruta	% m/m	Máx. 5,0
Matéria Mineral	% m/m	Máx. 6,0
Urease	ΔpH	Máx. 0,30
ANÁLISES COMPLEMENTARES		
Salmonella SSP.		Ausência em 25g
Ferro	mg/kg	Monitoramento
Zinco	mg/kg	150
Flúor	mg/kg	150
Chumbo	mg/kg	10
Cobre	mg/kg	25
Fluoreto	mg/kg	150
Mercúrio	mg/kg	0,1

Fonte: Documentos do Sistema de Qualidade da IMCOPA.

A partir deste farelo especificado na Tabela 3.1, foram obtidos outros farelos modificados por operações de fragmentação e peneiramento. Assim neste trabalho será referido como “Farelo de Soja” ao farelo sem qualquer tratamento prévio. O “Farelo de Soja Moído” refere-se ao farelo obtido industrialmente por um moinho de martelo com telas de furo de 12,0 mm. O “Farelo de Soja Peneirado” e o “Farelo de Soja Moído Peneirado” correspondem ao Farelo de Soja e Farelo de Soja Moído que foram submetidos ao peneiramento com telas de abertura 2,04 mm e 1,42 mm respectivamente, onde ambos os peneiramento geraram partes “retidas” e de corpo de “fundo”. A Tabela 3.2 apresenta uma análise laboratorial para os quatros tipos de farelos usados neste experimento em escala piloto.

Tabela 3.2 - Teores de Umidade, Proteína e Fibra dos Farelos Utilizados nos Experimentos em Escala Piloto

Análise	Unidade	TESTE 1 Farelo de Soja	TESTE 2 Farelo de Soja Peneirado	TESTE 3 Farelo de Soja Moído Peneirado	TESTE 4 Farelo Moído
Umidade	% m/m	13,60	13,50	13,91	13,76
Proteína	% m/m	48,49	48,49	47,86	48,85
Fibra	% m/m	4,33	3,62	3,25	2,56
Proteína BS	% m/m	56,12	56,06	55,59	56,64
Fibra BS	% m/m	4,45	4,18	3,78	2,97

Segue ainda uma distribuição granulométrica dos farelos de soja e dos farelos moídos obtidas em triplicata nas Tabelas 3.3 e 3.4 respectivamente e uma comparação entre ambos os farelos na Figura 3.1. Os Mesh das peneiras utilizadas nestes testes seguem o padrão Tyler.

Tabela 3.3 - Distribuição Granulométrica do Farelo de Soja

	Massa Retida na Peneira (g)				
Peneira	**Teste 01**	**Teste 02**	**Teste 03**	**Média ± D. P.**	**% Retida**
4,0 mm	152,9	190,3	149,1	164,1 ± 22,77	16,41
2,8 mm	96,0	118,2	92,0	102,1 ± 14,11	10,21
2,0 mm	160,3	178,1	150,3	162,9 ± 14,08	16,29
1,4 mm	212,8	197,3	208,2	206,1 ± 7,96	20,61
1,0 mm	177,9	154,1	179,4	170,5 ± 14,19	17,05
0,5 mm	177,7	143,1	192,0	170,9 ± 25,14	17,09
Fundo	22,4	18,9	29,0	23,4 ± 5,13	2,34
TOTAL	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	100,00%

Fonte: Laboratório de P&D IMCOPA.

Tabela 3.4 - Distribuição Granulométrica do Farelo de Soja Moído

	Massa Retida na Peneira (g)				
Peneira	**Teste 01**	**Teste 02**	**Teste 03**	**Média ± D. P.**	**% Retida**
4,0 mm	21,1	22,5	15,4	19,7 ± 3,76	1,97%
2,8 mm	55,2	59,0	50,4	54,9 ± 4,31	5,49%
2,0 mm	128,7	128,6	128,1	128,4 ± 0,32	12,84%
1,4 mm	261,9	259,4	260,0	260,4 ± 1,31	26,04%
1,0 mm	234,5	218,4	226,2	226,4 ± 8,05	22,64%
0,5 mm	257,1	267,7	272,1	265,6 ± 7,71	26,56%
Fundo	41,5	44,4	47,8	44,6 ± 3,15	4,46%
TOTAL	1.000,00	1.000,00	1.000,00	1.000,00	100,00%

Fonte: Laboratório de P&D IMCOPA.

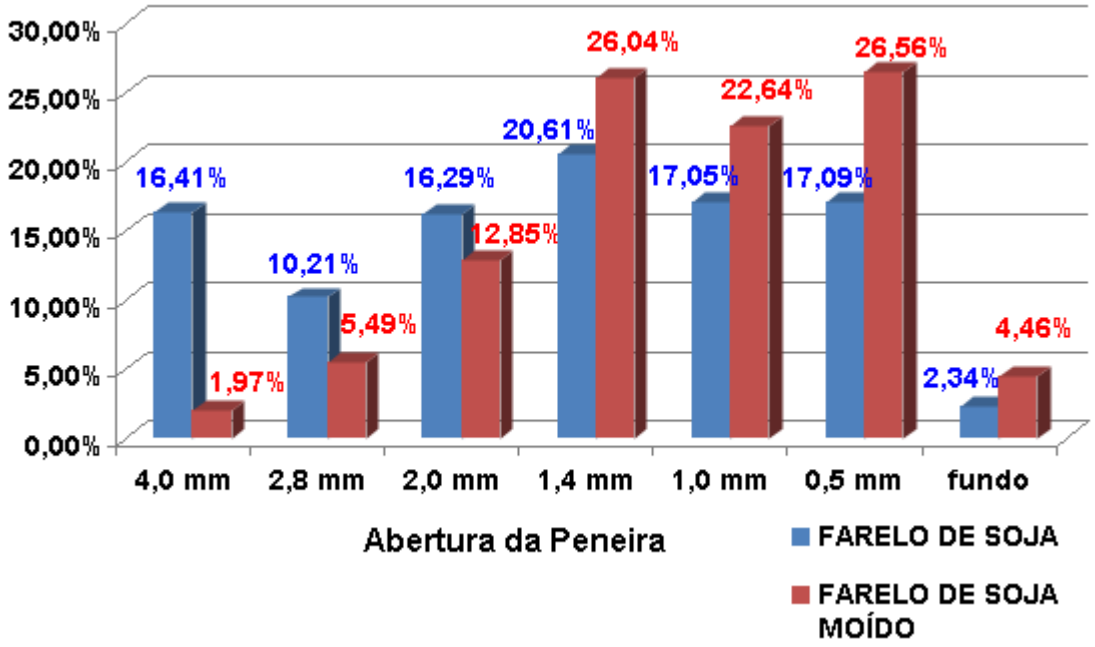

Figura 3.1 - Comparação Granulométrica entre o Farelo de Soja e o Farelo de Soja Moído.

A Figura 3.1 mostra a eficiência na redução da granulometria do farelo de soja, onde é visto uma grande redução nas partículas acima de 2,00 mm e um aumento na parte abaixo de 2,00 mm.

3.2 Unidade Piloto de Separação por Aspiração

Para realizar os testes experimentais foi utilizado um sistema piloto de separação por aspiração, localizado na unidade da IMCOPA de Araucária do Departamento de Projetos, Pesquisa e Desenvolvimento. A unidade piloto é composta pelos seguintes equipamentos: um elevador de canecas para elevação do farelo de soja até a moega de alimentação da coluna de aspiração, uma eclusa dosadora com inversor de frequência para controle de vazão do farelo, uma coluna de aspiração para remoção das cascas presente no farelo, um sistema de exaustão composto por um duto de ar na saída da coluna, um ciclone para coletar as cascas aspiradas, uma eclusa dosadora na saída do ciclone, um manômetro de pressão negativa (escala em mmCA) e um ventilador tipo exaustor de palheta reta. O esquema pode ser vista nas Figuras 3.2 e 3.3.

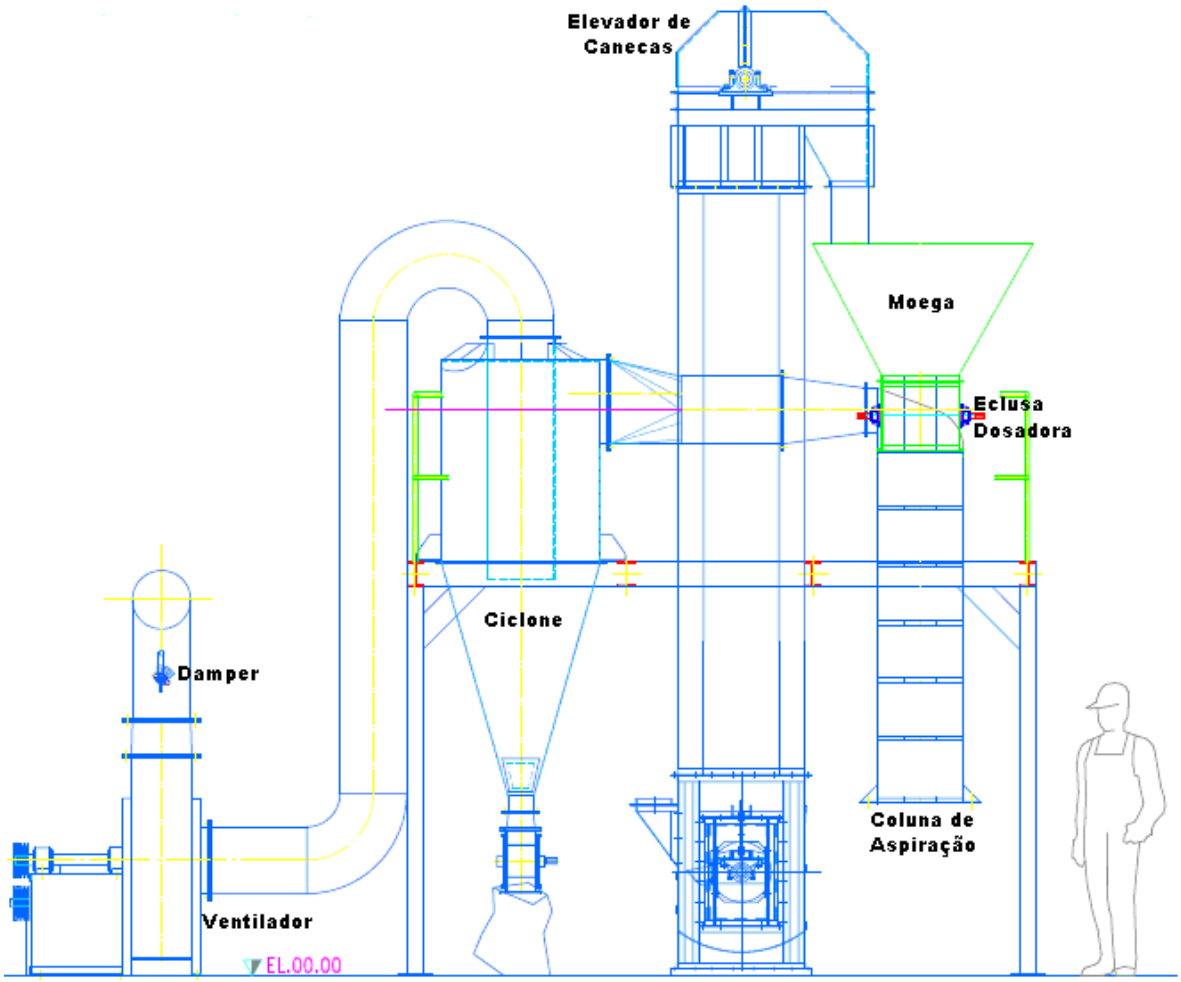

Figura 3.2 - Layout da Unidade Piloto da Coluna de Aspiração (P&D, IMCOPA).

