

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS E AGRÍCOLA

Laurear

Este exemplar corresponde a redação final da Tese defendida por Nelson Horacio Pezoa Garcia e aprovada pela Comissão Julgadora em 02.09.85, Campinas, 02 de setembro de 1985.

*Cesar F. Ciacco*

*Presidente da Banca*

" ESTUDO SOBRE UTILIZAÇÃO DE HIDROCICLONES  
PARA A SEPARAÇÃO DE PARTÍCULAS NO PROCES-  
SAMENTO DE CONCENTRADO E ISOLADO PROTEÍ-  
CO DE SOJA "

NELSON HORACIO PEZOA GARCIA

TECNOLOGO EM ALIMENTOS

Prof.Dr. CESAR FRANCISCO CIACCO

ORIENTADOR

14/85

TESE APRESENTADA À FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS E AGRÍ-  
COLA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, PARA A OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE MESTRE EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS.

CAMPINAS

1985

UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL

Aos meus pais Marta e Luis.

À minha mulher Silvia.

Aos meus filhos Horacio, Pablo e Silvia

Com carinho, amor e imensa admiração.

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Cesar Francisco Ciacco pela sua dedicação, apoio constante e amizade com que acompanhou o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Roberto Hermínio Moretti pela sua contribuição técnica e pelo fornecimento de materias primas utilizadas nas pesquisas.

Ao Prof. Ramón L. Hinojosa Gutiérrez pelas suas sugestões ao longo deste trabalho e pela sua grande amizade.

Ao Prof. Herbert G. Wirth Kehr pelo interesse e contribuição oferecida.

À Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, UNICAMP, pelas facilidades recebidas.

Ao Instituto de Tecnologia de Alimentos, na pessoa do seu Diretor e Eng. José Ricardo Gonçalves, da Seção de Operações Unitárias, pelas facilidades oferecidas para a utilização de equipamentos.

À Associação Brasileira das Indústrias de Alimentação, ABIA, pelo fornecimento das cópias deste trabalho.

A Carlos A. Rodrigues Torres, do Laboratório de Frutas e Hortaliças, pelo auxílio na parte analítica em algumas etapas deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Tecnologia, especialmente à Marlene, Cosme, Natalina e Susi pela colaboração constante.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

## ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE DE QUADROS .....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	X
RESUMO .....	XIII
SUMMARY .....	XIV
I. INTRODUÇÃO .....	1
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
1. HIDROCICLONES .....	3
1.1. Descrição Geral e Fluxo no Hidrociclone .....	3
1.2. Comportamento das Partículas em Suspensão ....	7
1.3. Variáveis do Desenho do Hidrociclone que Afetam o seu Desempenho .....	7
1.4. Arranjo de Múltiplos Hidrociclones .....	10
1.5. Aplicação dos Hidrociclones .....	11
2. CONCENTRADO PROTÉICO DE SOJA .....	14
2.1. Matéria-Prima .....	14
2.2. Processo de Obtenção .....	15
2.3. Composição .....	19
2.4. Usos .....	21
3. ISOLADO PROTÉICO DE SOJA .....	23
3.1. Matéria-Prima .....	24
3.2. Processo de Obtenção .....	24
3.3. Composição .....	26
3.4. Aplicações .....	28
4. PROPRIEDADES FUNCIONAIS DAS PROTEÍNAS .....	29
4.1. Solubilidade .....	30
4.2. Absorção de Água .....	30
4.3. Absorção de Gordura .....	32

	Pág.
4.4. Viscosidade .....	32
4.5. Capacidade de Emulsificação .....	33
4.6. Formação de Espuma .....	34
 III. MATERIAL E MÉTODOS .....	 35
1. MATERIAL .....	35
1.1. Matéria-Prima .....	35
1.2. Reagentes .....	35
1.3. Equipamentos e Aparelhos .....	35
2. MÉTODOS .....	38
2.1. Caracterização Físico-Química da Matéria-Prima..	38
2.1.1. Densidade Aparente .....	38
2.1.2. Granulometria .....	39
2.1.3. Umidade .....	39
2.1.4. Cinzas .....	39
2.1.5. Gordura .....	39
2.1.6. Proteína .....	40
2.1.7. Fibra Bruta .....	40
2.1.8. Cálcio .....	40
2.2. Determinação da Eficiência de Separação de Par- tículas a Diferentes Pressões .....	40
2.2.1. Preparo da Suspensão Aquosa de Farinha de Soja .....	40
2.2.2. Processo de Separação das Partículas .....	41
2.2.3. Cálculo da Eficiência de Separação .....	41
2.2.4. Condições de Trabalho .....	43
2.3. Determinação da Eficiência de Separação Segundo o Tamanho de Partícula .....	44

	Pág.
2.3.1. Preparo da Suspensão Aquosa de Farinha de Soja e Cálculo da Eficiência de Separação .....	44
2.3.2. Condições de Trabalho .....	44
2.4. Determinação do Desempenho dos Hidrociclones na Separação da Proteína Isoelétrica durante o Processamento de Concentrado Protéico .....	45
2.4.1. Preparo da Suspensão de Farinha de Soja .....	45
2.4.2. Processo de Separação das Partículas ...	45
2.4.3. Condições de Trabalho .....	46
2.5. Uso de Sais no Processo de Separação .....	46
2.5.1. Curvas de Solubilidade (INS), em Função do pH .....	47
2.5.2. Precipitação Isoelétrica da Proteína de Soja usando Sais em Diferentes Concentrações, durante o Processamento de Concentrado e Isolado Protéico, em laboratório .....	47
2.6. Determinação do Desempenho dos Hidrociclones na Separação da Proteína Isoelétrica com e sem Adição de Sais, no Processamento de Concentrados Protéico .....	50
2.6.1. Condições de Trabalho .....	50
2.6.2. Preparo da Suspensão da Farinha de Soja .....	50
2.6.3. Processo da Separação das Partículas Protéicas .....	51

	Pág.
2.7. Determinação do Desempenho dos Hidrociclones na Separação da Proteína Isoelétrica com e sem Adição de 500 ppm de $\text{CaCl}_2$ no Processamento de Isolado Proteico.....	51
2.7.1. Condições de Trabalho e Preparo da Suspensão .....	51
2.7.2. Processo de Separação das Partículas Protéicas .....	52
2.8. Produção de Concentrado e Isolado Protéico pelo Método Convencional de Separação, Centrifugação e por Hidrociclones .....	52
2.8.1. Produção de Concentrado Protéico Utilizando Centrífuga .....	52
2.8.2. Produção de Concentrado Protéico Utilizando Hidrociclones .....	54
2.8.3. Produção de Isolado Protéico Utilizando Centrífuga .....	54
2.8.4. Produção de Isolado Protéico Utilizando Hidrociclones .....	56
2.9. Caracterização dos Produtos .....	58
2.9.1. Caracterização Físico-Química .....	58
2.9.2. Determinação das Propriedades Funcionais .....	58
2.9.2.1. Solubilidade (INS) .....	58
2.9.2.2. Absorção de Água .....	59
2.9.2.3. Absorção de Gordura .....	59
2.9.2.4. Capacidade de Emulsificação e Estabilidade da Emulsão .....	59
2.9.2.5. Capacidade de Formação de Espuma e Estabilidade da Espuma..	60

	Pág.
2.9.2.6. Viscosidade .....	61
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	62
1. MATÉRIA PRIMA .....	62
1.1. Caracterização físico-química .....	62
1.2. Fluxo dos Hidrociclones a Diferentes Pressões..	62
1.3. Efeito da Pressão, Número de Estágios e Con- centração na Eficiência de Separação de Par- tículas .....	65
1.4. Efeito do Tamanho de Partícula, Sólidos em Suspensão e Número de Estágios na Eficiência de Separação de Partículas. ....	73
1.5. Determinação do desempenho dos Hidrociclones na Separação da Proteína Isoelétrica durante o Processamento de Concentrado Protéico.....	81
1.6. Uso de Sais no Processo de Separação .....	84
1.6.1. Curvas de Solubilidade (INS) em fun- ção do pH, utilizando $\text{CaCl}_2$ , $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ e $\text{NaCl}$ .....	84
1.6.2. Precipitação Isoelétrica da Proteí- na de Soja usando Sais em diferentes Concentrações durante o Processamen- to de Concentrado e Isolado Protéico em Laboratório .....	86
1.6.3. Processamento de Concentrado Protéi- co de Soja, utilizando Hidrociclones para a separação das Partículas Pro- téicas na presença de $\text{CaCl}_2$ e $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ..	87

1.6.4. Processamento de Isolado Protéico, utilizando Hidrociclones para a separação das Partículas Protéicas na presença de $\text{CaCl}_2$ .....	92
2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FUNCIONAIS DOS CON- CENTRADOS E ISOLADOS PROTÉICOS DE SOJA PREPARA DOS POR CENTRIFUGAÇÃO EM LABORATÓRIO E HIDROCI CLONES .....	96
2.1. Composição Química .....	96
2.2. Propriedades Funcionais .....	98
V. CONCLUSOES .....	101
VI. BIBLIOGRAFIA .....	103

## ÍNDICE DE QUADROS

	Pág.
QUADRO 1 - Composição química de farinha desengordurada de soja, na base seca.....	15
QUADRO 2 - Composição química de concentrados protéicos de soja fornecidas por produtores desses produtos.....	20
QUADRO 3 - Composição aproximada dos concontrados proteicos de soja, segundo o método de extração .....	21
QUADRO 4 - Composição química de isolados proteicos de soja.....	27
QUADRO 5 - Algumas propriedades funcionais de produtos protéicos de soja.....	31
QUADRO 6 - Capacidade de formação de espuma e estabilidade da espuma em produtos de soja.....	34
QUADRO 7 - Distribuição das partículas de farinha desengordurada de soja.....	64
QUADRO 8 - Composição química da farinha desengordurada de soja .....	65

Pág.

QUADRO 9 - Teor de proteína dos concentrados obtidos com os diferentes tamanhos de partículas .....	81
QUADRO 10- Teores de proteína e sólidos totais obtidos em 3 estágios e a 4 kg/cm <sup>2</sup> de pressão .....	83
QUADRO 11- Recuperação e perdas de proteína nas etapas de concentração e clarificação, utilizando CaCl <sub>2</sub> e Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> , no processo de obtenção de concentrado protéico .....	90
QUADRO 12- Teor protéico e variações porcentuais obtidas nas etapas de clarificação e concentração utilizando diferentes sais no processamento do concentrado protéico .....	91
QUADRO 13- Teor protéico e variações porcentuais obtidas nas etapas de clarificação e concentração, utilizando 500 ppm de CaCl <sub>2</sub> no processamento de isolado protéico .....	94
QUADRO 14- Composição química de concentrados e isolados protéicos, obtidos por centrifugação e hidrociclones, com e sem adição de CaCl <sub>2</sub> .....	97

Pág.

QUADRO 15 - Propriedades funcionais de concentrados e isolados protéicos, obtidos por centrifugação e hidrociclones, com e sem Adição de $\text{CaCl}_2$ .....	99
QUADRO 16 - Capacidade de formação e estabilidade da espuma de amostras de concentrados e isolados protéicos, obtidos por centrifugação e hidrociclones, com e sem adição de $\text{CaCl}_2$ .....	100

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 - Diagrama esquemático de um hidrociclone típico .....	4
FIGURA 2 - Operação do hidrociclone .....	5
FIGURA 3 - Fluxograma do processamento para a obtenção de farinha desengordurada de soja .....	16
FIGURA 4 - Alternativas para o processamento de concentrado protéico de soja .....	18
FIGURA 5 - Diagrama de fluxo para o processamento de isolado protéico de soja .....	25
FIGURA 6 - Dimensões do hidrociclone utilizado .....	36
FIGURA 7 - Arranjo dos hidrociclones, simulando 4 estágios para clarificação e 4 estágios para concentração.....	42
FIGURA 8 - Fluxograma do processamento para a obtenção de isolado protéico de soja úmido ....	49
FIGURA 9 - Fluxograma do processamento para a obtenção de concentrado protéico de soja liofilizado .....	53

Pág.:

- FIGURA 10 - Arranjo dos hidrociclones, simulando um processo contínuo para a separação de proteína nas etapas de clarificação e concentração ..... 55
- FIGURA 11 - Fluxograma do processamento para a obtenção de isolado protéico de soja liofilizado ..... 57
- FIGURA 12 - Fluxo de dois hidrociclones em paralelo a diferentes pressões ..... 63
- FIGURA 13 - Teor de sólidos em suspensão obtidos a diferentes pressões e em cada estágio de clarificação e concentração ..... 66
- FIGURA 14 - Efeito do número de estágios na variação percentual da concentração obtida a diferentes pressões, nas etapas de clarificação e concentração ..... 68
- FIGURA 15 - Efeito da pressão na eficiência de separação em relação ao número de estágios, nas etapas de clarificação e concentração..... 70
- FIGURA 16 - Efeito dos sólidos em suspensão da alimentação na eficiência de separação a diferentes pressões..... 71

- FIGURA 17 - Teor de sólidos em suspensão obtidos com diferentes tamanhos de partículas e em cada estágio de clarificação e concentração..... 74
- FIGURA 18 - Efeito do número de estágios na variação percentual da concentração obtida com diferentes tamanhos de partículas, nas etapas de clarificação e concentração..... 76
- FIGURA 19 - Efeito do tamanho de partícula na eficiência de separação em relação ao número de estágios, nas etapas de clarificação e concentração ..... 78
- FIGURA 20 - Efeito dos sólidos em suspensão da alimentação na eficiência de separação com diferentes tamanhos de partículas ..... 80
- FIGURA 21 - Efeito do  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  e  $\text{NaCl}$  em concentrações de 500 e 1500 ppm, na solubilidade do nitrogênio da farinha desengordurada de soja em função do pH de extração..... 85
- FIGURA 22 - Recuperação de proteína após precipitação isoeletrica com diferentes concentrações de  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  e  $\text{NaCl}$ , no processamento de concentrado e isolado protéico em laboratório.. 88

## RESUMO

Na tentativa de estudar a viabilidade de um processo de separação sólido-líquido de menor custo que os atualmente utilizados durante a obtenção de concentrados e isolados protéicos, foi estudado em planta piloto o desempenho de hidrociclones de pequeno porte (10 cm de comprimento total), na separação de partículas a partir de suspensões aquosas em pH 4,5, de farinha e proteína de soja.