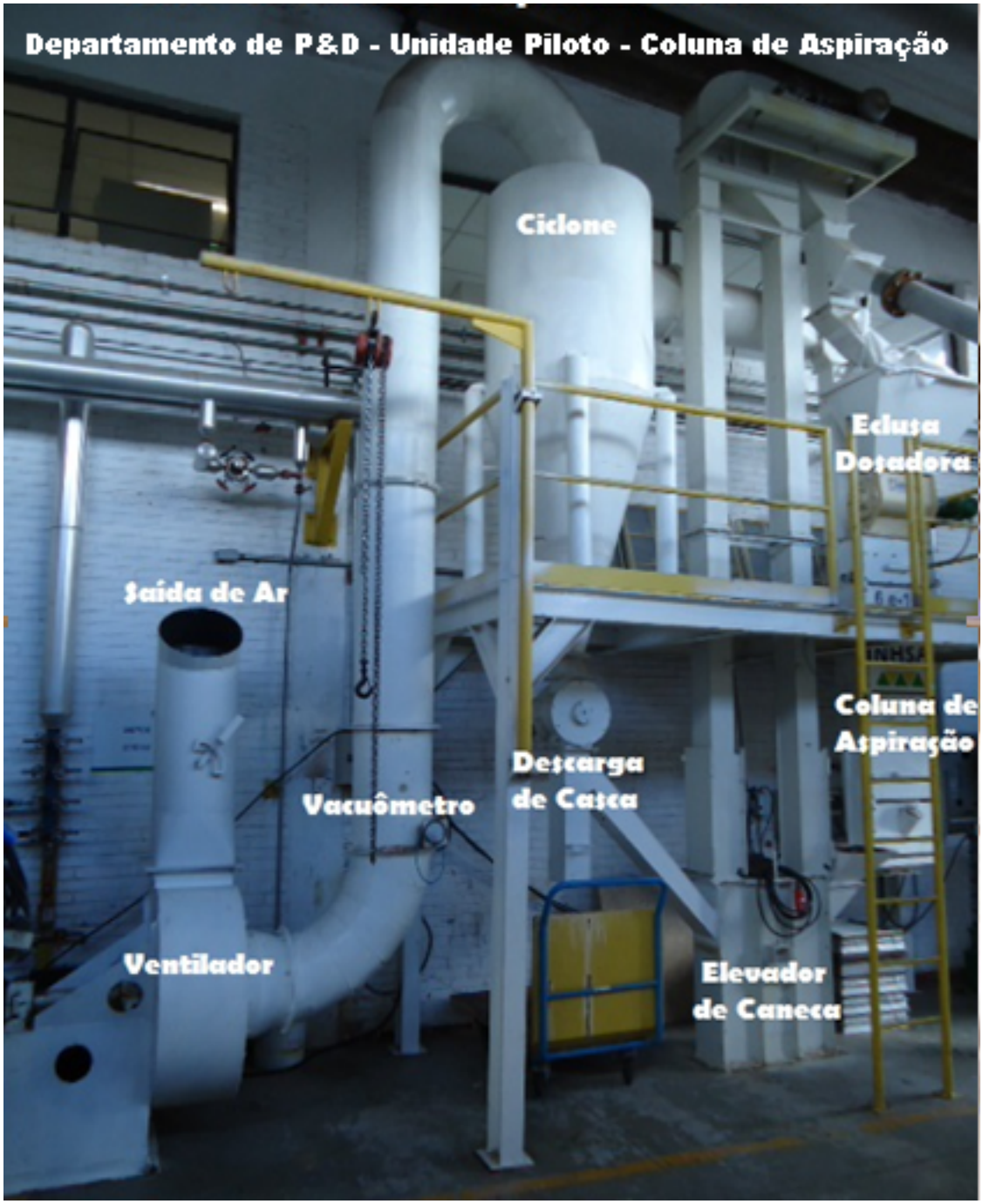

Figura 3.3 - Unidade Piloto de Coluna de Aspiração (P&D, IMCOPA).

3.3 Metodologia dos Testes Experimentais em Escala Piloto

Em todos os testes a metodologia utilizada foi a mesma, com exceção da abertura de telas na etapa de peneiramento dos farelos.

Todos os testes de separação por aspiração partiram de uma mesma amostra, estas armazenadas em sacos plásticos reforçados de 1.000 kg, isto

para que não tivesse interferência entre os testes proveniente de farelos iniciais diferentes.

Para efeito de cálculos futuros de *scale-up* de projeto, medidas de vazão de ar na saída do ventilador em cinco pontos foram realizadas com o auxílio de um anemômetro em cada depressão. A Figura 3.4 mostra os pontos de coleta no duto de saída do ventilador.

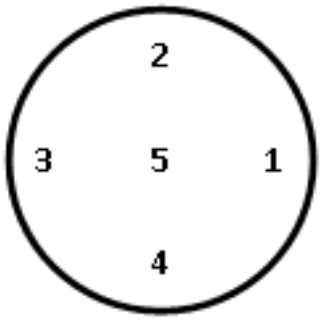

Figura 3.4 - Pontos de Coleta de Velocidade do Ar na Saída do Ventilador.

Inicialmente somente com o elevador de canecas ligado, alimentou-se 50 kg de farelo na moega localizada acima da eclusa dosadora com o auxílio de um balde de alumínio e uma balança. Concluída esta etapa ligou-se o ventilador e com o auxílio de um *damper* e de um manômetro de vácuo conectado na saída de ar da coluna regulou-se a depressão desejada, ligou-se também a eclusa dosadora de descarga do ciclone e acertou-se a freqüência do inversor da eclusa dosadora da coluna de aspiração para dar a alimentação de farelo desejada. Após tudo acertado, deu-se início a alimentação de farelo para remoção das cascas presentes. Com uma cronômetro calculou-se o tempo de descarga total para efeitos de cálculo de vazão.

Uma amostra de aproximadamente 300 gramas de farelo na entrada da coluna foi coletada para calcular a eficiência de cada teste. Outra amostra de farelo na saída da coluna de aproximadamente 300 gramas foi coletada durante o experimento, sendo que esta foi guardada em saco plástico de 0,5 kg para análises posteriores.

Após acabado o teste, coletou-se e pesou-se todo o farelo da saída do ciclone para efeitos de cálculo de rendimento de cada depressão. O mesmo

procedimento de coleta da amostra de farelo na saída da coluna foi imposto ao farelo na saída do ciclone.

Para a obtenção dos farelos peneirados, tanto o farelo de soja como o moído, utilizou-se uma peneira vibratória de escala piloto para fracionar estes farelos em duas partes, gerando a parte retida e a parte de fundo, isto para que cada fração passasse pela coluna de aspiração em condições diferentes e assim averiguar se podíamos ter uma melhor eficiência na separação.

Para o peneiramento do Farelo de Soja Moído a peneira possuía telas de 12 Mesh (número de fios/in²), com diâmetro de fio de 0,70 mm, abertura de 1,42 mm e 44% de área aberta total e para o peneiramento do Farelo de Soja foi usado telas de 10 Mesh, com diâmetro de fio 0,50 mm, abertura de 2,04 mm e 64% de área aberta total. O procedimento de peneiramento foi por bateladas de aproximadamente 5 kg cada com um tempo calculado de 3 minutos em cada batelada. Os farelos fracionados eram estocados em sacos plásticos reforçados de 250 kg. Estas frações também foram pesadas para cálculos futuros de rendimento parcial e total nas separações por aspiração.

3.4 Unidade Industrial de Separação por Aspiração

Para a realização dos testes em escala industrial, um sistema com equipamentos novos foi montado possuindo um silo pulmão para poder abastecer o sistema de separação, um transportador helicoidal de farelo com inversor de freqüência para poder controlar a alimentação do sistema de separação, uma peneira vibratória de duplo *deck* para fracionar o farelo para as colunas, esta peneira com telas de Mesh 10, com abertura de 2,04 mm, diâmetro de fio 0,50 mm e porcentagem de área aberta de 64%, para a fração do fundo por motivo de *layout* teve-se que colocar uma rosca transportadora para levar o farelo até a coluna de aspiração, já a fração retida cai por gravidade; duas colunas de aspiração, uma para cada fração da peneira. Na parte dos Pesados, temos um transportador de corrente (industrialmente conhecido como *Redler*) que abastece um elevador de canecas e na sequência a balança de fluxo dos Pesados, e por fim um transportador helicoidal. Na parte dos Leves, no fim dos dutos de aspiração da saída da coluna temos dois ciclones para coletar os leves das colunas tanto da fração retida como da

fração do fundo, na saída de cada ciclone temos uma eclusa dosadora e um transportador de corrente para levar o farelo até a balança de fluxo dos leves, um elevador de canecas para poder guardar novamente este farelo separado pelo sistema em um armazém adequado. Temos ainda no sistema dois ventiladores para realizar a aspiração do ar dentro das colunas e um manômetro de vácuo ligado no topo do duto de cada coluna para aferição das depressões. A seguir na Figura 3.5 temos um esquema do fluxo do farelo no sistema de separação por aspiração em escala industrial.