O melhor desempenho destes aparelhos no processo de concentração e clarificação de proteína foi verificado com teores de sólidos em suspensão entre 20 e 30% na alimentação, com tamanho de partículas entre 105 e 210  $\mu\text{m}$  e pressão de 4  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

Verificou-se ainda que os sais estudados ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  e  $\text{NaCl}$ ), melhoraram sensivelmente o desempenho dos hidrociclones, especialmente o  $\text{CaCl}_2$  em concentração de 500 ppm o qual incrementou o rendimento de extração de proteína em 25,7% durante a obtenção de concentrado e 33,3% no processo de obtenção de isolado protéico de soja, quando comparados com a amostra padrão, sem sal. Entretanto, o desempenho global dos hidrociclones foi melhor na obtenção de concentrado que na de isolado.

Em relação às características químicas e funcionais dos produtos estudados, observou-se que estas não foram afetadas pelo processamento quando hidrociclones foram utilizados, apesar das altas turbulências produzidas no interior destes aparelhos.

## SUMMARY

In an attempt to study the feasibility of a solid-liquid separation process less expensive than those used at present for the production of protein concentrates and isolates, the performance of small size hydrocyclones (10 cm overall length) was studied on a pilot scale, for the separation of the particles from an aqueous suspension of soy flour and soy protein at pH 4.5.

The best performance of these apparatuses in the process of concentration and clarification was verified with solid concentration levels in the suspensions between 20 and 30%, particle sizes between 105 and 210  $\mu\text{m}$  and a pressure of 4  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

It was also shown that the performance of the hydrocyclones was noticeably improved by the addition of certain salts ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , and  $\text{NaCl}$ ) especially  $\text{CaCl}_2$ . At a salt concentration of 500 ppm the extraction yield of protein increased by 25.7% during the obtention of the concentrate and 33.3% during the production of the soy protein isolate as compared to the standard samples obtained without salt. Nevertheless, the overall performance of the hydrocyclones was better in the obtention of the concentrate than in that of the isolate.

With respect to the chemical and functional characteristics of the products under study, they were not affected by the process of using hydrocyclones, despite the high turbulence produced inside these apparatuses.

## 1. INTRODUÇÃO

As proteínas vegetais tem sido grandemente pesquisadas visando sua utilização na alimentação humana. Entre as fontes principais de obtenção deste tipo de proteínas, destaca-se a soja, pelo seu grande volume de produção comparada com outras oleaginosas e pela importância econômica que essa cultura significa para os países que a produzem.

Nos últimos anos, diversos estudos têm permitido a obtenção de um grande número de produtos de soja, entre os quais encontram-se o concentrado e isolado protéico, que são fontes de proteína de alto valor biológico (RICE, 1970) reportado por MEYER, 1971) e que caracterizam-se por possuírem menor sabor típico de soja que outros produtos como farinhas e grits, devido a que alguns dos constituintes que contribuem com esse sabor, são removidos durante o processamento (WOLF, 1970). Outras vantagens atribuídas aos concentrados e isolados protéicos, sobre as farinhas e grits, referem-se a seu maior valor nutricional, devido principalmente a seu teor protéico, e a seu menor teor do fator de flatulência por remoção durante o processamento, dos carboidratos solúveis, responsáveis por esse fenômeno. Por outra parte, os concentrados e isolados protéicos de soja quando utilizados em sistemas alimentares, possuem excelentes propriedades funcionais tais como: absorção de água e gordura, capacidade emulsificadora e estabilizante de emulsões, poder de gelificação e outras.

No Brasil, estes produtos tem sido processados há mais de uma década, por uma única empresa, sendo seus preços de venda elevados, entre outros fatores, pelos altos custos de inversão e

de produção, principalmente por causa dos processos de separação sólido-líquido e secagem que afetam significativamente os custos mencionados.

Tradicionalmente, para realizar as operações de separação de partículas, a indústria tem utilizado diferentes processos, entre os quais podem ser citados a decantação gravitacional, filtração, separação por peneiras vibratórias e centrifugação. Os primeiros processos já mencionados tem-se mostrado pouco eficientes na separação de proteínas durante a obtenção de concentrados e isolados protéicos, enquanto que a centrifugação, apesar de ser altamente eficiente, apresenta elevados custos de investimento e manutenção.

Os hidrociclones podem ser pequenos equipamentos, construídos de material barato como é o caso do nylon, e podem trabalhar em série em grande número, com alta eficiência. Nestes aparelhos podem-se obter altas forças centrífugas, sendo que em aqueles de 10 mm de diâmetro interno, que corresponde aos utilizados neste trabalho, pode-se conseguir, operando a  $2,8 \text{ kg/cm}^2$ , forças centrífugas equivalentes a  $10.000 \times g$  (GASTROCK e col., 1969).

Neste trabalho estudou-se a viabilidade de utilizar outro meio menos oneroso para o processo de separação sólido-líquido, a fim de diminuir os custos de produção para a obtenção de concentrados e isolados protéicos. Para esse fim, utilizaram-se pequenos hidrociclones (10 mm de diâmetro interno e 10 cm de comprimento total), para se avaliar sua eficiência, operacionalidade e comportamento do produto neste tipo de aparelho.

## II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 1. HIDROCICLONES

Os hidrociclones têm sido utilizados em um grande número de processos tecnológicos, principalmente em separações sólido-líquido, classificação de partículas, concentração e clarificação. O princípio básico para separação nestes aparelhos é a sedimentação centrífuga, pois as partículas suspensas são submetidas a uma aceleração centrífuga dentro do aparelho separando-as desta forma do líquido (SVAROVSKI, 1977)

De acordo com ZANKER, 1977, os hidrociclones competem com as centrífugas por operar também continuamente, mas sem partes em movimento, diminuindo assim os custos de operação.

#### 1.1. Descrição Geral e Fluxo no Hidrociclone

O hidrociclone, como pode ser visto na Figura 1, consiste de uma câmara cilíndrica e uma seção cônica. O fluido é injetado tangencialmente através do bico de entrada, localizado na parte superior da câmara cilíndrica, com uma velocidade linear que atua radialmente na suspensão em direção às paredes do aparelho, as quais limitam o movimento do líquido formando órbitas concêntricas de rotação (Figura 2). A aceleração centrífuga exerce uma ação sobre as partículas, provocando a sedimentação num movimento radial de escorregamento. As partículas são arrastadas pelo líquido em direção à saída inferior (under flow) do separador, em órbitas em forma de espiral formando o "vortex primário".

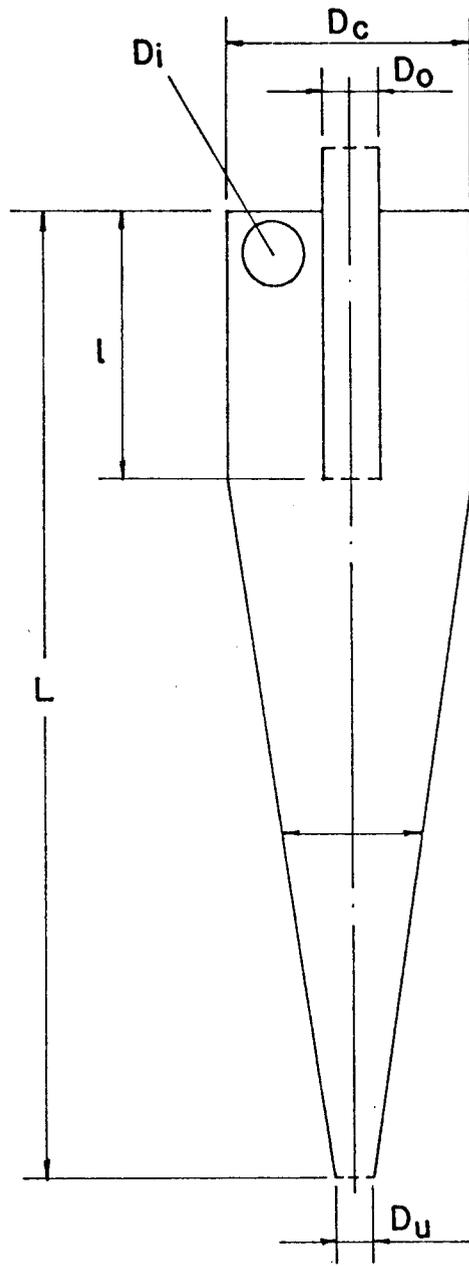


Fig. 1 Diagrama esquemático de um hidrociclone típico.

Fonte : Svarovsky, 1977.

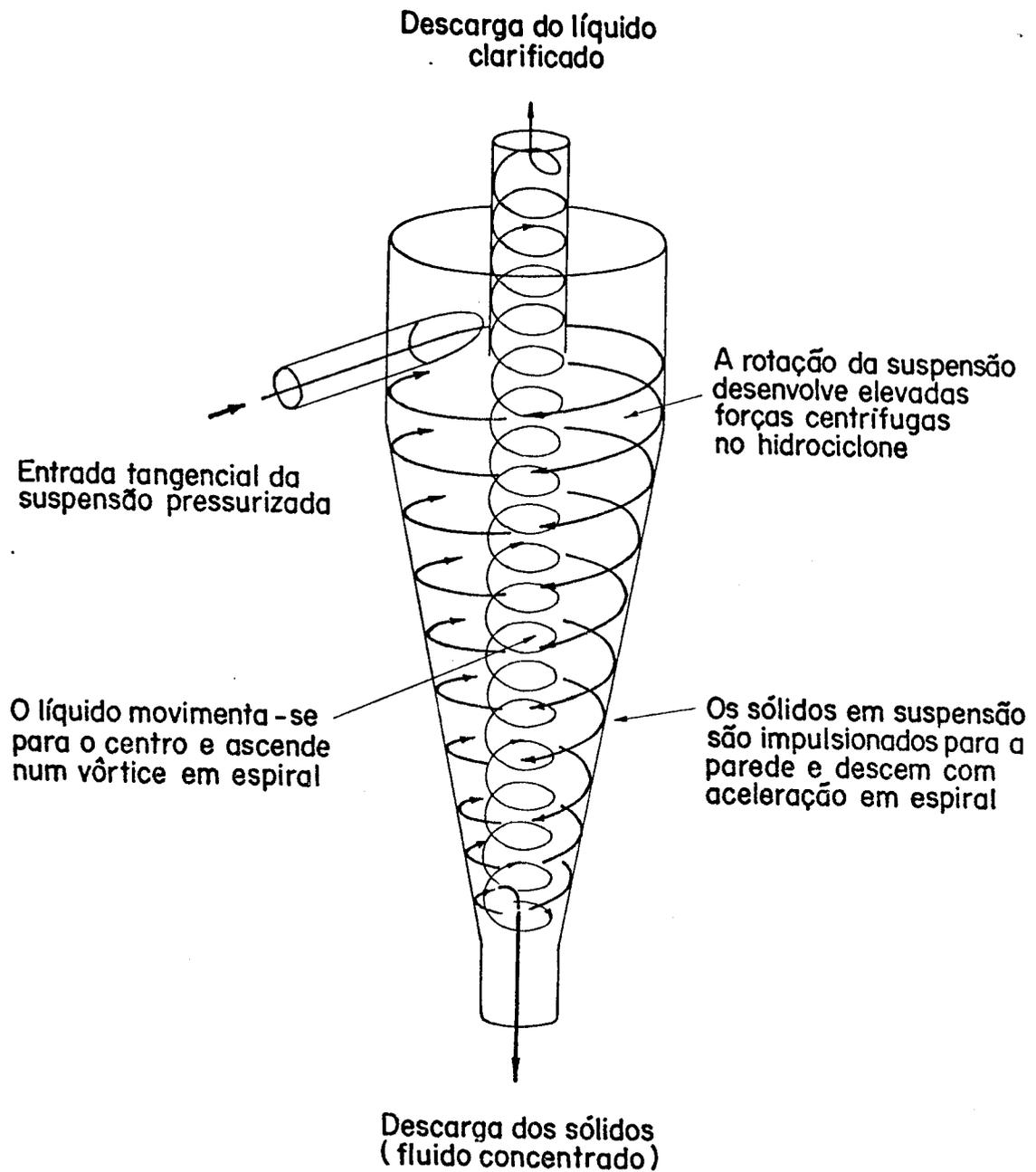


Fig. 2

Operação do hidrociclone.

Fonte : Day & Grichar, 1979  
( segundo Schweitzer, 1979 )

O líquido clarificado ou parcialmente clarificado flue pela saída superior (over flow) através de uma órbita em espiral interna que corresponde ao "vortex secundário", num contrafluxo axial ao vortex primário (TRAWINSKI, 1973).

Segundo GASTROCK e col., 1969, nos hidrociclones são obtidas forças centrífugas equivalentes a 7.000 x g em aparelhos com 50 mm de diâmetro interno (DC) (Figura 1) e 10.000 x g em aqueles com diâmetro interno de 10 mm, operando em ambos casos a uma pressão de 2,8 kg/cm<sup>2</sup>.

No planejamento de uma instalação de separação as dimensões do hidrociclone e sua geometria não deveriam depender da capacidade de fluxo total desejada para o processamento mas sim das características do fluido e partículas a separar (TRAWINSKI, 1978).

O fluxo num hidrociclone possui uma simetria circular com exceção da região do duto da entrada tangencial. A velocidade do fluxo em qualquer ponto do hidrociclone pode ser decomposta em três componentes: velocidade tangencial, velocidade radial e velocidade axial ou vertical (SVAROVSKY, 1977). Este autor também reporta que os conceitos gerais sobre os perfis de velocidade no hidrociclone são apenas qualitativos, pois os modelos de fluxo nestes aparelhos são altamente complexos, inclusive para a água com viscosidade e gravidade específica baixa. Assim, o autor observa que seria errôneo presupor que modelos de fluxos similares ocorram em ciclones com diferentes geometrias e viscosidades diversas de fluidos.

## 1.2. Comportamento das Partículas em Suspensão

Alguns autores, utilizando soluções diluídas, têm tentado estudar a trajetória das partículas sólidas dentro dos hidrociclones. SVAROVSKY, 1977, comenta que quando as partículas sólidas aproximam-se da parede cilíndrica do ciclone, estas podem ser dispersas radialmente para o centro do aparelho devido à intensa turbulência. Segundo o autor, existe pouca informação referente ao comportamento do líquido na seção cilíndrica a qual é considerada como uma zona de separação preliminar, pois a separação propriamente dita é efetuada principalmente na seção cônica.

Uma partícula em qualquer ponto dentro do fluxo do hidrociclone está basicamente influenciada por duas forças: uma devido à força de gravidade e centrífuga e a outra causada pela força de arraste exercida pelo fluxo sobre as partículas. O efeito de gravidade pela sua magnitude é normalmente desprezado em hidrociclones, consideramdo-se, assim somente as forças centrífugas e de arraste (SVAROVSKY, 1977).

## 1.3. Variáveis do Desenho do Hidrociclone que Afetam seu Desempenho

São diversas as variáveis mencionadas na literatura que influenciam o desempenho de um hidrociclone. FITCH e JOHNSON, 1952, reportam que as que possuem maior incidência na separação das partículas são o tamanho do hidrociclone, o diâmetro do orifício da alimentação, a gravidade específica dos sólidos, a concentração de sólidos, a distribuição do tamanho das partículas e a plasticidade dos sólidos a remover.

De acordo com TRAWINSKI, 1973, é possível obter altos graus de separação de partículas de maneira mais econômica, em hidrociclones de pequeno diâmetro interno da câmara cilíndrica ( $D_c$ ) que em aparelhos maiores onde são necessárias bombas excessivamente grandes, para atingir as pressões requeridas para separação. O autor acrescenta que hidrociclones altamente eficientes são construídos com diâmetros relativamente pequenos.

O comprimento ótimo para um hidrociclone segundo RIETEMA, 1961, deve obedecer à relação  $L/D_c = 5$  para separação e  $L/D_c = 2,5$  para classificação. Por outro lado o diâmetro ótimo do conduto de entrada da alimentação (diâmetro equivalente por área) deve ser igual a  $D_c/4$  para separação e  $D_c/7$  para classificação. Segundo SVAROVSKY, 1977, este diâmetro deve ser igual a  $D_c/7$  para separação. Ver Figura 1.

O conduto de entrada no hidrociclone pode ser circular ou retangular, sendo o primeiro de mais fácil construção, porém o retangular que possui seu lado maior paralelo ao eixo do hidrociclone é mais eficiente (SVAROVSKY, 1977).

O diâmetro interno da câmara cilíndrica do hidrociclone possui grande influência tanto na eficiência de separação como na relação velocidade de fluxo/queda de pressão. Com aparelhos de 12 polegadas (305 mm) de diâmetro da câmara cilíndrica ( $D_c$ ) foram conseguidas separações de partículas de dolomita de  $37 \mu\text{m}$ , enquanto que com hidrociclones de 3 polegadas (76 mm) de diâmetro foram obtidas separações de partículas de  $23 \mu\text{m}$  do mesmo material (FITCH e JOHNSON, 1952).

Um aumento do comprimento da câmara cilíndrica (Dimensão 1 da Figura 1) melhora a eficiência na remoção das partículas grosseiras, mas diminui a eficiência de separação das partículas

mais finas. A classificação mais eficiente é obtida com o comprimento de  $l$  (Figura 1) na faixa de  $0,33/D_c - 0,4/D_c$ . (SVAROVSKY, 1977).

O diâmetro do duto de saída superior do hidrociclone (over flow) deve ser, segundo RIETEMA, 1961, igual a  $D_c/3$  para separação e  $D_c/7$  para classificação. Por outro lado SVAROVSKY, 1977, reporta que segundo BRADLEY o diâmetro ótimo de saída superior deve ser igual a  $D_c/5$ , sem especificar se é para separação ou classificação.

O ângulo da seção cônica é outra variável importante na eficiência de separação. Segundo FERN, 1952, um hidrociclone que possui uma seção cônica com um ângulo de  $20^\circ$ , é mais eficiente que outro com iguais características, mas com um ângulo de  $60^\circ$ . Este último é mais utilizado quando a força de gravidade necessária para separação é baixa, como ocorre na separação de partículas grandes. De acordo a SVAROVSKY, 1977, o ângulo da seção cônica dos hidrociclones deve estar situado entre  $10^\circ$  e  $20^\circ$ .

FITCH e JOHNSON, 1952, estudaram a eficiência de hidrociclones em relação à concentração e distribuição de tamanho de partículas. Segundo estes autores estas variáveis são importantes na eficiência de separação, pois em concentrações altas existe uma interação entre as partículas que dificulta a decantação.

TRAWINSKY, 1970, observou que a eficiência dos hidrociclones depende principalmente de uma adequada diluição da suspensão, pois a saída inferior do aparelho suporta um grau limitado de concentração durante o processo de separação que no máximo corresponde ao limite da fluidez.

Segundo FITCH e JOHNSON, 1952, o aumento de pressão propicia a separação das partículas mais finas, porém não são necessários grandes aumentos de pressão para se obter diferenças significativas. Os autores acrescentam que a dificuldade de separar partículas plásticas em ciclones pode-se resolver pelo aumento de pressão.

#### 1.4. Arranjo de Múltiplos Hidrociclones

Como se têm observado na revisão da literatura, a decisão para o desenho e o número de hidrociclone a utilizar está essencialmente baseado no fluxo e taxa de eficiência desejada. Um grande número de hidrociclones de pequeno diâmetro, operados em paralelo possuem maior eficiência de separação que um aparelho único desenhado para dar igual fluxo.

A fim de utilizar a alta eficiência dos hidrociclones de diâmetro pequeno, a maioria dos fabricantes destes aparelhos oferecem arranjos múltiplos com diferentes desenhos. Existem, por exemplo, empresas que fabricam distribuidores anulares nos quais os hidrociclones individuais são distribuídos em torno de uma seção comum de alimentação, e outras duas para descarga. Os distribuidores normalmente são de aço inox quando usados em alimentos. Estes distribuidores podem comportar acima de 30 unidades podendo ser ordenados em série, em operações de múltiplos estágios (SVAROVSKY, 1977).

### 1.5. Aplicação dos Hidrociclones

Os ciclones são utilizados em diferentes campos da tecnologia. RIETEMA, 1961, divide o campo de aplicação de acordo as fases de separação:

- a) Sólido-líquido
- b) Sólido-sólido
- c) Líquido-líquido
- d) Gas-líquido
- e) Outros

A remoção de sólidos de uma dispersão líquida é um processo da separação direta, aplicado com eficiência em partículas compreendidas entre 5 e 200  $\mu\text{m}$ . As aplicações mais importantes segundo SVAROVSKI, 1977, são na classificação e na lavagem de partículas. Segundo este autor a desvantagem do uso de hidrociclone para a separação de partículas frágeis é que estas tendem a se quebrar a altas turbulências, diminuindo a eficiência de separação.

De acordo com ZANKER, 1977, os hidrociclones são utilizados para classificação, clarificação, concentração e recuperação de sólidos em diferentes tipos de processos, principalmente pelo seu baixo custo. O autor acrescenta que estes aparelhos podem separar partículas compreendidas entre 0,004 a 0,6 mm, competindo neste caso com as centrífugas e com os classificadores de peneiras, na separação de partículas maiores.

O uso de hidrociclones na indústria de alimentos ainda está restrito a alguns processos. Segundo FECSKE, 1983, hidrociclones múltiplos de diâmetro pequeno têm sido utilizado na indústria de amido na etapa de refinação de amido de milho, trigo, batata e mandioca.

Verberne, 1977, descreve um processo para a separação do amido de batata por hidrociclones, onde é possível reduzir o consumo de água em cerca de 200 l/t de batatas, em comparação a processos convencionais, sem alterar as características de qualidade do produto final. Estes autores comentam que as dimensões adequadas de hidrociclones para separação do amido de batata é de 15 mm de diâmetro da câmara cilíndrica (Dc, Figura 1), e 100 mm de comprimento. A capacidade destes hidrociclones é de 300 l/h a uma pressão de 2,6 kg/cm<sup>2</sup>.

Sistemas para obtenção de amido de batata que combinam hidrociclones, separação por peneira e centrífugas, permitem reduzir a quantidade de água de lavagem em até 300-350 l/t de batatas (FECSKE, 1983).

Os hidrociclones também têm sido utilizados na obtenção de amido de mandioca. CARRANSA, 1980, descreve um processo simplificado e econômico. A suspensão leitosa do amido é separada das fibras, concentrada e purificada num sistema de hidrociclones onde o fluxo do produto está em contra corrente com a água de lavagem. O autor ressalta que a ausência de partes móveis destes aparelhos reduz consideravelmente os custos da manutenção.

Sistemas de hidrociclones também foram utilizados para separar amido e gluten. A concentração do amido obtida foi de 21° Be, utilizando uma unidade de hidrociclones de 3 estágios (VERBERNE e ZWITSERLOOT, 1978)

De OLIVEIRA, 1974, utilizou um sistema de hidrociclones em série de 3 estágios para separar a borra e gotículas de óleo presentes numa suspensão oleosa. Os hidrociclones utilizados para tal caso, foram de 25 mm de diâmetro da câmara cilíndrica e a uma pressão que permitia uma força centrífuga de 7.000 x g.

A separação do gossipol contido na farinha de algodão tem sido outra aplicação relevante dos hidrociclones (GASTROCK e col., 1969; GARDNER e col., 1976; VECCHIONACCE & SETSER, 1980; BERARDI & CHERRY, 1981). Segundo esses autores através deste processo é possível obter farinha de torta de algodão de grau alimentício. De acordo com GASTROCK e col., 1969, estes aparelhos reduzem o teor de gossipol na torta de algodão em 85-90%. VIX e col., 1971, também trabalharam na remoção de gossipol e observaram que os hidrociclones ao mesmo tempo que separam o gossipol e lipídeos, concentram a proteína. RIDLEHUBER e GARDNER, 1974, utilizaram na separação deste composto, uma concentração de alimentação de 20-22% e uma pressão de  $2,8 \text{ kg/cm}^2$  em hidrociclones de 7,6 mm de diâmetro interno.

CHERRY e GRAY, 1981, também removeram o gossipol da farinha de semente de algodão utilizando hidrociclones e dicloro metano como solvente. Neste caso, 40-45% da farinha foi removida na saída superior contendo níveis de gossipol total de 0,06% e gossipol livre de 0,02%. O restante da farinha processada foi separada na saída inferior (under flow), contendo alto teor de gossipol total e livre.

## 2. CONCENTRADO PROTÉICO DE SOJA

O concentrado protéico de soja é definido como o produto preparado a partir de grãos de soja de alta qualidade, limpos e descascados, dos quais é removido o óleo e os componentes não protéicos solúveis em água, de modo a se obter no mínimo 70% de proteína (N x 6.25) na base seca (CIRCLE e SMITH, 1972). Estes autores ressaltam que a obtenção destes concentrados protéicos possibilitam a utilização de produtos derivados de soja com sabores mais neutros e suaves que aqueles obtidos diretamente de farinha de soja integral.

WOLF, 1970, aponta que uma importante vantagem dos concentrados protéicos sobre as farinhas e farelos está relacionada com a remoção dos constituintes que conferem o sabor característico à soja.

Os concentrados protéicos de soja, quando devidamente processados e utilizados, são uma fonte protéica de alto valor biológico, e possuem todos os aminoácidos essenciais com exceção de metionina que é limitante.

Além dos concentrados possuírem boa qualidade nutricional, estes produtos destacam-se por suas propriedades funcionais como dispersabilidade, emulsificação, ação estabilizante de emulsões, boas características de ligação de água e gordura, gelificação e outras. Estas propriedades são aproveitadas em diversos produtos alimentícios de carne, panificação, etc (LOCKMILLER, 1973).

### 2.1. Matéria Prima

O concentrado protéico de soja pode ser obtido a partir de farelo ou farinha de soja desengordurada que pode ser obti-

da segundo o esquema de HORAN, 1974 (Figura 3). De acordo a este autor, para a obtenção desta farinha deve-se utilizar sementes de soja escolhidas correspondente aos graus 1 e 2 dos padrões oficiais dos Estados Unidos, os quais permitem no máximo 3% de semente danificada, 2% de material estranho e 14% de umidade.

O Quadro 1 mostra a composição típica de farinha desengordurada de soja (JOHNSON, 1970 e KINSELLA 1979).

QUADRO 1 - Composição química de farinha desengordurada de soja, na base seca.

	1	2
	%	%
Proteína	56,5	56,0
Gordura	0,9	1,0
Fibra crua	2,7	3,5
Cinzas	6,5	6,0
Carboidratos	33,4	33,5

Fonte: 1 JOHNSON, 1970

2 KINSELLA, 1979

## 2.2. Processo de Obtenção

Os concentrados protéicos podem ser produzidos por três processos básicos, todos baseados na imobilização da maior quantidade das proteínas e a solubilização dos carboidratos, sais minerais e outros componentes solúveis contidos no farelo ou farini

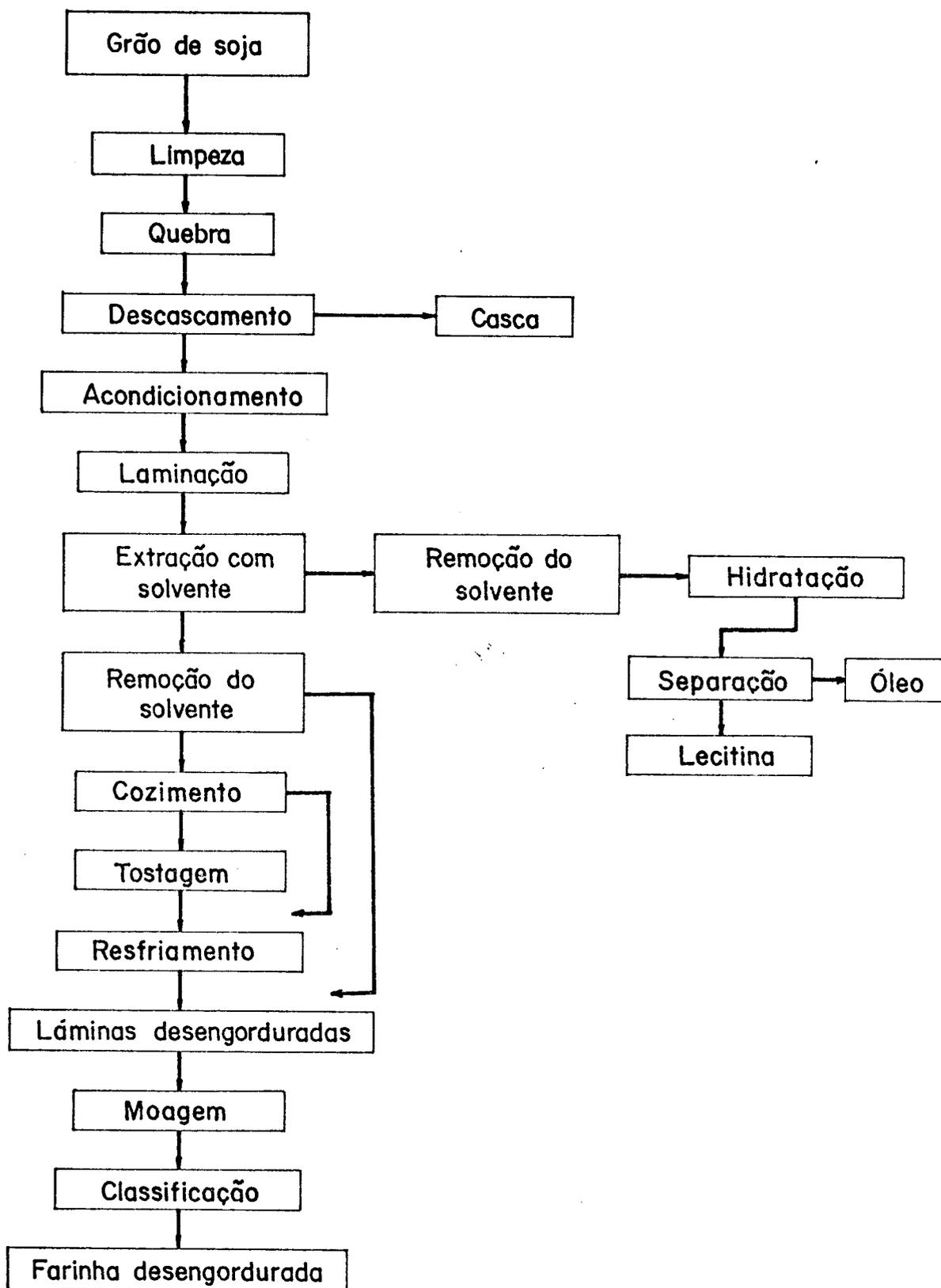


Fig. 3 Fluxograma do processamento para a obtenção de farinha desengordurada de soja.