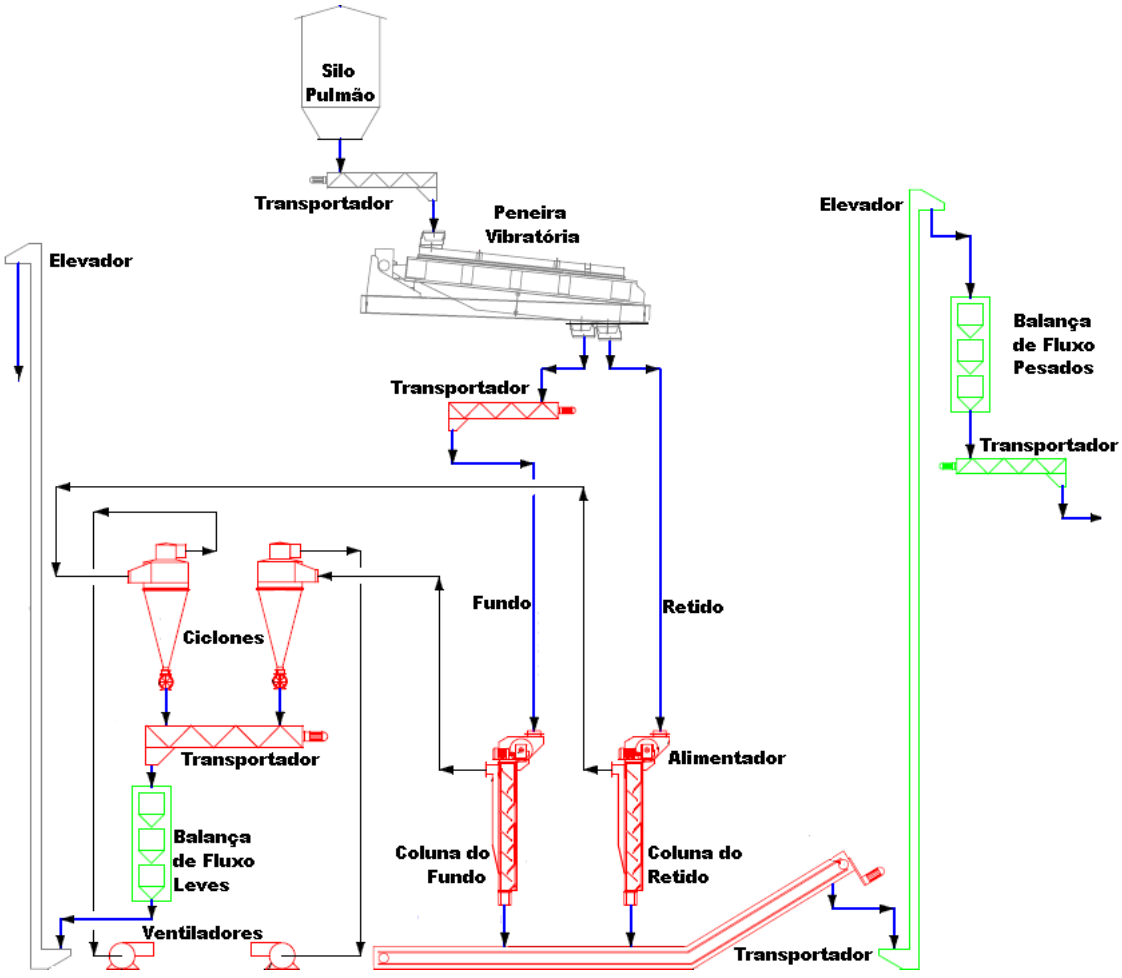

Figura 3.5 - Fluxo da Separação por Aspiração em Escala Industrial.

3.5 Metodologia dos Testes Experimentais em Escala Industrial

O fluxo do sistema da separação em escala industrial segue o padrão da escala piloto como visto na Figura 3.5, onde o farelo é inicialmente peneirado em peneira de Mesh 10, com abertura de 2,04 mm, diâmetro de fio 0,50 mm e

porcentagem de área aberta de 64% (isto para os dois tipos de farelo porque teve-se uma dificuldade para a troca de tela da peneira industrial para fazer o peneiramento do Farelo de Soja Moído com peneira de Mesh 12, abertura de 1,42 mm, como usada no teste em escala piloto). Depois de fracionado o farelo em duas frações, o Retido e os Fundos, passou-se pelas colunas de aspiração para ser efetuada a separação do farelo. Depois das colunas pesaram-se as duas correntes, dos Pesados e dos Leves (aspirado) em balanças de fluxo para avaliar o rendimento do teste e as vazões de alimentação das colunas.

Cabe ressaltar que esta vazão não pode ser comparada a encontrada na escala piloto, uma vez que na escala industrial ela é medida em um total na entrada antes de peneirar, ou seja, a fração de retido e de fundo ainda não foram geradas, diferentemente da em escala piloto onde temos a vazão por frações, o cálculo da vazão da fração retida e da fração do fundo independente. Este fato fez com que não pudesse avaliar a separação por aspiração em cada fração do farelo peneirado, mas fazendo somente uma avaliação global do sistema.

A coleta das amostras dos Pesados e dos Leves para posteriores análises de umidade, proteína e fibra foram coletadas na saída de suas respectivas balanças.

3.6 Especificação das Análises Laboratoriais

As amostras de farelo de soja obtidas nos experimentos foram analisadas em laboratório para determinar os teores de umidade, proteína e fibra. Todas as análises foram realizadas no laboratório interno da empresa IMCOPA, que segue todos os critérios de qualidade exigidos pelos clientes e compradores internos e externos e que possui o certificado da ISO 9001, dando assim uma maior credibilidade aos valores encontrados. A seguir mostra-se uma descrição do tipo de análise realizado.

- **Umidade:** para a determinação do teor de umidade foi utilizado o método AOCS – Ba 2a-38. Este método determina o conteúdo de água em produtos especificados, que volatiliza nas condições de estufa de ar forçado com temperatura regulada a 130 ± 3ºC.

- **Proteína Bruta:** o teor de proteína bruta é conhecido como o teor de proteína total calculado sobre o teor de nitrogênio encontrado de acordo com o método de Kjeldahl. É calculado pela multiplicação do teor de nitrogênio determinado de acordo com Kjeldahl pelo fator 6,25 e é expresso em gramas/100 gramas. Método este AOCS Aa 5-38.
- **Fibra ou Fibra Bruta:** o teor de fibra bruta foi determinado pelo método da AOCS – Ba 6-84, que determina como fibra bruta a perda por incineração do resíduo remanescente seco após a digestão da amostra com ácido sulfúrico diluído e hidróxido de sódio diluído como especificado nas condições de teste. Para amostras com teor de óleo acima de 1,50% é necessário extrair o óleo antes da análise de fibra.

Na Tabela 3.5 são mostrados os resultados das análises para um farelo de soja coletado aleatoriamente na indústria e seus desvios padrões para análise da confiabilidade dos valores encontrados nos testes que foram realizados neste trabalho. Este procedimento foi realizado pelo alto número de amostras que foram geradas, sendo impraticável a realização em triplicata de todas as amostras geradas nos testes em piloto e industrial.

Tabela 3.5 – Análise de Umidade, Proteína e Fibra do Farelo de Soja Coletado na Industrial para Cálculo do Desvio Padrão das Respectivas Análises

Análises	Umidade (% m/m)	Proteína (% m/m)	Fibra (% m/m)
1	13,63	48,89	3,93
2	13,71	48,90	3,85
3	13,74	48,80	3,86
4	13,73	48,81	3,74
5	13,65	48,85	3,94
Média	**13,692**	**48,850**	**3,864**
Desvio Padrão	**0,049**	**0,045**	**0,080**

4 RESULTADOS

No presente capítulo desta dissertação são apresentados os valores encontrados nos experimentos realizados na unidade piloto do Departamento de Projeto, Pesquisa e Desenvolvimento da IMCOPA e também os valores encontrados no experimento realizado em escala industrial.

4.1 Resultados Obtidos em Escala Piloto

Para melhor entendimento dos resultados obtidos, estes serão apresentados e divididos em experimentos realizados na ordem cronológica.

Na Tabela 4.1 são mostrados os valores coletados das velocidades de ar (metros / segundo) e suas respectivas depressões geradas na coluna de aspiração.

Tabela 4.1 - Velocidade do Ar na Saída do Ventilador para Diferentes Depressões na Coluna de Aspiração

	Velocidade do Ar (m/s)					
Depressão	**Coleta 01**	**Coleta 02**	**Coleta 03**	**Coleta 04**	**Coleta 05**	**Média ± D.P.**
10 mmCA	9,6	8,6	6,1	6,1	3,9	**6,86 ± 2,26**
20 mmCA	14,1	11,3	7,0	5,9	6,6	**8,98 ± 3,56**
30 mmCA	15,7	12,2	8,9	3,8	7,2	**9,56 ± 4,58**
40 mmCA	18,0	13,8	8,5	2,8	6,5	**9,92 ± 6,02**
50 mmCA	19,4	14,8	7,5	2,7	8,4	**10,56 ± 6,56**

Estes valores apresentados mostram o aumento da velocidade do ar com o aumento da depressão, valores estes já esperados. Os valores dos desvios padrões também seguiram da mesma forma, isto pode ser explicado pelo fato de conforme se aumentava a depressão, devido à presença de uma curva de 90^{o} na saída do ventilador, o ar tendeu a sair mais de um lado que do outro, fazendo com que o desvio padrão fosse assim maior nas depressões maiores, fato este que pode ser visto facilmente quando comparando as

depressões de 10 e 50 mmCA nos pontos de coleta 1 e 4, onde na depressão de 50 mmCA chegou a ser medida uma velocidade inferior a de depressão de 10 mmCA, porém na média geral, o valor foi maior e assim coerente.

Temos ainda a seguir a Tabela 4.2 a vazão volumétrica de ar obtida por estas depressões, onde a vazão é dada por metro de coluna, lembrando que no experimento temos a utilização de uma coluna com 6 declives, ou seja, 6 entradas de ar para passar através do produto.

Tabela 4.2 - Vazão de Ar por Metro de Coluna na Saída do Ventilador para Diferentes Depressões na Coluna de Aspiração com 6 Declives

Depressão	Vazão de Ar / metro de Coluna ($m^3/min*m$)
10 mmCA	106,78
20 mmCA	139,78
30 mmCA	148,81
40 mmCA	154,42
50 mmCA	164,38

Dando continuidade, nos cálculos de aumento de proteína e redução de fibra dos testes, foram calculados e considerados apenas os resultados obtidos em base seca, isto para não ter influência dos níveis de umidade presentes no farelo, fazendo com que não obtivesse um falso valor positivo ou negativo.