Fonte : Horan, 1974.

nha de soja (MEYER, 1971). Na Figura 4 são apresentados os três métodos básicos, que segundo OHREN, 1981, são utilizados comercialmente para produzir concentrado protéico de soja.

Segundo CIRCLE e SMITH, 1972, o primeiro método foi descrito por SAIR, 1959, que utilizou uma suspensão aquosa a pH 4.5 para separar as proteínas dos constituintes solúveis (carboidratos, sais e outros). Posteriormente diversos autores têm estudado as condições deste processo (SMITH e cols., 1952, COGAN e cols., 1967; HORAN, 1974). O método está baseado no princípio de que a maior parte das proteínas de soja são do grupo das globulinas as quais são insolúveis em água a pH entre 4,2 a 4,6. Fora desta faixa as globulinas tornam-se solúveis em diferentes níveis dependendo da faixa de pH (WOLF, 1972). Para a obtenção do concentrado protéico, os autores, sugerem que as suspensões aquosas de farinha ou farelo desengordurado de soja tenham uma relação sólido-líquido de 1:10 a 1:20. O pH 4,5 deve ser alcançado através da adição à suspensão de HCl ou outro ácido de grau alimentar. A mistura deve ser mantida sob agitação, controlando-se o pH em 4.5. A separação dos componentes insolúveis pode ser realizada por centrifugação e o precipitado obtido purificado através de lavagens sucessivas com água a pH 4,5. O precipitado pode ser seco diretamente na sua forma isoelétrica ou previamente neutralizado antes da secagem. Neste caso a neutralização é feita com NaOH de grau alimentar.

Outra forma de obtenção de concentrado protéico de soja é por extração alcoólica, método reportado por MUSTAKAS e cols. 1962. Neste processo as concentrações de álcool variam de 60 a 80% para a lavagem do farelo ou farinha desengordurada de soja.

A elevação da temperatura foi utilizada por CIRCLE e SMITH, 1972, para obtenção de concentrados protéicos, através da desnaturação e insolubilização das proteínas de soja.

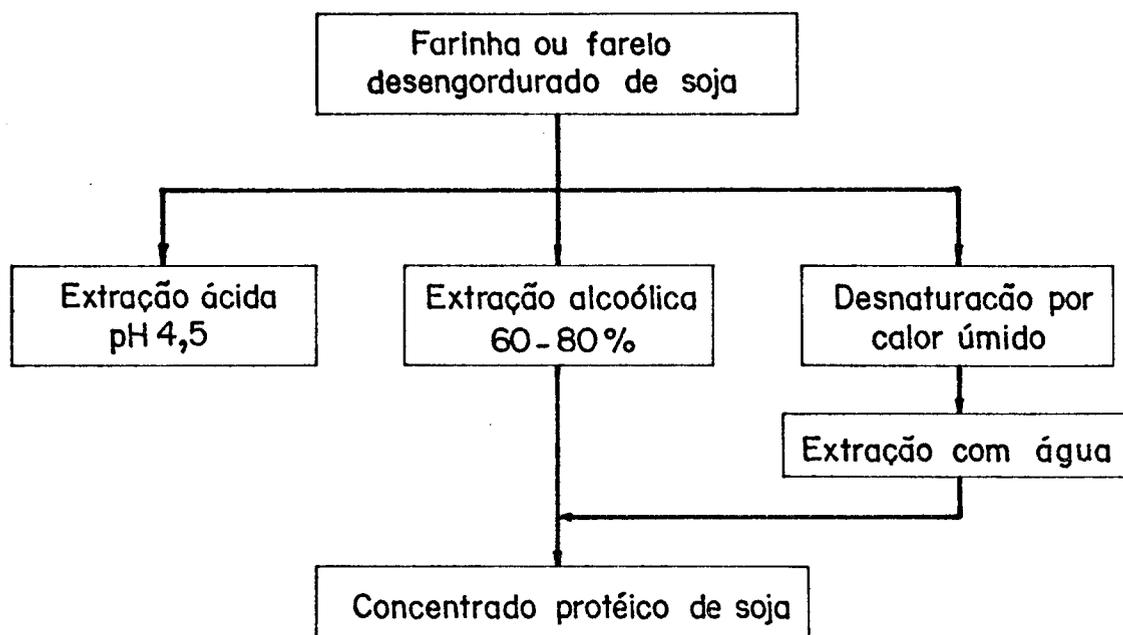


Fig. 4

Alternativas para o processamento de concentrado protéico de soja.

Fonte : Smith & Circle, 1978 ( segundo Ohren, 1981 )

Os produtos obtidos por qualquer dos métodos mencionados possuem um teor mínimo de proteína de 70% e as características físico-químicas variam de acordo com o método de obtenção. O concentrado produzido por extração alcoólica e insolubilização térmica possuem menor quantidade de nitrogênio solúvel que o produto resultante da extração ácida, quando este último é neutralizado antes da secagem (MEYER, 1971). Segundo este autor o rendimento de concentrado por qualquer dos métodos mencionados é de cerca de 60-70% em relação ao peso da matéria-prima.

### 2.3. Composição

Utilizando quaisquer dos métodos para obtenção de concentrados, extração ácida, alcoólica ou por calor, podem-se obter produtos contendo cerca de 70% de proteínas (CIRCLE e SMITH, 1972). O Quadro 2 mostra os teores máximos e mínimos de alguns componentes do concentrado proteico de soja, considerando 8 produtos manufaturados (dados fornecidos pelos próprios produtores e reportados por MATTIL, 1974).

O processo utilizado para a obtenção do concentrado influe nas características deste produto, como pode-se apreciar no Quadro 3 ilustrado por WOLF & COWAN, 1975. A porcentagem de proteína solúvel determinada pelo INS (Índice de Nitrogênio Solúvel) varia entre 3 e 70%. Os concentrados produzidos por extração alcoólica têm baixo INS devido à desnaturação das proteínas provocada pelo álcool. O concentrado obtido por extração ácida possui um valor alto de solubilidade quando é neutralizado antes da secagem. O método de obtenção influe também na cor, sabor, tamanho de partículas, capacidade de absorção de água e gordura e outras características importantes na indústria de alimentos (MEYER, 1971).

QUADRO 2 - Composição química de concentrados protéicos de soja  
fornecidas por produtores desses produtos.

Componentes	%
Proteína <u>1</u>	70,0 - 72,6
Gordura	0,3 - 2,0
Umidade	2,6 - 8,0
Cinzas	3,0 - 5,8
Fibra crua	2,9 - 5,0
<u>Minerais</u>	
Cálcio	0,22 - 0,67
Fósforo	0,45 - 0,87
Sódio	0,01 - 1,25
Potássio	0,3 - 2,1
Ferro	0,01
Enxofre	0,44
Metais Pesados (ppm)	< 1,0

1/ N x 6,25

Dados fornecidos por produtores de produtos protéicos de soja.

Os valores correspondem a 8 produtos analisados

Fonte: MATTIL, 1974.

QUADRO 3 - Composição aproximada dos concentrados protéicos de soja, segundo o método de extração.

	E X T R A Ç Ã O		
	Ácida	Alcoolica	Por calor úmido
Proteína /1 (%)	67,0	66,0	70,0
Umidade (%)	5,2	6,7	3,1
Gordura (%)	0,3	0,3	1,2
Fibra crua (%)	3,4	3,5	4,4
Cinzas (%)	4,8	5,6	3,7
Índice de Nitrogênio Solúvel (INS)	69,0	5,0	3,0
pH (Dispersão em água 1:10)	6,6	6,9	6,9

1/ N x 6,25

Fonte: MEYER, 1967 (segundo WOLF e COWAN, 1975).

#### 2.4. Usos

Os concentrados protéicos de soja produzidos industrialmente podem ser utilizados na forma de farinha com uma granulometria de 65 µm ou como farelo com tamanhos de partículas entre 225 e 840 µm. Os primeiros são usados em emulsão de carnes, produtos de panificação e em alimentos enlatados. Os concentrados de tamanho de partículas maior, são preferidos em misturas com produtos de carne (Central Soya, s/ano.).

Segundo MEYER, 1971, as principais vantagens da utilização de concentrados protéicos em lugar de farinhas e grits (fare

los), são a diminuição do gosto de soja e o maior conteúdo proteico. Este autor relaciona os principais usos do concentrado como:

a) Processamento de produtos cárneos, salsichas, pastéis, pão de carne, almôndegas, molhos de carne e croquetes.

b) Produtos de panificação, pão branco, bolachas, bolos e misturas para bolos.

c) Produtos de cereais

d) Biscoitos dietéticos recheados

Os concentrados proporcionam importantes características funcionais aos alimentos como: absorção de água, gordura e propriedades ligantes. SIPOS e col., 1979, reportaram que os concentrados que possuem baixo grau de solubilidade de proteína, absorvem e ligam cerca de 2,5 a 3 vezes seu peso em água e cerca de 1 a 1,5 vezes seu peso em óleo.

### 3. ISOLADO PROTEICO DE SOJA

CIRCLE e SMITH, 1972, definem o isolado protéico de soja como a maior fração protéica de soja, preparada com grãos descascados de alta qualidade e limpos, dos quais são removidos a maior parte dos componentes não protéicos. O produto final deve conter no mínimo 90% de proteína (N x 6,25), na base seca.

A obtenção destes produtos em escala industrial para consumo humano tiveram início na década de 50 como uma grande atração tecnológica, principalmente pelo seu alto valor protéico, sabor neutro e suas propriedades funcionais como: solubilidade e dispersabilidade, capacidade de emulsificação e estabilidade de emulsões, propriedades para ligar água e gordura, poder de gelificação e formação de espuma - (JOHNSON, 1970; citado por MEYER, 1971).

O valor nutritivo do isolado protéico de soja determinado pelo PER (Relação de Eficiência Proteica) ou VB (Valor Biológico) corresponde a aproximadamente 65-85% do isolado protéico de leite (caseína) sendo este valor menor que os reportados para concentrado protéico de soja (LIENER, 1972). O autor acrescenta que os isolados são mais deficientes em aminoácidos sulfurados que outros produtos de soja. Entretanto, quando estes produtos são suplementados com metionina seu valor nutritivo aumenta superando a caseína, em testes com ratos (HUGE, 1961; reportado por LIENER, 1972).

As propriedades nutricionais e funcionais dos isolados dependem da variedade dos grãos de soja e das condições do processamento. A solubilidade, por exemplo, dependerá do calor usado na remoção do solvente após a extração do óleo e a tempera-

tura de secagem (WOLF e COWAN, 1975). SIPOS e cols., 1979, ressaltam que os diversos tratamentos que acontecem durante o processamento afetam as propriedades físicas, químicas e funcionais do produto final.

### 3.1. Matéria-Prima

O isolado protéico de soja é obtido a partir de farelo ou farinha desengordurada de soja com alto valor de INS (Índice de Nitrogênio Solúvel), e proveniente de grãos de soja escolhidos e correspondente aos graus 1 e 2 dos padrões oficiais dos Estados Unidos (HORAN, 1974). A solubilidade e extratibilidade da proteína é influenciada por vários fatores incluindo o método de extração do óleo, tamanho de partículas, idade da farinha, relação solvente-farinha, pH, concentrações de sais e temperaturas de processo (OHREN, 1981).

Na Figura 3 está ilustrado o Fluxograma do processamento para a obtenção de farinha desengordurada de soja (HORAN, 1974).