Para uma melhor compreensão dos produtos gerados no experimento, daremos a seguinte nomenclatura a cada produto: para o farelo na saída da coluna de aspiração já classificado e de maior interesse ao nosso experimento chamaremos de “Pesados” e as cascas que saem na saída do ciclone, que somados a estas cascas temos ainda o pó do farelo, chamaremos de “Leves”.

Ainda com relação aos Leves, uma concentração de proteína muito abaixo dos 53% em base seca seria inviável, uma vez que este produto com concentração tão baixa não possui mercado, tornando assim o sistema de separação impraticável. Outro fator que torna o sistema inviável é uma porcentagem superior a 25% de aspiração, ou seja, se tivermos 25% ou mais

de Leves o sistema não será financeiramente viável, visto que o farelo de soja convencional tem um valor comercial maior que os Leves com 53% de proteína base seca.

Um valor ótimo esperado de aumento no teor de proteína se encontra na faixa de 1,00% e para a redução no teor de fibra, aproximadamente 0,80%. Com relação a vazão de alimentação na coluna, um valor de 200 a 240 toneladas por dia por metro de coluna é considerado bom para a viabilidade do projeto com vista ao eventual *scale-up* do projeto para a implantação industrial.

As informações acima citadas são de relevância para maior entendimento dos resultados que serão apresentados e para a análise de viabilidade do sistema de separação.

4.1.1 Aspiração do Farelo de Soja

Primeiramente serão mostrados os resultados dos testes de aspiração das cascas presentes no farelo de soja com a eclusa de alimentação a 10 Hz. A Tabela 4.3 mostra os resultados de proteína e fibra em base seca nos farelos coletados na saída da coluna (Pesados) e na saída do ciclone (Leves) obtidos pela separação por aspiração em diferentes depressões. A Tabela 4.4 mostra a performance destas aspirações já com relação ao nosso produto de interesse, ou seja, a performance com relação aos Pesados.

Como poderá ser visto na Tabela 4.4 a melhor condição para aumento de teor de proteína foi com a depressão a 50 mmCA, valor este confirmado pela redução da concentração de fibra, sendo de 0,83% para a fibra e 1,20% para a proteína. Porém dois reveses são também mostrados no mesmo experimento, primeiro que a vazão de alimentação com a eclusa a 10 Hz para todos os testes nos proporcionou um valor muito abaixo do esperado, como já explicado no início deste capítulo, uma vez que para a implementação industrial esta se tornaria inviável pelo número de colunas de aspiração que deveria ser comprado. Outro fator relevante foi a porcentagem de aspiração de Leves, este já para o teste com a depressão a 50 mmCA, que consiste na fração de massa perdida na saída do ciclone e que foi muito elevada excedendo os 40%. Ou seja, com a depressão a 50 mmCA para este tipo de farelo o processo se torna inviável nestas condições. A porcentagem de

aspiração de Leves foi boa para as outras depressões, porém os aumentos de concentração de proteína e de redução de fibra foram abaixo do esperado.

Tabela 4.3 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 20, 30, 40 e 50 mmCA do Farelo de Soja a 10 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

		Proteína BS (% m/m)	**Fibra BS (% m/m)**
FARELO DE SOJA		56,12	4,45
Depressão 20 mmCA	Pesados	56,47	4,02
	Leves	50,37	8,97
Depressão 30 mmCA	Pesados	56,50	4,29
	Leves	51,98	6,64
Depressão 40 mmCA	Pesados	56,65	4,35
	Leves	53,98	6,02
Depressão 50 mmCA	Pesados	57,32	3,62
	Leves	54,69	5,25

Tabela 4.4 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados com Depressão de 20, 30, 40 e 50 mmCA do Farelo de Soja a 10 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

	Aumento de Proteína BS (% m/m)	**Redução de Fibra BS (% m/m)**	**Aspiração de Leves (% m/m)**	**Vazão de Alimentação (Ton/dia*m)**
Depressão 20 mmCA	0,35	0,43	5,65	69,264
Depressão 30 mmCA	0,38	0,16	14,26	66,288
Depressão 40 mmCA	0,53	0,10	23,36	69,840
Depressão 50 mmCA	1,20	0,83	40,95	70,464

4.1.2 Aspiração do Farelo de Soja Peneirado

A Tabela 4.5 mostra os resultados obtidos no peneiramento do farelo de soja com os resultados de porcentagem em massa retida na peneira de 2,04 mm de abertura e de fundo e também uma análise de proteína e fibra destas frações geradas.

Tabela 4.5 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca e Granulometria do Farelo de Soja Peneirado com Peneira de 2,04 mm de Abertura

		Proteína BS (% m/m)	**Fibra BS (% m/m)**
FARELO DE SOJA PENEIRADO		56,06	4,18
Peneira (abertura)	**Massa Retida (% m/m)**		
2,04 mm	30,69	55,93	4,33
Fundo	69,31	56,08	3,83
TOTAL	100,00%	56,03	3,98

O peneiramento com peneira de abertura de 2,04 mm proporcionou uma fração de retidos de 30,69% e de fundo de 69,31%, valores estes que serão fundamentais para os cálculos de eficiência da aspiração destas frações obtidas.

Em seguida nas Tabelas 4.6 e 4.7 são mostrados os resultados das separações por aspiração da fração retida em 2,04mm com a frequência da eclusa de alimentação a 20 Hz e as suas performances respectivamente.

Tabela 4.6 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 30 e 40 mmCA do Farelo de Soja Peneirado Retido na Peneira de 2,04 mm de Abertura a 20 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

		Proteína BS (% m/m)	Fibra BS (% m/m)
FARELO DE SOJA - 2,04 mm		55,93	4,33
Depressão 30 mmCA	Pesados	56,12	4,24
	Leves	48,12	10,80
Depressão 40 mmCA	Pesados	56,54	4,08
	Leves	50,77	8,38

Tabela 4.7 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados com Depressão de 30 e 40 mmCA do Farelo de Soja Peneirado Retido na Peneira de 2,04 mm a 20 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

	Aumento de Proteína BS (% m/m)	Redução de Fibra BS (% m/m)	Aspiração de Leves (% m/m)	Remoção Total (% m/m)	Vazão de Alimentação (Ton/dia*m)
Depressão 30 mmCA	0,19	0,09	3,92	1,20	140,736
Depressão 40 mmCA	0,61	0,25	6,91	2,12	139,344

A Tabela 4.7 mostra que com 40 mmCA os aumentos de proteína e redução de fibra foram os melhores, com uma porcentagem de aspiração de Leves de 6,91% e de 2,12% quando calculado para a remoção total, que é a porcentagem de remoção considerando a porcentagem de aspiração de Leves da porcentagem do peneiramento (6,91% de 30,69%), porém pela Tabela 4.6 vimos que os Leves ficou com uma proteína base seca de 50,77%, abaixo dos 53% que é o mínimo aceitável.

Os resultados da separação por aspiração com a fração do fundo do peneiramento do farelo de soja e suas performances são mostrados nas Tabelas 4.8 e 4.9.

Tabela 4.8 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 20 e 30 mmCA do Farelo de Soja Peneirado do Fundo da Peneira de 2,04 mm de Abertura a 20 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

		Proteína BS (% m/m)	**Fibra BS (% m/m)**
FARELO DE SOJA - Fundo		56,08	3,83
Depressão 20 mmCA	Pesados	56,57	3,57
	Leves	54,70	4,73
Depressão 30 mmCA	Pesados	56,50	3,45
	Leves	54,59	4,30

Tabela 4.9 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados com Depressão de 20 e 30 mmCA do Farelo de Soja Peneirado do Fundo da Peneira de 2,04 mm de Abertura a 20 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

	Aumento de Proteína BS (% m/m)	**Redução de Fibra BS (% m/m)**	**Aspiração de Leves (% m/m)**	**Remoção Total (% m/m)**	**Vazão de Alimentação (Ton/dia*m)**
Depressão 20 mmCA	0,49%	0,26%	13,37	9,27	163,104
Depressão 30 mmCA	0,42%	0,38%	26,22	18,17	163,200

A Tabela 4.9 mostra um aumento de 0,49% de aumento de teor de proteína para a depressão de 20 mmCA contra 0,42% da depressão de 30 mmCA, porém uma divergência é encontrada uma vez que a redução de fibra

foi maior na depressão de 30 mmCA, 0,38% contra 0,26%. Mas como nosso objetivo é o aumento da proteína, consideramos melhor a depressão de 20 mmCA, e diferentemente da fração retida, a parte dos Leves agora ficou com proteína maior que 53%, ficando com teores de 54,59%. Já a vazão obtida, agora com 20 Hz de freqüência na eclusa de alimentação ainda não nos forneceu a vazão mínima desejada que é de 200 Ton/dia*m.

Para a análise do teste de separação por aspiração com o Farelo de Soja Peneirado, somente a combinação dos melhores resultados obtidos em cada fração foram considerados, sendo a depressão de 40 mmCA para a parte do farelo retido em 2,04mm e 20 mmCA para o fundo como pode ser visto na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Análise Combinada dos Melhores Resultados Obtidos de Proteína da Separação por Aspiração do Farelo de Soja Peneirado com Peneira de 2,04 mm de Abertura a 20 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

		Total (% m/m)	**Proteína BS (% m/m)**	**Fibra BS (% m/m)**
FARELO DE SOJA PENEIRADO		100,00	56,06	4,18
Peneira	**Depressão**			
2,04 mm	40 mmCA	28,57	56,54	4,08
Fundo	20 mmCA	60,04	56,57	3,57
TOTAL	**-**	**88,61**	**56,56**	**3,74**
			Aumento de Proteína	**0,50%**
			Redução de Fibra	**0,44%**

Diferentemente do que se esperava o fracionamento do Farelo de Soja não proporcionou um melhor ganho na proteína final, ficando apenas em 0,50% de aumento, este fato pode ser justificado pela pouca aspiração de cascas, com total de 11,39% (2,12 % do retido em 2,04 mm e 9,27% do fundo). O outro valor que foi proporcionado foi o de vazão, uma vez que novamente estes valores continuaram abaixo do desejado.

Como a vazão obtida foi baixa, outro experimento foi realizado, porém agora com a eclusa de alimentação a 30 Hz de frequência, no entanto nesta condição foi somente realizada a separação nas melhores condições previamente obtidas, 40 e 20 mmCA, nas frações do farelo retida na peneira de 2,04mm e fundo respectivamente. Estes resultados se encontram nas Tabelas 4.11, 4.12, 4.13 e 4.14.