### 3.2. Processo de Obtenção

Na obtenção de isolado protéico de soja (Figura 5), primeiramente é efetuada uma extração em meio aquoso alcalino em determinadas condições de tempo, temperatura, tamanho de partículas, relação sólido-líquido, pH e agitação (MEYER, 1971; CIRCLE e SMITH, 1972). A seguir o extrato aquoso alcalino é separado do resíduo insolúvel por filtração ou centrifugação ou por uma combinação de ambos. Posteriormente é efetuada a precipitação ácida a

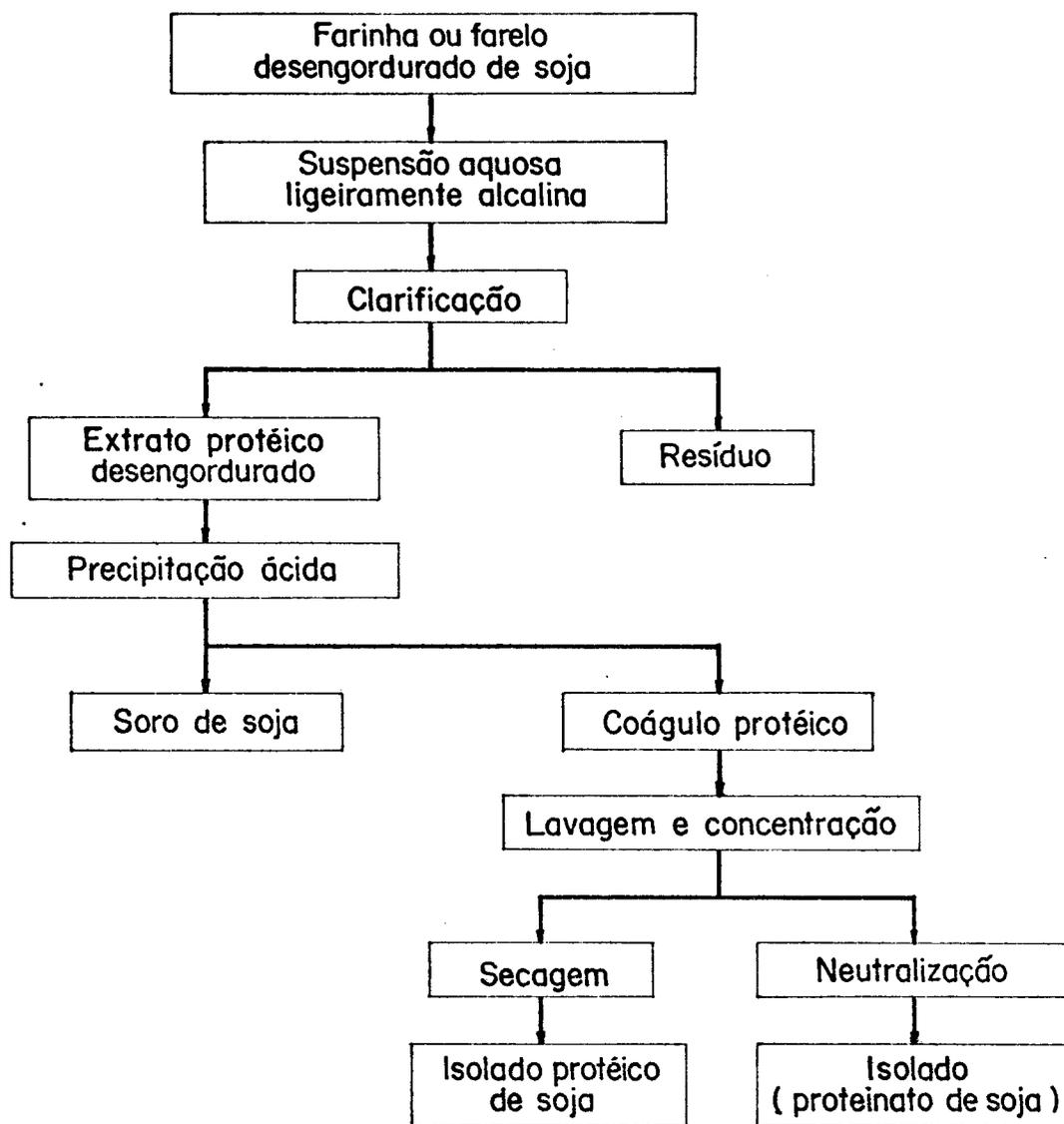


Fig. 5

Diagrama de fluxo para o processamento de isolado proteico de soja.

Fonte : Smith & Circle, 1978, ( segundo Ohren, 1981 )

pH entre 4-5 no qual a solubilidade das proteínas, principalmente globulinas, é mínima. O coágulo protéico é separado por centrifugação e filtração e lavado com água acidificada a pH 4-5. O coágulo protéico pode ser seco diretamente, obtendo-se a proteína isoelétrica ou neutralizado com álcali antes da secagem para se obter o isolado na forma de proteinato. O proteinato de sódio é preferido comercialmente pela sua dispersabilidade em água (CIRCLE e SMITH, 1972; OHREN, 1981).

A secagem destes produtos pode ser feita em fornos secadores com circulação forçada de ar ou através de secadores por atomização, método mais utilizado principalmente no caso de proteinatos.

O rendimento de isolado protéico corresponde a 30-40% do peso da farinha ou farelo de soja desengordurada (MEYER, 1970; reportado por MEYER, 1971).

### 3.3. Composição

A composição, propriedades nutricionais e funcionais dos isolados dependem principalmente do processamento e da variedade do grão de soja (WOLF e COWAN, 1975). O Quadro 4 mostra os valores mínimos e máximos encontrados para os principais componentes do isolado protéico de soja, considerando 8 produtos manufacturados, valores fornecidos pelos próprios produtores e reportados por MATTIL, 1974. Os isolados protéicos têm alto teor de proteínas, baixo teor de fibras e apresentam quantidades significativas de minerais, principalmente cálcio e ferro.

## QUADRO 4 - Composição química de isolados protéicos de soja.

Componentes	%
Proteína /1	90,0 - 97,7
Gordura	0,2 - 1,2
Umidade	3,9 - 7,0
Cinzas	2,5 - 4,5
Fibra Crua	0,01 - 0,2
<u>Minerais</u>	
Cálcio	0,14 - 0,39
Fósforo	0,8 - 0,9
Sódio	0,15 - 1,5
Potássio	0,07 - 1,0
Ferro	0,014
Enxôfre	-
Metais Pesados (ppm)	0,3

Dados fornecidos por produtores de produtos protéicos de soja e correspondem a 8 produtos analisados.

/1 (N x 6,25).

Fonte: MATTIL, 1974.

### 3.4. Aplicações

Os isolados protéicos encontram uma importante aplicação na elaboração de produtos alimentícios, devido a suas propriedades de emulsificação, estabilizantes de emulsões, capacidade de ligar água e gordura, formar gel, espuma e propriedades de coesão e adesividade (JOHNSON, 1970).

Em produtos cárneos, os isolados protéicos são preferidos em relação aos concentrados protéicos, pois formam um gel durante o cozimento impedindo ou retardando a migração de gordura (JOHNSON, 1970).

Os principais usos dos isolados protéicos segundo JOHNSON, 1970; MEYER, 1971; MATTIL, 1974, são:

- a) Em produtos cárneos os isolados são utilizados principalmente em salsichas, almondegas, embutidos, carne moída, carne enlatada, produtos de aves.
- b) Em produtos de panificação são utilizados em pão branco, bolachas, bolos e misturas para bolos.
- c) Em produtos de cereais.
- d) Produtos tipo laticínios como creme para café, cobertura batidas, sobremesas congeladas, queijos, pós para bebidas lácteas.
- e) Produtos de confeitaria.
- f) Em formulações de pudins, os isolados são utilizados como agentes espessantes e gelificantes.

#### 4. PROPRIEDADES FUNCIONAIS DAS PROTEÍNAS

As proteínas vegetais são geralmente utilizadas para aumentar o valor nutricional de alimentos formulados, porém o grande aumento da produção de produtos protéicos de soja como concentrados e isolados é atribuída a suas propriedades funcionais como: solubilidade e dispersibilidade, capacidade de emulsificação e estabilização de emulsões, capacidade de ligar água e gordura, gelificação, formação de espuma e outras (JOHNSON, 1970).

KINSELLA, 1979, define as propriedades funcionais das proteínas como características físico-químicas intrínsecas, que afetam o comportamento das proteínas, em sistemas de alimentos, durante o processamento, produção, armazenagem e preparação. O autor acrescenta que as propriedades funcionais derivam da composição e conformação das proteínas, das interações com outros componentes alimentares e são afetadas pelos tratamentos do processamento e pelo meio em que fazem parte.

MARTINEZ, 1979, comenta que algumas das características funcionais de farinhas desengorduradas e concentrados protéicos, tais como absorção de água, absorção de gordura e consistência não são influenciadas somente pela proteína mas também pelos carboidratos complexos, pectinas e componentes da hemicelulose da célula.

De acordo com JONES e TUNG, 1983, as características funcionais das proteínas podem ser modificadas através de mudanças físicas ou químicas. WALL, 1979, encontrou que a desnaturação das proteínas favorecia a hidratação destas, obtendo-se produtos com melhor textura.

#### 4.1. Solubilidade

KINSELLA, 1979, menciona os diversos fatores que afetam a solubilidade das proteínas. Os tratamentos alcalinos aumentam a solubilidade, principalmente se o pH for superior a 10,5, a precipitação ácida insolubiliza quantidades significativas de globulinas da soja; o tempo de agitação durante o processo de obtenção dos produtos protéicos, temperatura e outros.

O Quadro 5, mostra diferenças consideráveis de solubilidade entre dois tipos de isolados, devido provavelmente a diferenças no processamento. KINSELLA, 1979, ressalta que concentrados e isolados protéicos preparados com um mínimo de tratamento térmico desde o processamento da matéria-prima, possuem uma boa solubilidade, sendo esta característica um indicativo de baixo tratamento de calor.

#### 4.2. Absorção de Água

De acordo com HERMANSON, 1972, reportado por KINSELLA, 1976, o aumento de volume da proteína por embebição de água é uma importante característica funcional em alimentos, tais como; salichas, cremes, massas, etc... Nestes produtos as proteínas absorvem água e aumentam de volume, proporcionando características de corpo, engrossamento e viscosidade.

JONES e TUNG, 1983, relatam que as proteínas são capazes de ligar grandes quantidades de água devido a sua capacidade para formar pontes de hidrogênio entre as moléculas de água e os grupos polares nas cadeias polipeptídicas.

QUADRO 5 - Algumas propriedades funcionais de produtos protéicos de soja.

AMOSTRA	pH	I.P.S. <sup>a</sup>	Absorção	Absorção	Absorção
	10% dis- persão		de água <sup>a</sup>	de gor- dura <sup>a</sup>	de óleo <sup>b</sup>
	%	%	%	%	%
Farinha	6,6	21,4	130,0	84,4	18,0
Concentrado (ISOPRO)	5,0	2,3	227,3	133,0	2,8
Concentrado (PROMOSOY)	7,0	6,0	196,1	92,0	18,7
Isolado (SUPRO 610)	7,0	17,4	447,6	154,5	25,2
Isolado (PROMINED)	7,1	71,1	416,7	119,2	22,2

<sup>a</sup> média de duplicata

<sup>b</sup> média de triplicata

IPS = Índice de proteína solúvel

Fonte: LIN & HUMBERT, 1974.

Por outro lado JOHNSON, 1970, acrescenta que a absorção de água pode ser diminuída pelo calor ou tratamento químico dos materiais protéicos.

O Quadro 5, apresenta também as absorções de água da farinha, concentrados e isolados de soja, observando-se que estes últimos possuem maior absorção desta substância.

#### 4.3. Absorção de Gordura

A capacidade da proteína para ligar gordura é muito importante quando esta é utilizada como substituto de produtos cárneos, principalmente porque aumenta a retenção de sabor, melhorando consideravelmente a palatabilidade (KINSELLA, 1976).

WOLF e COWAN, 1975, reportam que em produtos cárneos moidos a proteína de soja favorece a absorção ou ligação de gordura, diminuindo perdas durante o cozimento e contribuindo na manutenção da estabilidade do produto cozido.

#### 4.4. Viscosidade

De acordo com HERMANSSON, 1973, reportado por KINSELLA, 1976, a viscosidade é influenciada pela solubilidade e propriedades de absorção das proteínas. Segundo este autor as proteínas altamente solúveis e que possuem baixa capacidade de hidratação, tem viscosidade baixa em dispersões aquosas como é o caso das albuminas e globulinas.

Segundo KINSELLA, 1979, a desnaturação das proteínas aumenta a viscosidade do isolado de soja. O autor ressalta que as propriedades reológicas das dispersões aquosas de globulinas de soja são influenciadas por vários fatores como velocidade de agitação no processo, concentração de proteína, tratamento térmico, pH e força iônica.

#### 4.5. Capacidade de Emulsificação

Segundo WOLF e COWAN, 1975, as proteínas contribuem na formação de emulsões de óleo e água e ajudam a estabilizar as já formadas. As farinhas, concentrados e isolados protéicos de soja são extensamente utilizados como emulsificantes em produtos cárneos moidos. Estes autores também relatam que a capacidade de emulsificação e estabilidade da emulsão depende do Índice de Nitrogênio Solúvel (INS), mencionando que um isolado com um valor de INS de 32 dará uma emulsão menos estável que outro isolado com um valor de INS de aproximadamente 80, onde a emulsificação é satisfatória.

SAFFLE, 1968, reportado por KINSELLA, 1976, relaciona como fatores importantes que afetam a capacidade de emulsificação da proteína, o desenho do equipamento, velocidade do processo de emulsificação (agitação), relação óleo-produto, temperatura, pH, fonte de proteína, solubilidade e concentração da proteína, características do óleo e conteúdo de sal, açúcares e água.

Quanto à capacidade de emulsificação, no Quadro 5 pode-se observar que os isolados protéicos possuem maior capacidade de emulsificação que os concentrados protéicos de soja.

#### 4.6. Formação de Espuma

A capacidade para formar espuma estável com o ar é outra importante funcionalidade das proteínas em produtos como bolos, merengues e diversos produtos de confeitaria. KINSELLA, 1976, menciona como fatores que influenciam a formação de espuma das proteínas; a fonte da proteína, métodos de preparação, composição do sistema alimentar, solubilidade da proteína, concentração, pH, temperatura, tempo de aquecimento e presença de açúcares, sais e lipídeos. Segundo este autor a presença de materiais lipídicos em preparações de soja prejudicam a formação de espuma porque desestabilizam os filmes protéicos impermeáveis formados pelas proteínas responsáveis pelas características de espumas.

O Quadro 6 ilustra a capacidade para formar espumas em produtos de soja (LIN e col., 1974) e mostra que os isolados protéicos possuem uma maior capacidade de aeração que os concentrados e farinhas.

QUADRO 6 - Capacidade de formação de espuma e estabilidade da espuma em produtos de soja.

AMOSTRA	Aumento de volume %	Volume de espuma após aeração ml				
		1 min	10 min	30 min	60 min	120 min
Farinha	70,0	160	131	108	61	20
Concentrado (ISOPRO)	170,0	400	28	13	8	5
Concentrado (PROMOSOY)	135,0	370	265	142	30	24
Isolado (SUPRO 610)	235,0	670	620	572	545	532
Isolado (PROMINED)	230,0	660	603	564	535	515

Fonte: LIN e cols., 1974).

### III. MATERIAL E MÉTODOS

#### 1. MATERIAL

##### 1.1. Matéria-prima

Para a execução deste trabalho foi utilizada farinha desengordurada de soja, marca Prosan, adquirida da Sociedade Algodoeira do Nordeste Brasileiro S.A. "SANBRA", sendo este um produto cru de alto Índice de Nitrogênio Solúvel (INS) e com características próprias para produção de concentrados e isolados protéicos.

##### 1.2. Reagentes

Os reagentes utilizados, tanto nos tratamentos como nas análises químicas possuíam o grau de pureza exigido pelas especificações dos métodos e foram obtidos das firmas MERCK, ECIBRA, CARLO ERBA e REAGEN-

##### 1.3. Equipamentos e Aparelhos

Hidrociclones de nylon, marca Dorr-Oliver, com as dimensões apresentadas na Figura 6 e montados num distribuidor do mesmo material e de fabricação própria.

Bomba de deslocamento positivo tipo moyno, modelo SJ 310/V, marca MONO-CLEAN.

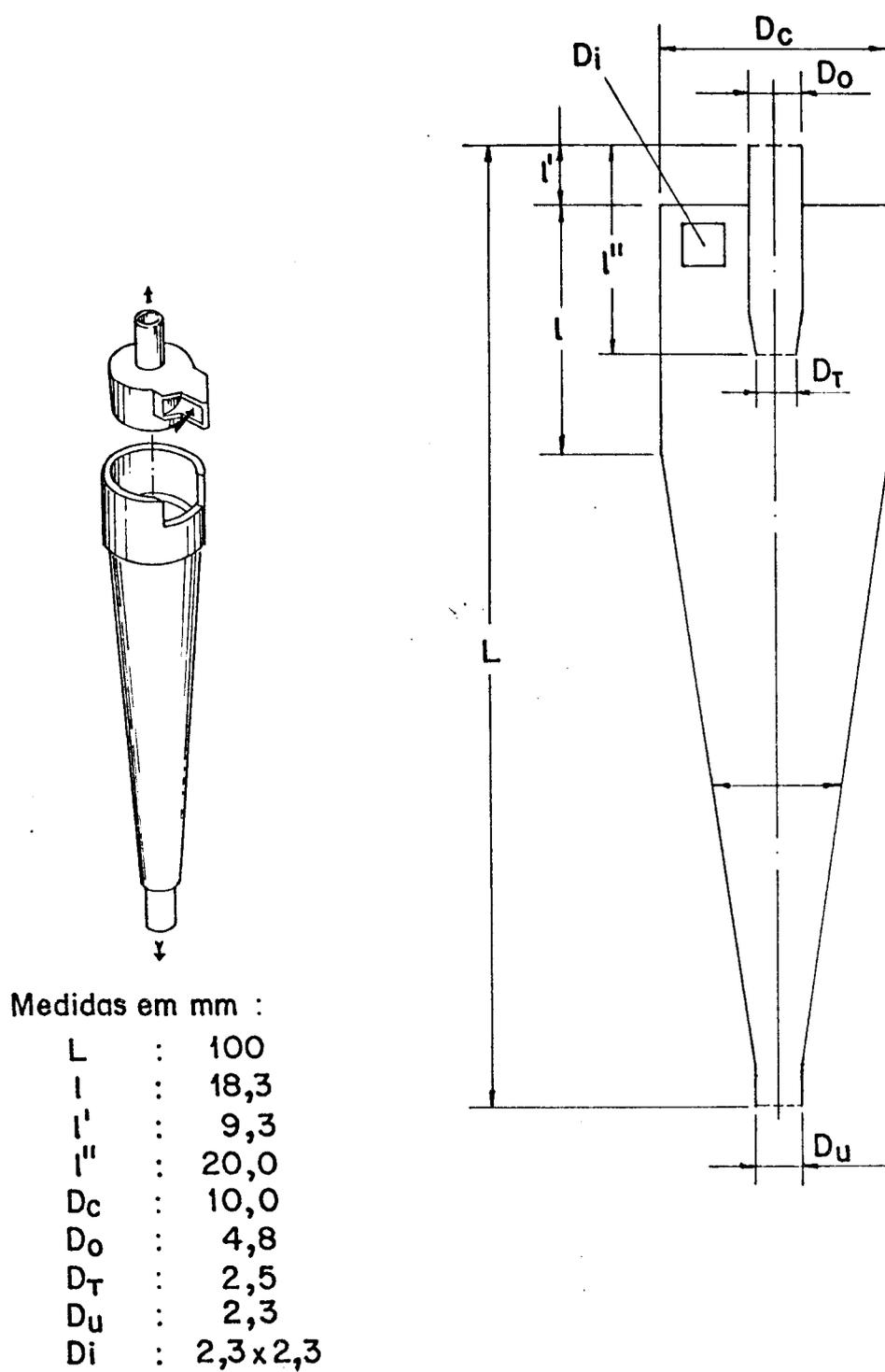


Fig. 6 Dimensões do hidrociclone utilizado.

Centrífuga de Cesto procedência Köln Sultz, marca Gebr. Heine.

Liofilizador marca STOKES, modelo 24/FL.

Misturador de aço inox marca ICMA.

Tanques de aço inox e outros aparelhos comuns de planta piloto.

Espectrofotômetro de Absorção Atômica, modelo SP 90A série 2, marca UNICAM.

Centrífuga de laboratório modelo 204-N, marca Fanem Ltda.

Homogeneizador tipo Ultra-Turrax, marca Kika Werk.

Moinho piloto de rolos modelo Quadromatic Senior, marca Brabender.

Classificador Vibratório marca Produtest.

Bloco digestor modelo Auto Analyzer II, BD-40, marca Technicon.

Destilador de nitrogênio tipo Kjeldahl, marca Vidrolabor.

pH-Metro modelo E-516, marca Metrohm Herisau.

Agitador magnético marca Metrohm.

Homogeneizador rotativo modelo HS 22, marca Phoenix.

Balança semi-analítica, modelo P 1210, marca Mettler.

Balança analítica modelo S-2000, marca Bosch.

Aparelho de extração de gordura tipo Soxhlet, modelo 170/3, marca Fanem Ltda.

Estufa com circulação forçada de ar modelo Retilínea, marca Fanem Ltda.

Misturador modelo Minipimer 2-MR-52, marca Braun.

Viscosímetro modelo LVT, marca Brookfield.

Moinho de facas modelo MFC-180-75-01, marca Renard.

Mufla marca Forlabo Ltda.

Banho-maria tipo 1650, marca Biomatic.

Liquidificador marca Arno.

Congelador vertical modelo BOJ-27-L70, marca Brastemp.

Vidraria e outros equipamentos comuns de laboratório.

## 2. MÉTODOS

### 2.1. Caracterização Físico-Química da Matéria-Prima

#### 2.1.1. Densidade Aparente

A densidade aparente foi determinada de acordo com o método descrito por NIP, 1979, com as seguintes modificações. Foram pesadas 100 g de amostra em cilindro graduado e colocadas num vibrador marca Produtest, durante 30 segundos com uma intensidade de vibração correspondente à posição nº 8 do reostato do aparelho. Após esta operação o volume ocupado foi lido e a relação entre a massa por unidade de volume, foi considerada como densidade aparente.

### 2.1.2. Granulometria

Os percentuais das frações com diferentes tamanhos de partículas foram determinados após peneiragem de 100 g de farinha num classificador vibratório marca Produtest, utilizando as peneiras equivalentes a 590, 297, 210, 149 e 105  $\mu\text{m}$ . O tempo estabelecido foi de 10 minutos a uma intensidade de vibração correspondente a posição nº 8 do reostato do aparelho.

### 2.1.3. Umidade

A umidade foi determinada segundo o método 44-31 da American Association of Cereal Chemists (AACC), 1976.

### 2.1.4. Cinzas

O teor de cinzas foi determinado pelo método 08-16 da AACC, 1976.

### 2.1.5. Gordura

A determinação do teor de gordura foi feita no extractor Soxhlet com 10 h de refluxo, utilizando 10 g de amostra e hexana como solvente, seguindo a metodologia de PEARSON, (1976).

### 2.1.6. Proteína

O nitrogênio total foi determinado pelo método nº 46-12 do AACC, 1976 (Micro Kjeldhal). O teor de proteína foi calculado multiplicando-se o teor de nitrogênio total pelo fator 6,25.

### 2.1.7. Fibra Bruta

A quantidade de fibra bruta foi determinada pelo método do ácido-detergente, descrito por van SOEST, 1973.

### 2.1.8. Cálcio

A determinação do teor de cálcio foi feita por espectrofotometria de absorção atômica segundo o método C-3 recomendado pelo manual de operação da PYE-UNICAM, 1967.

## 2.2. Determinação da Eficiência de Separação de Partículas a Diferentes Pressões

### 2.2.1. Preparo da Suspensão Aquosa de Farinha de Soja

Foram preparadas bateladas de 48 kg de material, dos quais 3 kg correspondiam a farinha e o restante a água e solução de HCl a 10% necessária para obter pH igual a 4,5. A esta suspensão foi acrescentado 200 ppm de antiespumante de silicone, DC-A/FC-10, fornecido pela Dow-Corning do Brasil. O material foi

deixado em agitação em tanque de aço inox durante 40 minutos. A agitação foi realizada com auxílio de um misturador marca ICMA a uma rotação de 1500 rpm.

### 2.2.2. Processo de Separação das Partículas

Os testes realizados para a determinação da eficiência de separação foram feitos com 2 hidrociclones em série. Foram realizadas passagens sucessivas do material através destes aparelhos, de tal forma a simular 4 estágios para clarificação e 4 estágios para concentração do material, de acordo com o esquema apresentado na Figura 7.

Amostras de material, tanto da alimentação como das saídas superiores (over flow), para o caso de clarificação, e saídas inferiores (under flow), no caso de concentração, foram tomadas em cada passagem para determinar o percentual de sólidos em suspensão existente em cada fração. A determinação de sólidos em suspensão foi efetuada após centrifugação a 2000xg, durante 10 minutos.

### 2.2.3. Cálculo da Eficiência de Separação

A eficiência de separação foi calculada pelas fórmulas descritas por RIETEMA, 1961.

$$a) \quad E = \frac{G_1}{G_0} - \frac{H_1}{H_0} \quad \text{ou}$$

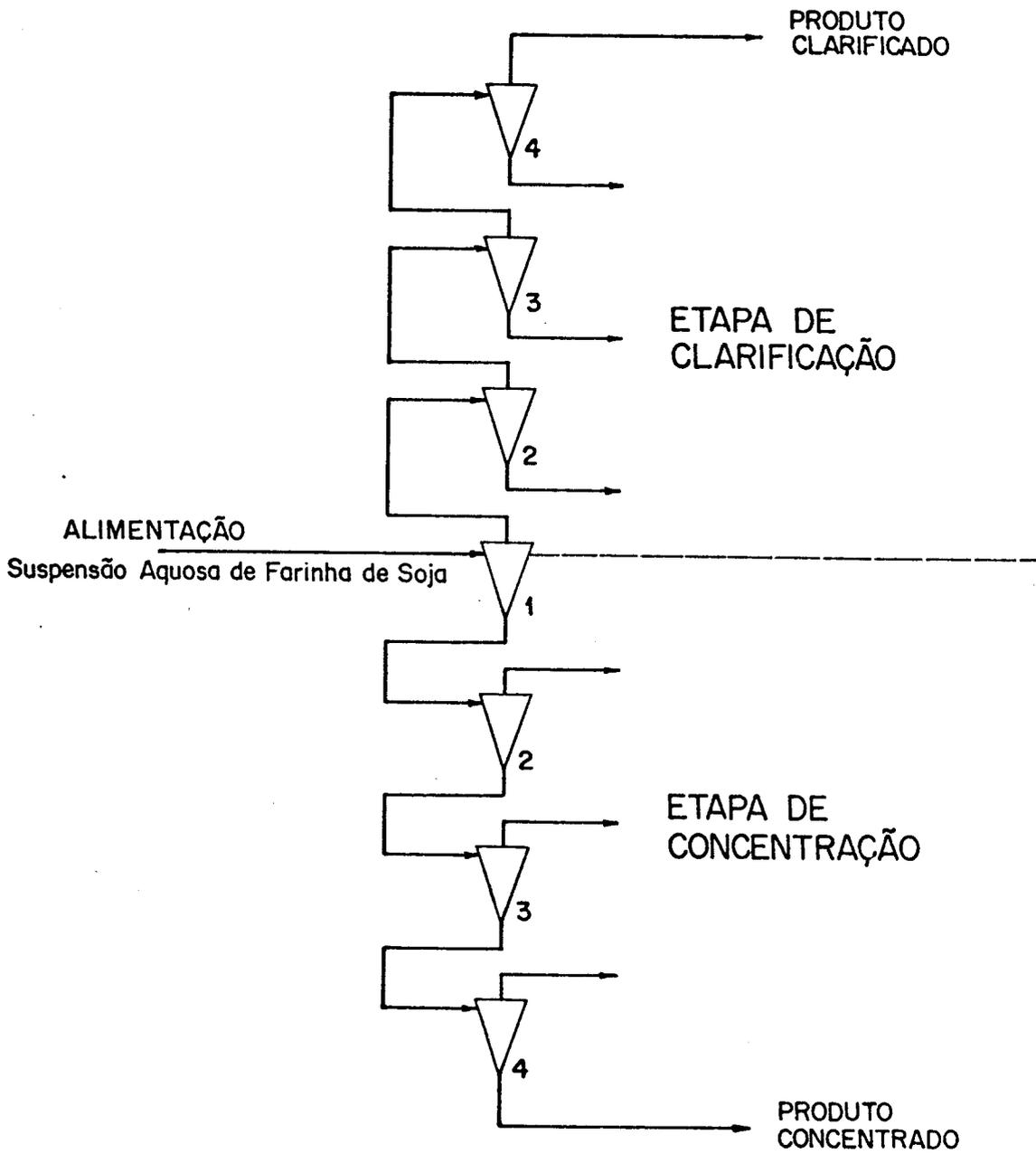


Fig. 7 Arranjo dos hidrociclones simulando 4 estágios para clarificação e 4 estágios para concentração.

$$b) \quad E = \frac{G_2}{G_0} - \frac{H_2}{H_0} \quad \text{onde}$$

E = eficiência

$G_0$  = Massa de sólidos úmidos da alimentação

$G_1$  = Massa de sólidos úmidos da saída superior

$G_2$  = Massa de sólidos úmidos da saída inferior

$H_0$  = Massa da fase líquida da alimentação

$H_1$  = Massa da fase líquida da saída superior

$H_2$  = Massa da fase líquida da saída inferior.

a) considera as saídas superiores (over flow)

b) considera as saídas inferiores (under flow)

#### 2.2.4. Condições de Trabalho

Após alguns testes preliminares foram estabelecidas as seguintes condições para a determinação da eficiência de separação das partículas, de uma suspensão aquosa de farinha de soja com pH igual a 4,5.

Número de hidrociclones em série: 2

Número de estágios para clarificação: 4

Número de estágios para concentração: 4

Pressões estudadas: 1,2,3 e 4 kg/cm<sup>2</sup>

Relação sólido:líquido da suspensão: 1:15 (p/p)

Granulometria da farinha: Partículas inferiores a 150 µm

Temperatura: 25-27°C (ambiente)

Tempo de Agitação: 30 minutos.

## 2.3. Determinação da Eficiência de Separação Segundo o Tamanho de Partícula

### 2.3.1. Preparo da Suspensão Aquosa de Farinha de Soja e Cálculo da Eficiência de Separação.

O preparo da suspensão de farinha, o processo de separação das partículas e o cálculo da eficiência de separação, foram efetuados de forma idêntica à metodologia descrita nos itens 2.2.1., 2.2.2. e 2.2.3., respectivamente.