Tabela 4.11 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 40 mmCA do Farelo de Soja Peneirado Retido na Peneira de 2,04mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

		Proteína BS (% m/m)	**Fibra BS (% m/m)**
FARELO DE SOJA - 2,04mm		55,93	4,33
Depressão 40 mmCA	Pesados	56,66	3,85
	Leves	45,83	16,24

Tabela 4.12 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados com Depressão de 40 mmCA do Farelo de Soja Peneirado Retido na Peneira de 2,04mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

	Aumento de Proteína BS (% m/m)	**Redução de Fibra BS (% m/m)**	**Aspiração de Leves (% m/m)**	**Remoção Total (% m/m)**	**Vazão de Alimentação (Ton/dia*m)**
Depressão 40 mmCA	0,73	0,48	8,69	2,27	203,568

Tabela 4.13 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 20 mmCA do Farelo de Soja Peneirado do Fundo da Peneira de 2,04 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

		Proteína BS (% m/m)	**Fibra BS (% m/m)**
FARELO DE SOJA - Fundo		56,08	3,83
Depressão 20 mmCA	Pesados	56,71	3,61
	Leves	49,86	10,34

Tabela 4.14 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados com Depressão de 20 mmCA do Farelo de Soja Peneirado do Fundo da Peneira de 2,04 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

	Aumento de Proteína BS (% m/m)	**Redução de Fibra BS (% m/m)**	**Aspiração de Leves (% m/m)**	**Remoção Total (% m/m)**	**Vazão de Alimentação (Ton/dia*m)**
Depressão 20 mmCA	0,63	0,22	12,92	8,95	237,072

Os valores mostrados nas Tabelas 4.12 e 4.14 mostram valores um pouco melhores de aumento de proteína quando comparados ao teste anterior, com a eclusa de alimentação a 20 Hz de frequência, porém valores de proteína para os Leves ficaram abaixo do permitido. As porcentagens de aspiração de Leves ainda continuaram baixas, valores estes que podem ser comprovados quando combinados como mostrados na Tabela 4.15 a seguir.

Tabela 4.15 - Análise Combinada dos Resultados Obtidos de Proteína da Separação por Aspiração do Farelo Normal Peneirado com Peneira de 2,04 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

		Total (% m/m)	Proteína BS (% m/m)	Fibra BS (% m/m)
FARELO DE SOJA PENEIRADO		100,00	56,06	4,18
Peneira	**Depressão**			
2,04 mm	40 mmCA	28,42	56,56	3,85
Fundo	20 mmCA	56,39	56,71	3,61
TOTAL	**-**	**84,81**	**56,69**	**3,69**
			Aumento de Proteína	**0,63%**
			Redução de Fibra	**0,49%**

Como pode ser visto resultados de aumento de teor de proteína e redução da concentração de fibra com a eclusa de alimentação a 30 Hz foram parecidos com a eclusa a 20 Hz, tendo um aumento um pouco maior para o experimento com a eclusa a 30 Hz, 0,63% contra 0,50% com a eclusa a 20 Hz, ainda abaixo do valor que se espera que a separação nos proporcione, valor este próximo de 1,00%. A frequência usada de 30 Hz nos proporcionou uma vazão próxima do desejável de modo que nos experimentos seguintes foi fixado tal parâmetro.

4.1.3 Aspiração do Farelo de Soja Moído Peneirado

Seguindo a realização dos experimentos de separação por aspiração, o farelo de soja agora moído foi também fracionado e o peneiramento realizado em peneira de malha Mesh 12. Primeiramente são mostrados os resultados do peneiramento na Tabela 4.16 e em seguida os resultados laboratoriais e de performance da aspiração da fração retida em 1,42mm a 30 Hz na eclusa de alimentação com diferentes depressões.

Tabela 4.16 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca e de Granulometria do Farelo de Soja Moído Peneirado com Peneira de 1,42 mm de Abertura

		Proteína BS (% m/m)	**Fibra BS (% m/m)**
FARELO MOÍDO PENEIRADO		55,59	3,78
Peneira (abertura)	**Massa Retida (% m/m)**		
1,42 mm	46,80	54,94	3,91
Fundo	53,20	55,77	3,11
TOTAL	100,00	55,38	3,48

O peneiramento com a tela com abertura de 1,42 mm proporcionou uma divisão de 46,80% de Retido e 53,20 de Fundo, valores que serão usados nos cálculos das melhores depressões combinadas.

A seguir as Tabelas 4.17 e 4.18 mostram o desempenho da aspiração a diferentes depressões para a parte retida do Farelo de Soja Moído Peneirado.

Tabela 4.17 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 30, 40 e 50 mmCA do Farelo de Soja Moído Peneirado Retido na Peneira de 1,42 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

		Proteína BS (% m/m)	**Fibra BS (% m/m)**
FARELO MOÍDO - 1,42 mm		54,94	3,91
Depressão 30 mmCA	Pesados	55,72	3,12
	Leves	50,40	9,24
Depressão 40 mmCA	Pesados	56,48	3,22
	Leves	51,16	10,36
Depressão 50 mmCA	Pesados	56,67	3,53
	Leves	51,98	7,45

Tabela 4.18 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados com Depressão de 30, 40 e 50 mmCA do Farelo de Soja Moído Peneirado Retido na Peneira de 1,42 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

	Aumento de Proteína BS (% m/m)	**Redução de Fibra BS (% m/m)**	**Aspiração de Leves (% m/m)**	**Remoção Total (% m/m)**	**Vazão de Alimentação (Ton/dia*m)**
Depressão 30 mmCA	0,78	0,79	10,79	5,05	196,364
Depressão 40 mmCA	1,54	0,69	15,86	7,42	200,930
Depressão 50 mmCA	1,73	0,38	19,86	9,29	205,714

A Tabela 4.18 mostra um melhor desempenho para a depressão de 50 mmCA, porém como aconteceu com o teste do Farelo de Soja Peneirado, o valor de redução de fibra não acompanhou o de aumento de proteína, porém para efeito de análise combinada a depressão de 50 mmCA será usada. Na parte dos Leves, todas as depressões geraram proteínas abaixo de 53%, mas a depressão de 50 mmCA obteve um valor de 51,98%, próximo do desejável. Já com relação a vazão, somente para confirmar o que já tínhamos obtido no teste anterior, a vazão foi de 205,714 Ton/dia*m, dentro do nosso valor esperado.

Na sequência serão mostrados pelas Tabelas 4.19 e 4.20 os resultados da aspiração da fração do fundo da peneira de 1,42 mm de abertura do Farelo de Soja Moído Peneirado a 30 Hz.

Tabela 4.19 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressões de 10, 20, 30 e 40 mmCA do Farelo de Soja Moído Peneirado do Fundo da Peneira de 1,42 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

		Proteína BS (% m/m)	Fibra BS (% m/m)
FARELO MOÍDO - Fundo		55,77	3,11
Depressão 10 mmCA	Pesados	55,61	2,62
	Leves	51,54	6,00
Depressão 20 mmCA	Pesados	56,15	2,84
	Leves	52,11	4,97
Depressão 30 mmCA	Pesados	56,51	2,45
	Leves	53,42	4,91
Depressão 40 mmCA	Pesados	56,06	3,65
	Leves	54,57	4,41

Tabela 4.20 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados do Farelo de Soja Moído Peneirado do Fundo da Peneira de 1,42 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

	Aumento de Proteína BS (% m/m)	Redução de Fibra BS (% m/m)	Aspiração de Leves (% m/m)	Remoção Total (% m/m)	Vazão de Alimentação (Ton/dia*m)
Depressão 10 mmCA	-0,16	0,49	3,01	1,60	240,000
Depressão 20 mmCA	0,38	0,27	9,06	4,82	254,118
Depressão 30 mmCA	0,74	0,66	16,79	8,93	227,368
Depressão 40 mmCA	0,29	-0,54	21,92	11,66	240,000

A Tabela 4.20 mostra uma melhor condição com depressão a 30 mmCA onde o aumento do teor de proteína foi de 0,74% e de redução de fibra 0,66%, com valores considerados bons de aspiração de Leves de 16,79%, de remoção total de 8,93% (% de aspiração da % do peneiramento) e de valores de vazão. Na Tabela 4.19, a depressão de 30 mmCA nos forneceu um Leve de 53,42% de proteína, valor este considerado bom.

Como realizado anteriormente com o Farelo de Soja Peneirado, para a análise do teste desta separação por aspiração com o fracionamento do Farelo de Soja Moído, somente a combinação dos melhores resultados obtidos em cada fração foram calculados, estes podem ser visto na Tabela 4.21.

Tabela 4.21 - Análise Combinada dos Melhores Resultados de Proteína da Separação por Aspiração do Farelo de Soja Moído Peneirado com Peneira de 1,42 mm de Abertura a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

		Total (% m/m)	**Proteína BS (% m/m)**	**Fibra BS (% m/m)**
FARELO MOÍDO PENEIRADO		100,00	55,59	3,78
Peneira	**Depressão**			
1,42 mm	50 mmCA	37,51	56,67	3,53
Fundo	30 mmCA	44,27	56,51	2,45
TOTAL	**-**	**81,78**	**56,58**	**2,94**
			Aumento de Proteína	**0,99%**
			Redução de Fibra	**0,84%**

Diferentemente do Farelo de Soja Peneirado, o Farelo de Soja Moído Peneirado mostrou um bom resultado diante dos 0,99% de aumento de proteína e de 0,84% de redução de fibra, valores estes que satisfazem o nosso objetivo, e ainda com valores satisfatórios de vazão e de porcentagem de aspiração de Leves, 18,22% total (9,29% da aspiração da fração retida e 8,93% da aspiração da fração do fundo). Com relação a proteína dos Leves, a média ponderada da fração dos retidos com a fração do fundo nos gerou um valor de 52,69%, um pouco abaixo dos 53% considerado ótimo.

4.1.4 Aspiração do Farelo de Soja Moído

Experimentos de separação por aspiração também foram realizados com o Farelo de Soja Moído sem peneirar e com a freqüência da eclusa de alimentação a 30Hz.

Primeiramente serão mostrados os resultados obtidos com o Farelo de Soja Moído com a frequência da eclusa de alimentação a 30 Hz na Tabela 4.22 e os resultados de performance na Tabela 4.23.