### 2.3.2. Condições de Trabalho

As condições de trabalho foram similares às descritas no item 2.2.4., com exceção da pressão utilizada e a granulometria. Neste caso foi utilizada pressão de  $4 \text{ kg/cm}^2$ , visto que essa pressão apresentou maior eficiência de separação nos testes anteriores. Quanto a granulometria, a farinha foi classificada em 4 frações como indicado a seguir:

Partículas entre 105 e 149  $\mu\text{m}$

149 e 210  $\mu\text{m}$

210 e 297  $\mu\text{m}$

Partículas menores que 105  $\mu\text{m}$

#### 2.4. Determinação do Desempenho dos Hidrociclones na Separação da Proteína Isoelétrica durante o Processamento de Concentrado Protéico

Baseado nos parâmetros determinados nos testes anteriores (pressão, granulometria e número de estágios) foi determinado o desempenho para a separação da proteína, a partir de farinha desengordurada de soja com granulometria inferior a 195 micras (70 mesh aproximadamente). A pressão utilizada foi de  $4 \text{ kg/cm}^2$  e o processo foi realizado em três estágios para clarificação e três estágios para concentração.

Para o cálculo de eficiência de separação (E), foi considerada desta vez, a massa de proteína de cada fração (alimentação, saída superior e saída inferior). Estas amostras foram retiradas do material proveniente das diferentes passagens pelos hidrociclones.

##### 2.4.1. Preparo da Suspensão de Farinha de Soja

A suspensão foi preparada dispersando 2,0 kg de farinha de soja em 30,0 kg de água, a qual continha uma quantidade de HCl necessária para atingir pH 4,5. A esta suspensão foram acrescentados 200 ppm de antiespumante de silicone e a seguir esta foi agitada durante 30 min a 1500 rpm.

##### 2.4.2. Processo de Separação das Partículas

Os ensaios para determinar o desempenho para a separação foram feitos com dois hidrociclones em série, simulando, atra

vés de passagem sucessivas do material, três estágios para clarificação e igual número para concentração da proteína. Amostras de material, tanto da alimentação como das saídas superiores, para o caso da clarificação e saídas inferiores, no caso da concentração, foram tomadas em cada passagem para determinar o porcentual de nitrogênio e sólidos totais em cada fração.

#### 2.4.3. Condições de Trabalho

As seguintes condições de trabalho foram estabelecidas:

Número de hidrociclones em série	2
Número de estágios para clarificação	3
Número de estágios para Concentração	3
Pressão $\text{kg/cm}^2$	4
Relação sólido:líquido da suspensão (p/p)	1:15
Tamanho de partículas ( $\mu\text{m}$ )	< 195
pH da suspensão	4,5
Temperatura $^{\circ}\text{C}$	25-27
Tempo de agitação (min)	30

#### 2.5. Uso de Sais no Processo de Separação

Na tentativa de aumentar a eficiência de separação foi investigado o efeito de três sais no processo de separação proteica, a saber:  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  e  $\text{NaCl}$  nas concentrações de 500 e 1500 ppm. Inicialmente foram determinadas as condições ótimas para a extração e separação da proteína quanto ao pH. Para isso foram obtidas curvas de solubilidade das proteínas a diferentes valores de pH, usando os sais nas concentrações mencionadas.

### 2.5.1. Curvas de Solubilidade (INS), em Função do pH

Primeiramente foi estudado o comportamento dos sais quanto a influencia destes na solubilidade das proteínas de soja. Para tal fim 3,12 g de farinha desengordurada foram dispersas em água destilada, ajustando-se o pH a diferentes valores, compreendidos entre 1,5 e 12,0, com NaOH ou HCl 0,5 N. Foi acrescentada a quantidade necessária de sal em solução para se obter as concentrações desejadas de 500 e 1500 ppm. Adicionou-se 3 a 4 gotas de antiespumante de silicone e a massa foi ajustada para 50 g com água destilada. As suspensões foram mantidas sob agitação durante 40 minutos em agitador rotativo e centrifugadas a 3.000 x g por 15 minutos. O sobrenadante foi filtrado em lã de vidro e desse filtrado foram tomados alíquotas de 2 a 4 ml para a determinação de nitrogênio, segundo o método descrito no item 2.1.6.

O Índice de Nitrogênio Solúvel (INS), para os diferentes valores de pH foi calculado pela relação:

$$\% \text{ INS} = \frac{\% \text{ de Nitrogênio Solúvel}}{\% \text{ de Nitrogênio Total}} \times 100$$

### 2.5.2. Precipitação Isoelétrica da Proteína de Soja usando Sais em Diferentes Concentrações, durante o Processamento de Concentrado e Isolado Protéico, em laboratório

#### Concentrado Protéico

Estabelecidas as condições de concentração (relação sólido:líquido), granulometria e pH; foram preparadas, a nível de laboratório, suspensões de farinha de soja no pH isoelétrico, na presença

dos diferentes sais em concentrações que variaram de 200 a 2000 ppm e um padrão sem este componente, a fim de determinar percentuais de proteína recuperada em cada caso.

Amostras de 30 g de farinha de soja desengordurada foram dispersadas em 350 ml de água destilada contendo o sal e HCl a 0,5 N, necessário para se obter pH 4,5. As suspensões foram mantidas sob agitação durante 30 minutos, sendo que após 20 minutos o pH foi corrigido e o peso ajustado para 480 g, obtendo-se assim uma relação sólido:líquido de 1:15 (p/p). O material foi centrifugado a 2.000 x g por 10 minutos e o sobrenadante filtrado em lâ- de vidro. Do filtrado foram tomadas aliquotas de 2 a 4 ml para a determinação de nitrogênio, segundo o método descrito no item 2.1.6. O precipitado foi pesado para os cálculos de recuperação de proteína.

### Isolado Protéico

O efeito dos sais também foi avaliado no processo de produção de isolado protéico de soja. Neste processo o sal foi acrescentado na fase de precipitação ácida da proteína.

A nível de laboratório e pelo método convencional de separação (centrifugação), foram preparados isolados protéicos de soja de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 8. Foram dispersados 30 g de farinha de soja em água destilada contendo NaOH 0,5 N de modo a se obter pH 9,5. O produto foi deixado sob agitação durante 30 minutos e centrifugado a 2.000 x g por 10 minutos. Ao sobrenadante foi acrescentado HCl 0,5 N, suficiente para atingir pH 4,5 e este agitado durante 20 minutos. Transcorrido esse tempo tomou-se uma amostra para a determinação de nitrogê

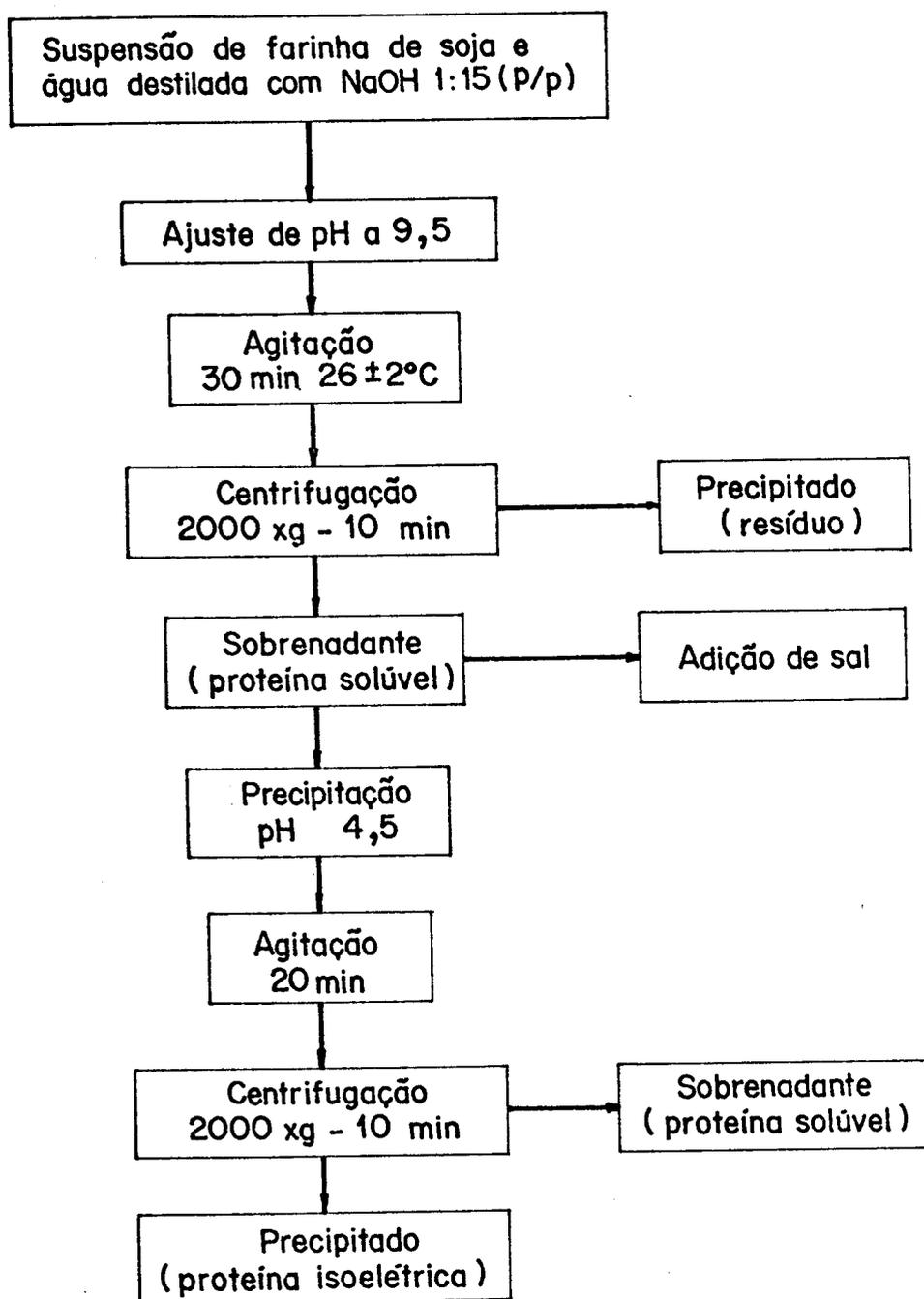


Fig. 8

Fluxograma do processamento para a obtenção de isolado protéico de soja úmido.

nio e o restante foi centrifugado como nas condições anteriores. Das fases líquidas foram tomadas amostras para a determinação de nitrogênio. As fases líquidas e sólidas foram pesadas para a determinação dos rendimentos de separação.

## 2.6. Determinação do Desempenho dos Hidrociclones na Separação da Proteína Isoelétrica com e sem Adição de Sais, no Processamento de Concentrado Protéico

Com os dados obtidos nos itens anteriores, foram selecionados dois sais em duas concentrações para os ensaios futuros de separação através dos hidrociclones:  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  em concentrações de 500 e 1500 ppm.

### 2.6.1. Condições de Trabalho

As condições de trabalho foram idênticas às descritas no item 2.4.3.

### 2.6.2. Preparo da Suspensão da Farinha de Soja

As suspensões de soja foram preparadas como relatado no item 2.4.1.; sendo que o sal foi acrescentado à água antes de misturar a farinha, e adicionar o HCl a 10%.

### 2.6.3. Processo de Separação das Partículas Protéicas

O processo de separação foi realizado de igual forma ao reportado no item 2.4.2.

### 2.7. Determinação do Desempenho dos Hidrociclones na Separação da Proteína Isoelétrica com e sem Adição de 500 ppm de $\text{CaCl}_2$ , no Processamento de Isolado Proteico.

Foi selecionado o  $\text{CaCl}_2$  em concentração de 500 ppm, para determinar o desempenho dos hidrociclones na produção de isolado protéico.

#### 2.7.1. Condições de Trabalho e Preparo da Suspensão

A suspensão foi preparada dispersando 2,0 kg de farinha desengordurada em água potável, contendo NaOH necessário para atingir pH 9,5 em uma relação sólido:líquido de 1:15 (p/p). A suspensão foi agitada por 30 minutos a temperatura ambiente (26-27 °C) e centrifugada a 2.000 x g em centrífuga de cesto. O precipitado foi eliminado e ao sobrenadante foram acrescentados o sal e HCl para obter pH 4,5. Esta suspensão foi mantida sob agitação durante 30 minutos e passada através dos hidrociclones para os testes de separação.

### 2.7.2. Processo de Separação das Partículas Protéicas

O processo de separação foi realizado de igual forma ao reportado no item 2.4.2.

### 2.8. Produção de Concentrado e Isolado Protéico pelo Método Convencional de Separação, Centrifugação e por Hidrociclones

Com a finalidade de comparar as características funcionais da proteína foram preparadas amostras de concentrados e isolados protéicos a nível de laboratório, utilizando centrífuga, e a nível de planta piloto, utilizando hidrociclones. Em ambos casos foram processados produtos com  $\text{CaCl}_2$  a 500 ppm e outra amostra padrão (sem sal).