Tabela 4.22 - Teores de Proteína e Fibra Base Seca das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 20, 30, 40 e 50 mmCA do Farelo de Soja Moído a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

		Proteína BS (% m/m)	**Fibra BS (% m/m)**
FARELO DE SOJA MOÍDO		56,64	2,97
Depressão 20 mmCA	Pesados	57,19	3,04
	Leves	51,62	5,98
Depressão 30 mmCA	Pesados	57,03	2,51
	Leves	52,90	5,20
Depressão 40 mmCA	Pesados	56,88	2,55
	Leves	52,93	4,63
Depressão 50 mmCA	Pesados	58,03	2,53
	Leves	53,87	4,10

Tabela 4.23 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados do Farelo de Soja Moído a 30 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

	Aumento de Proteína BS (% m/m)	Redução de Fibra BS (% m/m)	Aspiração de Leves (% m/m)	Vazão de Alimentação (Ton/dia*m)
Depressão 20 mmCA	0,55	-0,07	6,63	221,538
Depressão 30 mmCA	0,39	0,46	11,89	227,368
Depressão 40 mmCA	0,24	0,42	16,96	227,368
Depressão 50 mmCA	1,39	0,44	24,72	227,368

Este experimento do Farelo de Soja Moído assim como o teste com o mesmo farelo peneirado mostrou-se bem eficiente tanto no aumento da proteína como na vazão e na porcentagem de aspiração de Leves, porém um valor que intriga é a baixa redução de fibra de apenas 0,44% quando comparado ao aumento de proteína de 1,39% na depressão de 50 mmCA, valores muitos distintos e também a incompatibilidade do resultado entre aumento de proteína e depressão, onde não tivemos uma coerência uma vez que os resultados foram piorando com o aumento da depressão e com o último teste, com 50 mmCA.a proteína foi a maior encontrada.

4.1.5 Aspiração em Alta Vazão

Um último experimento de separação por aspiração ainda foi realizado, este para avaliar a influência da vazão no processo, teste realizado com o Farelo de Soja Moído sem peneirar com a freqüência da eclusa de alimentação a 60 Hz. Na Tabela 4.24 são mostrados os resultados obtidos com a frequência da eclusa de alimentação a 60 Hz e a Tabela 4.25 mostra os resultados de performance deste teste com uma vazão maior.

Tabela 4.24 - Teores de Proteína e Fibra das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 30, 40 e 50 mmCA do Farelo de Soja Moído a 60 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

		Proteína BS (% m/m)	Fibra BS (% m/m)
FARELO MOÍDO		56,28	3,19
Depressão 30 mmCA	Pesados	56,95	3,19
	Leves	51,85	5,15
Depressão 40 mmCA	Pesados	56,84	2,61
	Leves	52,41	6,01
Depressão 50 mmCA	Pesados	56,44	2,83
	Leves	53,80	4,95

Tabela 4.25 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados do Farelo de Soja Moído a 60 Hz de Frequência na Eclusa de Alimentação

	Aumento de Proteína BS (% m/m)	Redução de Fibra BS (% m/m)	Aspiração de Leves (% m/m)	Vazão de Alimentação (Ton/dia*m)
Depressão 30 mmCA	0,67	0,00	8,25	392,728
Depressão 40 mmCA	0,56	0,58	12,10	411,428
Depressão 50 mmCA	0,16	0,36	16,96	411,428

Os resultados encontrados se mostraram inconclusivos, uma vez que tivemos aumentos de proteína incompatíveis com as reduções de fibra, isto pelo fato de ter criado uma camada muito grossa de farelo dentro da coluna, que somente ocorreu neste teste com a eclusa de alimentação a 60 Hz, fazendo com que o ar não passasse através do farelo e assim não arrastasse

as cascas ali presentes. Também valores maiores encontrados em testes anteriores fizeram com que o teste não fosse satisfatório.

Comparando os diferentes farelos utilizados nos testes experimentais realizados em escala piloto, pode-se afirmar que a granulometria do material exerce influência no processo de separação por aspiração e que dentre as matérias-primas utilizadas, o Farelo de Soja Moído Peneirado mostrou ser o mais adequado para este sistema. Desta forma, estes resultados indicaram que uma operação de moagem e peneiramento do Farelo de Soja antes do processo de separação garante um melhor desempenho nesta ultima etapa. E que também os valores encontrados de aumento de teor de proteína e redução da concentração de fibra fizeram com que o sistema passasse da escala piloto para a escala industrial

4.2 Resultados Obtidos em Escala Industrial

A seguir serão mostrados os resultados obtidos em escala industrial da separação por aspiração do Farelo de Soja e do Farelo de Soja Moído ambos peneirados.

4.2.1 Separação por Aspiração do Farelo de Soja Peneirado em Escala Industrial

Serão mostrados a seguir na Tabela 4.26 os resultados obtidos da avaliação das variáveis do processo na eficiência da separação por aspiração do Farelo de Soja Peneirado. Na Tabela 4.27 se encontram os resultados da performance obtidos nos testes realizados apresentados na Tabela 4.26.

Tabela 4.26 - Teores de Proteína e Fibra das Amostras Geradas da Separação por Aspiração das Frações Retida e Fundo do Farelo de Soja Peneirado em Peneira com 2,04 mm de Abertura com Diferentes Depressões

	Depressão das Colunas				
Teste	**Retido**	**Fundo**	**Amostra**	**Proteína BS (% m/m)**	**Fibra BS (% m/m)**
1	40 mmCA	20 mmCA	Entrada	57,34	3,97
			Pesados	57,39	3,82
			Leves	45,08	12,23
2	40 mmCA	40 mmCA	Entrada	57,20	4,00
			Pesados	57,24	3,65
			Leves	49,25	9,09
3	65 mmCA	20 mmCA	Entrada	56,84	3,88
			Pesados	57,14	3,63
			Leves	52,85	6,08
4	65 mmCA	40 mmCA	Entrada	56,82	3,80
			Pesados	57,96	3,48
			Leves	53,29	5,89
5	85 mmCA	20 mmCA	Entrada	56,97	3,70
			Pesados	57,10	3,50
			Leves	55,18	5,37
6	85 mmCA	40 mmCA	Entrada	56,89	3,62
			Pesados	57,04	3,42
			Leves	55,03	5,05

Tabela 4.27 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados do Farelo de Soja Peneirado em Peneira de 2,04 mm de Abertura

Teste	Aumento de Proteína BS (% m/m)	Redução de Fibra BS (% m/m)	Aspiração de Leves (% m/m)	Vazão de Alimentação (Ton/dia*m)
1	0,05	0,15	2,75	194,280
2	0,04	0,35	4,19	189,216
3	0,30	0,25	6,23	190,728
4	1,14	0,32	7,84	191,088
5	0,13	0,20	10,50	192,960
6	0,15	0,20	12,48	199,560

Como podem ser vistos pelas Tabelas 4.26 e 4.27 o melhor resultado obtido para o Farelo de Soja Peneirado foi o teste 4, este no qual temos uma depressão de 65 mmCa para a fração retida na peneira de 2,04 mm e uma depressão de 40 mmCA para a fração do fundo da peneira, onde tivemos um aumento de 1,14% no teor de proteína. Outro valor bom deste mesmo teste foi o teor de proteína dos Leves, ficando com 53,29%, valor este que se mostra satisfatório em vista dos 53% estipulado como mínimo para não tornar o sistema inviável.

Os valores encontrados nas depressões em escala industrial foram diferentes dos encontrados em escala piloto, isto pelo fato de que a instalação industrial dos dutos de ar entre as colunas de aspiração e os ciclones foi maior, gerando assim uma perda de carga maior.

Com base neste teste preliminar e a fim de confirmar estes valores, tomou-se a medida de realizar outro teste, porém agora em um tempo mais prolongado, com coletas de amostras de meia em meia hora, fixando estes valores de depressão de 65 mmCA para a fração dos retidos e de 40 mmCA para a fração dos fundos da peneira. Os valores obtidos dos testes são mostrados na Tabela 4.28 e os resultados da performance na Tabela 4.29 que se apresentam a seguir.

Tabela 4.28 - Teores de Proteína e Fibra das Amostras Geradas da Separação por Aspiração com Depressão de 65 mmCA na Fração Retida e Depressão de 40 mmCA na Fração do Fundo do Farelo de Soja Peneirado em Peneira com 2,04 mm de Abertura

Teste	Amostra	Proteína BS (% m/m)	Fibra BS (% m/m)
4A	Entrada	55,93	4,21
	Pesados	56,54	3,76
	Leves	51,93	6,82
4B	Entrada	55,48	4,31
	Pesados	56,44	3,77
	Leves	51,35	7,22
4C	Entrada	55,16	4,51
	Pesados	55,90	4,25
	Leves	52,64	6,80
4D	Entrada	55,05	4,28
	Pesados	55,85	3,85
	Leves	51,45	6,83
4E	Entrada	55,31	4,22
	Pesados	56,02	4,07
	Leves	52,10	7,07
4F	Entrada	55,19	4,76
	Pesados	55,86	4,34
	Leves	51,63	6,70
4G	Entrada	55,00	4,60
	Pesados	56,46	4,26
	Leves	48,69	9,70
4H	Entrada	55,24	4,49
	Pesados	55,83	4,38
	Leves	48,05	11,44
4I	Entrada	55,50	4,47
	Pesados	56,00	4,22
	Leves	49,24	9,51

Tabela 4.29 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados com Depressão de 65 mmCA na Fração Retida e Depressão de 40 mmCA na Fração do Fundo do Farelo de Soja Peneirado em Peneira de 2,04 mm de Abertura

Teste	Aumento de Proteína BS (% m/m)	Redução de Fibra BS (% m/m)	Aspiração de Leves (% m/m)	Vazão de Alimentação (Ton/dia*m)
4A	0,61	0,45	9,40	198,864
4B	0,96	0,54	8,05	192,160
4C	0,74	0,26	8,93	197,488
4D	0,80	0,43	9,12	195,888
4E	0,71	0,15	9,09	189,408
4F	0,67	0,42	9,10	193,656
4G	1,46	0,34	7,03	184,272
4H	0,59	0,11	8,87	188,952
4I	0,50	0,25	7,01	203,592
MÉDIA ± D.P.	**0,78 ± 0,29**	**0,33 ± 0,15**	**8,51 ± 0,92**	**193,809 ± 5,871**

Os resultados apresentados mostram que o aumento de 1,14% no teor de proteína encontrado foi muito elevado. Na realização dos vários testes tivemos a mesma redução de fibra, porém agora o aumento do teor de proteína foi de 0,78%, com uma aspiração de Leves de 8,51% e uma vazão de alimentação por metro de coluna de 193,809, porém mesmo com um aumento de concentração de proteína menor encontrado, este ainda se mostrou satisfatório.

Com base nos resultados obtidos pela Tabela 4.28, foi realizado um teste estatístico T Bicaudal onde são avaliadas duas populações e suas dependências, ou seja, este teste mostra se a média da população de dados de proteína da Entrada é igual ou diferente da média da população de dados de proteína da saída (Pesados), isto para certo nível de confiança estipulado, levando ainda em consideração no cálculo a média, o desvio padrão, a variância e o número total de dados (n^{o}). O mesmo teste também foi realizado para a fibra.

A seguir na Tabela 4.30 é mostrado o resultado obtido deste teste estatístico T Bicaudal de avaliação das médias de entrada e saída para o teor de proteína.

Tabela 4.30 - Teste Estatístico T Bicaudal para as Médias de Proteína de Entrada e Saída dos Testes com Depressão de 65 mmCA na Fração Retida e Depressão de 40 mmCA na Fração do Fundo do Farelo de Soja Peneirado em Peneira de 2,04 mm de Abertura

Teste	Entrada (% m/m)	Saída (% m/m)	Nível de Confiança (%)	Conclusão
4A	55,93	56,54		
4B	55,48	56,44		
4C	55,16	55,90		
4D	55,05	55,85		
4E	55,31	56,02	**99,9**	**DIFERENTE**
4F	55,19	55,86		
4G	55,00	56,46		
4H	55,24	55,83		
4I	55,50	56,00		
Média	55,32	56,10		
Variância	0,00082	0,00086		
Desvio Padrão	0,286	0,293		
nº	9	9		

Como pode ser visto pela Tabela 4.30, obtivemos uma média de teor de proteína na entrada de 55,32% contra 56,10% na saída (Pesados), uma variância de 0,00082% para a entrada e 0,00086 para a saída e ainda um desvio padrão de 0,286% e 0,293% para a entra e saída respectivamente. Estes valores geraram com um nível de confiança de 99,9% a conclusão de que realmente as médias encontradas são diferentes, ou seja, o aumento de 0,78% no teor de proteína se mostra verdadeiro e que a separação por

aspiração é eficiente para aumentar a concentração de proteína no farelo de soja.

Dando continuidade no teste estatístico, este agora realizado para as médias dos teores de fibra na entra e na saída são mostrados na Tabela 4.31.

Tabela 4.31 - Teste Estatístico T Bicaudal para as Médias de Fibra de Entrada e Saída dos Testes com Depressão de 65 mmCA na Fração Retida e Depressão de 40 mmCA na Fração do Fundo do Farelo de Soja Peneirado em Peneira de 2,04 mm de Abertura

Teste	Entrada (% m/m)	Saída (% m/m)	Nível de Confiança (%)	Conclusão
4A	4,21	3,76		
4B	4,31	3,77		
4C	4,51	4,25		
4D	4,28	3,85		
4E	4,22	4,07	**99,9**	**DIFERENTE**
4F	4,76	4,34		
4G	4,60	4,26		
4H	4,49	4,15		
4I	4,47	4,22		
Média	4,43	4,10		
Variância	0,00035	0,00061		
Desvio Padrão	0,1867	0,2466		
nº	9	9		

Valores de 4,43% de média de teor de fibra na entrada e 4,10% na saída foram obtidos, com variância e desvio padrão de 0,00035% e 0,1867% respectivamente para a entrada e 0,00061% e 0,2466% para a saída. Estes valores obtidos geraram com um nível de confiança de 99,9% assim como para a análise de proteína também a conclusão de que as médias para os teores de fibra são diferentes, confirmando assim o resultado obtido para a proteína e sobre a eficiência da separação por aspiração.

4.2.2 Separação por Aspiração do Farelo de Soja Moído Peneirado em Escala Industrial

Os resultados obtidos no teste de separação por aspiração do Farelo de Soja Moído Peneirado são mostrados na Tabela 4.32.

Tabela 4.32 - Teores de Proteína e Fibra das Amostras Geradas da Separação por Aspiração das Frações Retida e Fundo do Farelo de Soja Moído Peneirado em Peneira com 2,04 mm de Abertura com Diferentes Depressões

	Depressão das Colunas			Proteína BS	Fibra BS
Teste	Retido	Fundo	Amostra	(% m/m)	(% m/m)
1	50 mmCA	30 mmCA	Entrada	57,13	4,30
			Pesados	57,43	3,98
			Leves	52,25	7,64
2	65 mmCA	30 mmCA	Entrada	56,06	4,58
			Pesados	56,71	3,98
			Leves	52,18	7,03
3	65 mmCA	40 mmCA	Entrada	55,67	4,50
			Pesados	56,35	3,88
			Leves	51,25	7,77
4	65 mmCA	50 mmCA	Entrada	56,19	4,16
			Pesados	56,81	3,90
			Leves	52,85	6,98
5	80 mmCA	30 mmCA	Entrada	56,10	4,38
			Pesados	56,58	4,00
			Leves	52,90	6,79
6	80 mmCA	40 mmCA	Entrada	55,72	4,23
			Pesados	56,17	4,01
			Leves	52,52	6,75
7	80 mmCA	50 mmCA	Entrada	56,23	4,26
			Pesados	56,69	3,96
			Leves	53,33	6,74

Os resultados da performance do teste de separação por aspiração do farelo de Soja Moído Peneirado são mostrados na Tabela 4.33.

Tabela 4.33 - Performance da Separação por Aspiração dos Pesados do Farelo de Soja Moído Peneirado em Peneira de 2,04 mm de Abertura

Teste	Aumento de Proteína BS (% m/m)	Redução de Fibra BS (% m/m)	Aspiração de Leves (% m/m)	Vazão de Alimentação (Ton/dia*m)
1	0,30	0,32	7,45	216,072
2	0,65	0,60	9,17	211,560
3	0,68	0,62	9,67	213,336
4	0,62	0,26	13,22	206,736
5	0,48	0,38	10,92	192,552
6	0,45	0,22	12,05	209,544
7	0,46	0,30	14,36	212,592

Como pode ser visto pela Tabela 4.33, os melhores resultados obtidos foram os testes 2, 3 e 4, no qual a depressão na fração retida foi de 65 mmCA, estes porém não tendo muita influência da depressão na coluna da fração do fundo do farelo peneirado. O fato da coluna da fração do fundo não ter uma grande influência pode ser explicada pelo peneiramento, como visto no teste a diferentes vazões realizados em escala piloto, quando a coluna foi submetida a uma alta vazão de alimentação, sua performance fica penalizada, que foi o que pode ter ocorrido na coluna em escala industrial, uma vez que a troca da tela da peneira não foi realizada (mesma tela do teste do Farelo de Soja). O teste com o Farelo de Soja Moído gerou uma fração muito maior no fundo que na fração retida, penalizando a performance da coluna da fração do fundo.

Os valores de aumento do teor de proteína para os testes 2, 3 e 4 ficaram em torno de 0,65%, com aspiração de Leves de 9 a 13%. A vazão, por mais que não sirva de conclusão para a performance da separação por aspiração, como explicado anteriormente pelo fato do peneiramento ser comprometido pela abertura da tela da peneira, ficou em valores próximos dos

testes em escala piloto, entre 200 a 220 toneladas por dia e por metro de coluna.

Agora um fator que pode explicar o fraco desempenho dos outros testes foi a depressão da fração retida: no caso do teste 1, a depressão de 50 mmCA fez com que a porcentagem de aspiração de Leves fosse baixa, diminuindo o impacto da aspiração sobre o teor de proteína no farelo de saída, ou Pesados. No caso dos testes 5, 6 e 7, a depressão foi muito elevada, fazendo com que muito farelo fosse aspirado para a parte dos Leves não alterando assim o teor de proteína nos Pesados.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho investigou a utilização de um sistema de separação através de um processo de aspiração de cascas do farelo de soja. Com o desenvolvimento deste sistema, pretendeu-se aprimorar o processo para aumentar a performance e assim garantir a especificação da qualidade do farelo de soja com relação aos teores de proteína.

Os resultados iniciais obtidos indicaram melhorias que puderam ser feitas ainda em escala piloto, como a moagem para redução da granulometria, o peneiramento para fracionar o farelo, a realização de experimentos em diferentes depressões de aspiração e o controle de vazão para a melhora da separação. O melhor resultado encontrado de todos os testes e que dá veracidade a estes fatos, foi o teste com o Farelo de Soja Moído Peneirado, onde se obteve 0,99% de aumento no teor de proteína e redução de 0,83% na concentração de fibra, com valores próximos dos esperados de vazão, ente 200 e 250 Ton/dia*m e de aspiração de Leves, 18,22%, este já somando os Leves da fração retida e da fração do fundo da peneira.

Com o intuito de reduzir os números de colunas de aspiração e o orçamento da implantação industrial, um teste com a freqüência de 60 Hz da eclusa de alimentação foi realizado, entretanto os resultados de aumento de proteína e de redução de fibra não foram coerentes, mostrando que a vazões altas forma-se uma camada muito grossa de farelo dentro da coluna fazendo com que o ar não passe através do farelo e assim não arrastando as cascas.

Assim com a realização dos testes em escala piloto foram avaliadas as melhores condições das variáveis do processo, como vazão e depressão, e da granulometria do farelo, o peneiramento e a moagem, onde se teve um resultado positivo e assim uma breve conclusão que o sistema tinha potencial para ser implantado em escala industrial.

Já para os testes em escala industrial é possível delinear as seguintes conclusões: primeiramente, foi realizado o teste para o Farelo de Soja Peneirado, onde este foi submetido a diferentes depressões e a que se mostrou mais eficiente foi a de 65 mmCA na fração retida e 40 mmCA na fração do fundo, frações estas provenientes do peneiramento com tela de

abertura de 2,04 mm. Depois de firmadas as depressões, vários testes com a mesma depressão foram realizados, onde foi obtido um aumento médio no teor de proteína de 0,78% e redução na concentração de fibra de 0,33%. Ainda sobre estes testes e suas médias obtidas de entrada e saída tanto de proteína como de fibra, a realização de um teste estatístico T Bicaudal com um nível de confiança de 99,9% mostrou que realmente as médias encontradas são diferentes e que tanto o aumento de proteína como a redução de fibra encontrada são válidas. Assim o sistema de separação se mostrou eficiente, sendo que o resultado final encontrado em escala industrial foi mais eficiente que o encontrado em escala piloto para o Farelo de Soja Peneirado, com o resultado de aumento de proteína de 0,78% contra 0,63% em escala piloto.

Para o teste em escala industrial do sistema de separação por aspiração do Farelo de Soja Moído, foi encontrado um resultado final de aumento do teor de proteína e redução da concentração de fibra abaixo do esperado. Fato este explicado pela tela utilizada no peneiramento do farelo, que foi a mesma do teste do Farelo de Soja e que comprometeu a separação por aspiração da fração do fundo, pois como o farelo estava moído, sobrecarregou a Coluna de Aspiração desta fração e assim não realizou a separação da forma desejada.

Assim pode-se concluir dos testes realizados em escala industrial que o sistema se mostrou viável, uma vez que se teve um resultado melhor que o obtido em escala piloto para o Farelo de Soja Peneirado, e temos ainda o Farelo de Soja Moído Peneirado, onde o melhor resultado obtido em escala piloto foi com este tipo de farelo e este não pode ser avaliado industrialmente da maneira correta, pois não foi realizado o mesmo peneiramento, assim não sendo avaliada de maneira onde se tem o maior potencial.

Com vistas aos resultados encontrados em escala piloto e posteriormente encontrados em escala industrial, concluí-se que o sistema de separação por aspiração se mostra eficiente e viável quando se tem como objetivo tanto o aumento de teor de proteína quanto à redução da concentração de fibra para o Farelo de Soja. E este sistema pode ser usado por diversos motivos como, por exemplo, garantir níveis de proteína e ou fibra nas especificações de qualidade requeridas pelos clientes como também o aumento do teor de proteína e ou a redução de fibra para poder agregar maiores valores comerciais de venda no produto final.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. D., “Feedstuffs”, (30):25-30, 1988.

AMERICAN OIL CHEMISTS´SOCIETY (AOCS), “J. American Oil Chemists` Society”, 51(1): 6A, 1974

AMERICAN OIL CHEMISTS´SOCIETY (AOCS), “J. American Oil Chemists` Society”, 56(3): 99, 1979

AMERICAN OIL CHEMISTS´SOCIETY (AOCS), “J. American Oil Chemists` Society”, 58(3):121, 1981

AMERICAN OIL CHEMISTS´SOCIETY (AOCS), “Official Method Aa 5-38”, 1989.

AMERICAN OIL CHEMISTS´SOCIETY (AOCS), “Official Method Ba 2a-38”, 1993.

AMERICAN OIL CHEMISTS´SOCIETY (AOCS), “Official Method Ba 2-75”, 1993.

AMERICAN OIL CHEMISTS´SOCIETY (AOCS), “Official Method Ba 6-84”, 1993.

AMERICAN OIL CHEMISTS´SOCIETY (AOCS), “Official Method Ba 9-39”, 1993.

AMERICAN OIL CHEMISTS´SOCIETY (AOCS), “Proceeding of the World Conference on Oilseed Technology and Utilization”, Champaign, IL, 1993.

AMERICAN OIL CHEMISTS´SOCIETY (AOCS), “Proceeding of the World Conference on Vegetable Protein Utilization in Human Foods and Animal Feedstuffs”, Champaign, IL, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS – ABIOVE. Disponível em <http:/www.abiove.com.br>. Acesso fevereiro de 2013.

BUHLER INC., “Buhler Preparation for the Processing of Soybeans with Hot Dehulling System Popping”, Minneapolis, MN, 1993.

CAMPBELL, M. F., FIALA, R. J., WIDEMAN, J. D. e RASCHE, J. F., “U. S. Patent 4.265.925”, 1981.

CAMPBELL, M. F., KRAUT, C. W., YACKEL, W. C. e YANG, H. S., “New Protein Foods”, vol. 5, editado por A. M. Altschul e H. L. Wilcke, Academic Press, New York, 1985, pp. 301-337.

CHALLA, R., SRINIVASAN, R. e TO, F., “Fractionation of soybean meal, cottonseed meal and wheat middlings using combination of sieving and air classification”, 2010.

CIRCLE, S. J., “Soybeans and Soybeans Products”, Vol 1, editado por K. S. Markley, John Wiley & Sons, New York, 1950, pp. 275-370.

CROWN IRON WORKS C.O., “Corwn Model II Solvent Extractor”, Minneapolis, MN, 1993.

CROWN IRON WORKS C.O., “Hot Dehulling System”, Minneapolis, MN, 1992.

DADA, S., “J. American Oil Chemists` Society (AOCS)”, 60:409 (1983).

DESHPANDE, S. S., CHERYAN, M. e SALUNKHE, D. K., “Tannin Analysis of Food Products”, CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 24:401-449, 1984.

ERGUN, S., “Chem. Eng. Prog.”, 48:89, 1952.

ERICKSON, D.R., “Practical handbook of Soybean Processing and Utilization”, American Oil Chemists` Society (AOCS), 20 de dezembro de 1995.

EXTRACTION DE SMET, S.A., “Solvent Extraction System”, Prins Boudewijnlaan, Edegem, Belgium, 1992.

GOOD, G., Oil Mill Gazetteer, Setembro de 1970, pp. 14-17.

HOWARD, P. A., CAMPBELL, M. F. e ZOLLINGER, D. T., “U. S. Patent 4.234.620”, 1980

HYMOWITZ, T., COLLINS, F. I., PANCZNER, J. e WALKER, W. M., “Relationship between the Content of Oil, Protein and Sugar in Soybean Seed”, Agron. J. 64:613-616, 1972.

JACKS, T. J., YATSU, L. Y. e ALTSCHUL, A. M., “Isolation and Characterization of Peanuts Spherosome”. Plant Physiol, 42:585-597, 1967.

KARNOFSKY, G., “J. American Oil Chemists` Society (AOCS)”, 63:1011 (1986).

KICE INDUSTRIES, Inc., “Multi-Aspiration System”, Wichita, KS, 2011.

KIKUCHI, T. S., ISHIL, S., FUKUSHIMA, D. e YOKOTSUKA, T., “Food Chemical Studies on Soybean Polysaccharides. Part 1: Chemical and Physical Properties of Soybean Cell Wall Polysaccharides and Their Changes During Cooking”, J. Agric. Chem. Soc. 45:228, 1971.

LANGHURST, L.F., “Soybeans and Soybeans Products”, Volume 2, editado por K.S. Markley, Interscience Publishers, New York, NY, 1951, pp. 541-567.

LIENER, I. E., “J. American Oil Chemists` Society (AOCS)”, 58:406, 1981.

LIST, G.R., MOUNTS, T. L. e LANSER, A. C., “Factors promoting the formation os nonhydratable soybean fhosfholipids”, J. American Oil Chem. Soc., 69:443-450, 1992.

LIU, K., “Soybeans: Chemistry, Technology and Utilization”, Aspen Publishers Inc. Gaithersburg, Maryland, 1999.

LUSAS, E. W. e RHEE, K. C., “Practical handbook of Soybean Processing and Utilization”, Chapter 8, American Oil Chemists` Society (AOCS), 20 de dezembro de 1995.

MCANELLY, J. K., “U. S. Patent 3.142.571”, 1964.

MCCABE, W. L., SMITH, J. C. and HARRIOTT, P., “Unit Operations of Chemical Engineering”, Fifth Edition, McGraw-Hill, 1993.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br>. Acesso em 08 de fevereiro de 2012.

MOORE, N. H., “J. American Oil Chemists` Society (AOCS)”, 60:189 (1983).

MUSTAKAS, G. C., KIRK, L. D. e GRIFFIN, E. L., “J. American Oil Chemists` Society (AOCS)”, 39:222 (1962).

O´DELL, B. L., “Effect of Soy Protein on trace Mineral Availability. In Soy Protein and Human Nutrition”, H. L. Wilcke, D. R. Hopkins e D. H. Waggle, Academic Press, New York, 1979.

OHREN, J. A., “J. American Oil Chemists` Society (AOCS)”, 58:333 (1981).

PANDYA, T. S., SRINIVASAN, R., “Effect of hammer mill retention screen size on fiber separation from corn flourusing the Elusieve process”, 2011.

PANDYA, T. S., SRINIVASAN, R. e JOHNSON, J. K., “Operating air velocities for fiber separation from corn flour using the Elusieve process”, 2012.

PARAÍSO, P. R. “Modelagem e Análise do Processo de Obtenção do Óleo de Soja”, Universidade Estadual de Campinas, Teses de Doutorado, setembro de 2001.

PERRY, R. H. e GREEN, D. W., “Perry’s Chemical Engineers´ - Handbook”, 8th edition, 2007.

PRYDE, E. H., “Composition of Soybean Oil. Ch2. In Handbook of Soy Oil Processing and Utilization”. S. R. Erickson, E. H. Pryde, O. L. Brekke, T. L. Mounts e R. A. Falb, p.13. American Oil Chemistry´ Society, Champaign, IL, 1980.

SAIR, L., “U. S. Patent 2.881.076”, 1959.

SALUNKHE, D. K., SATHE, S. K. e REDDY, N. R., “Legume Lipids. In Chemistry and Biochemistry of Legumes”, S. K. Arora (Ed.), EdwardArnold Pub, Ltd. London, 1983.

SMITH, A. K., CIRCLE, S. J., “Soybeans: Chemistry and Technology”, Vol. 1, Avi Publishing Co., New York, 1972.

SNYDER, H. E. e KNOW, T. W., “Soybean Utilization”, pp. 74-129. AVI Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1987.

SOY PROTEIN COUNCIL, “Soy Protein Products”, Washington, DC, 1987

STREGGERDA, F. R., RICHARDS, E. A. e RACKIS, J. J., “Effects of Various Soybean Products on Flatulence in the Adult Man”, Proc. Soc. Expt. Biol. Med. 121:1235-1239, 1966.

WATKINS, L.R., E.W. LUCAS, S.S. KOSEOGLU, S.C. DOTY, e W.H. JOHNSON, “Developing the Potential Usefulness of Expanders in Soybean Processing”, Final Report of Research Sponsored by the American Soybean Association(ASA), 15 de dezembro de 1989.

WEN, C. Y. e YU, Y. H., “The American Institute of Chemical Engineers Journal, (A. I. Ch. E. J.)”, 610-612, 1966

WITTE, N.H., “Practical handbook of Soybean Processing and Utilization”, chapter 7, American Oil Chemists` Society (AOCS), 20 de dezembro de 1995.

WOERFEL, J.B., “Practical handbook of Soybean Processing and Utilization”, chapter 6, American Oil Chemists` Society (AOCS), 20 de dezembro de 1995.

WOLF, W. J., e COWAN, J. C., “Soybeans as a Food Source”, CRC Press, Cleveland, OH, 1975.