#### 2.8.1. Produção de Concentrado Protéico Utilizando Centrífuga

Foram obtidas a nível de laboratório duas amostras de concentrado sendo uma sem adição de sal e outra com 500 ppm de  $\text{CaCl}_2$ ; processadas conforme o fluxograma apresentado na Figura 9. Amostras de 250 g de farinha desengordurada foram dispersadas em água potável suficiente para se obter uma relação de 1:15 (p/p) com HCl suficiente para atingir pH 4,5. No caso de utilizar sal, este era acrescentado a água após a adição do HCl. A suspensão foi mantida sob agitação durante 30 minutos a  $26 \pm 1^\circ\text{C}$  e centrifugada a 2000 x g durante 10 minutos. O sobrenadante foi eliminado e o precipitado foi resuspenso em quantidade de água potável, com pH 4,5, de modo a se obter uma relação de 1:1 (p/p) de líquido

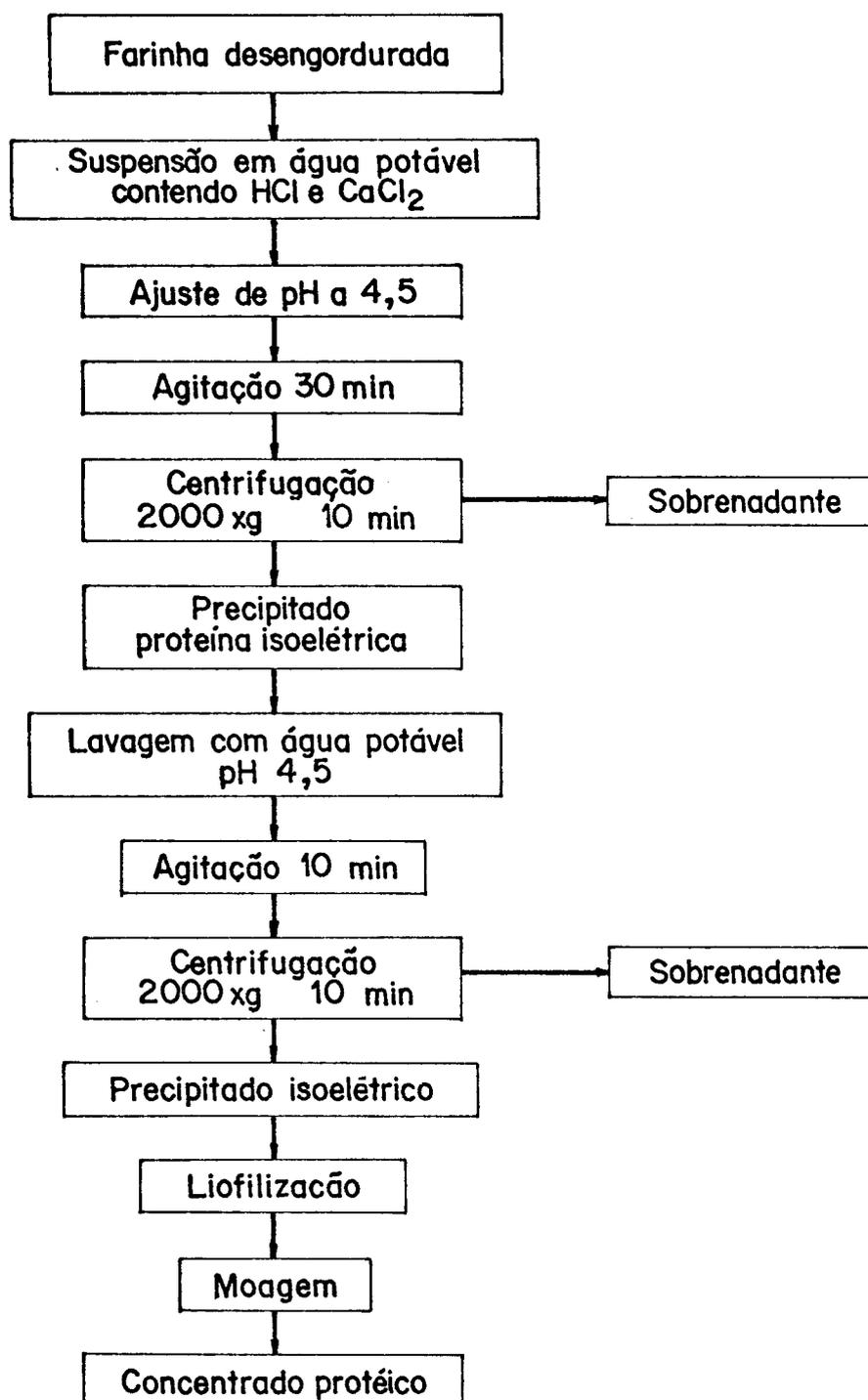


Fig. 9

Fluxograma do processamento para a obtenção de concentrado protéico de soja liofilizado.

do e precipitado. Esta suspensão foi agitada durante 10 minutos e centrifugada a 2000 x g por 10 min. O precipitado obtido foi a seguir, liofilizado e moído em moinho de rolos corrugados até granulometria menor que 195  $\mu\text{m}$ .

### 2.8.2. Produção de Concentrado Protéico Utilizando Hidrociclones

Para o processamento de concentrado protéico com e sem sal ( $\text{CaCl}_2$ ), em planta piloto, foi seguido o fluxograma apresentado na Figura 9, sendo que a proteína foi separada através dos hidrociclones que foram arranjados em três estágios para clarificação e três estágios para concentração, de acordo apresenta-se na Figura 10. Foi simulado um processo contínuo de separação onde as frações foram passadas sucessivamente. Assim, na clarificação as saídas inferiores (under flow) foram retornadas ao estágio anterior e no caso da concentração foram as saídas superiores que retornavam para a alimentação do estágio anterior. O preparo da suspensão de farinha de soja e a metodologia para a obtenção de concentrado, foram idênticas ao descrito no item 2.8.1. com a ressalva que neste caso foram utilizados 2,0 kg de farinha e a separação foi realizada pelos hidrociclones.

### 2.8.3. Produção de Isolado Protéico Utilizando Centrífuga

Foram obtidos, também a nível de laboratório e por centrifugação, duas amostras de isolado protéico, com e sem adição de  $\text{CaCl}_2$ , de acordo com o fluxograma da Figura 11. As amostras foram preparadas dispersando 125 g de farinha desengordurada em água po-

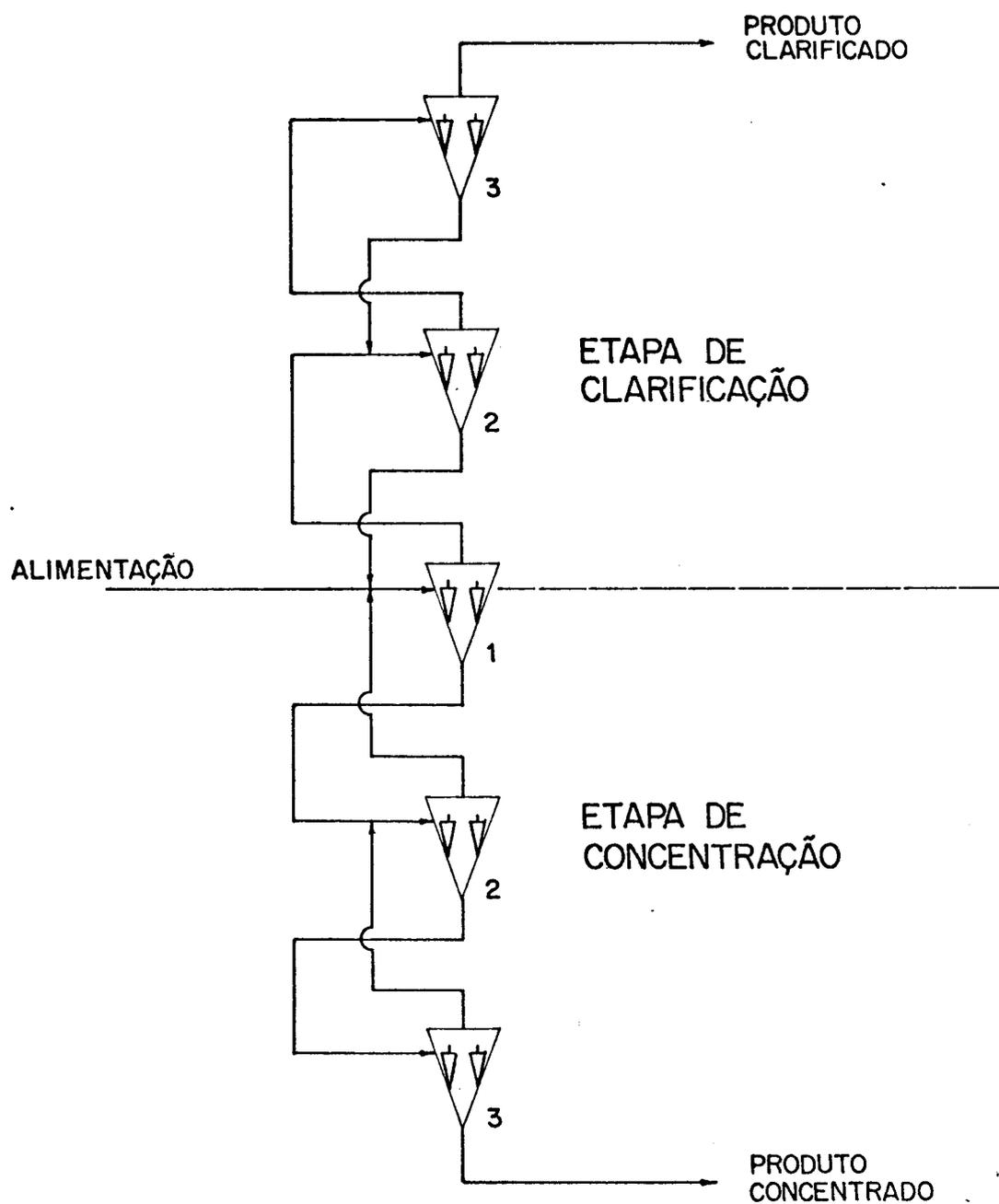


Fig. 10

Arranjo dos hidrociclones simulando um processo contínuo para separação de proteína nas etapas de clarificação e concentração.

tável, contendo NaOH 0,5 N para atingir pH 9,5 em uma relação sólido:líquido de 1:15 (p/p). A suspensão foi agitada por 30 minutos a temperatura ambiente (27°C) e centrifugada a 2000 x g por 10 minutos. O precipitado foi eliminado e ao sobrenadante (extrato protéico) foram acrescentados o sal e o HCl 1N para obter pH 4,5. Esta suspensão foi mantida sob agitação durante 20 minutos e centrifugada a 2000 x g durante 10 minutos. Desta vez o sobrenadante foi eliminado e o precipitado resuspendido em água potável com pH 4,5 com uma relação 1:1 (p/p). Esta suspensão foi agitada por 10 minutos e centrifugada como nas condições anteriores. A proteína precipitada foi liofilizada e moída em moinho de rolos até granulometria inferior a 195 micras.

#### 2.8.4. Produção de Isolado Protéico Utilizando Hidrociclones

Para o processamento de Isolado Protéico com e sem sal, em planta piloto, foi seguido o fluxograma reportado na Figura 11, sendo que a separação da proteína foi realizada mediante hidrociclones, arranjos de tal forma a se obterem 3 estágios para clarificação e igual número para concentração, como é apresentado na Figura 10. Mediante passagens sucessivas do material, foi simulado um processo contínuo de separação, retornando ao estágio anterior o produto das saídas inferiores (under flow) para o caso da clarificação e o produto das saídas superiores (over flow) quando tratava-se da concentração.

O preparo da suspensão de farinha de soja e a metodologia para a obtenção de isolado protéico foi a mesma descrita no item 2.8.3., sendo que neste caso utilizaram-se 2,0 kg de farinha e a separação foi feita pelos hidrociclones.

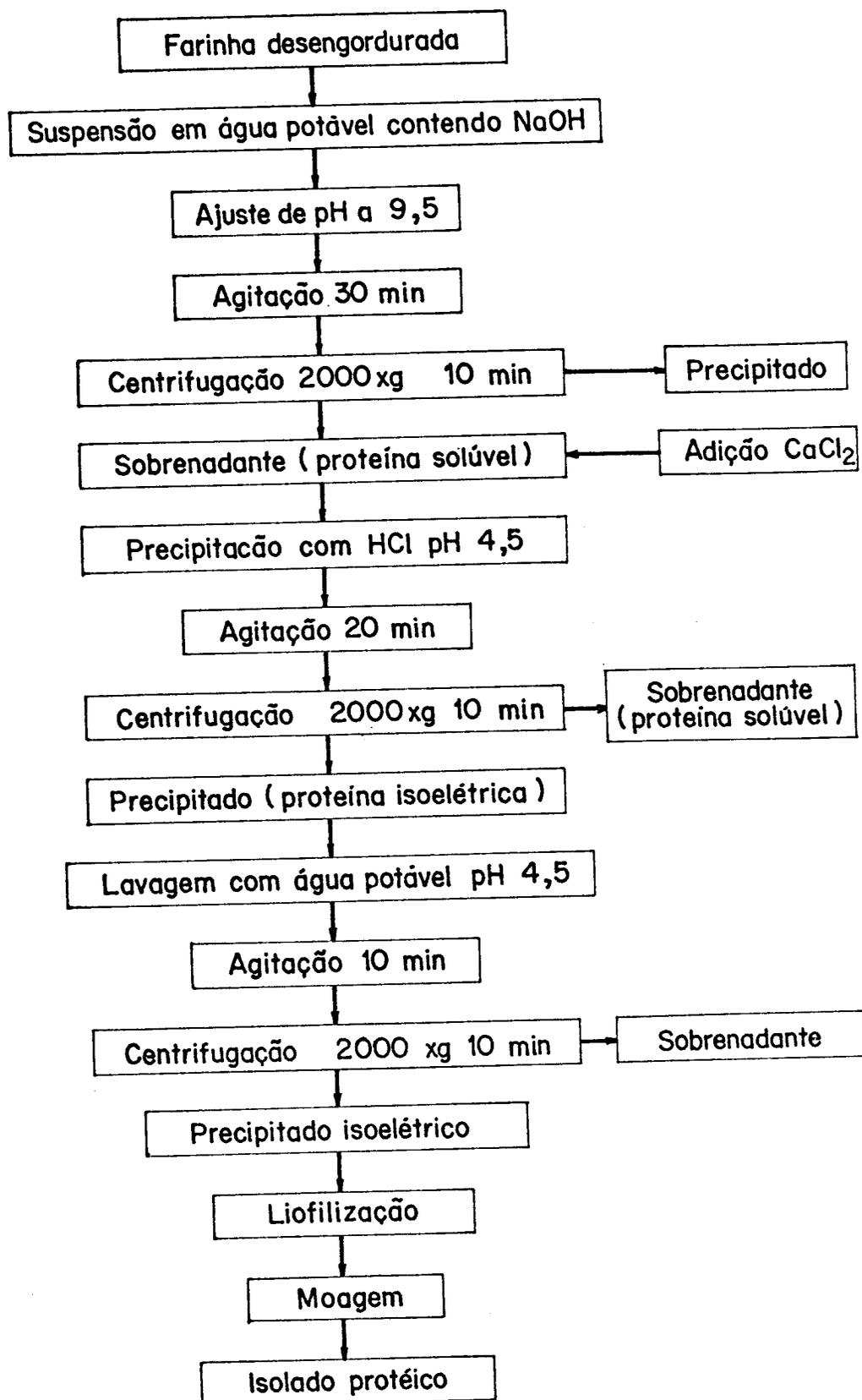


Fig. 11

Fluxograma do processamento para a obtenção de isolado protéico de soja liofilizado.

## 2.9. Caracterização dos Produtos

As amostras do concentrado e isolado protéico, produzidas por centrifugação e mediante o uso de hidrociclones, com e sem adição de sal; foram analisadas quanto a suas características físico-químicas e propriedades funcionais. Além das amostras estudadas no presente trabalho foram incluídas, para efeito comparativo, produtos comerciais de concentrado e isolado protéico, adquiridos da SANBRA, Sociedade Algodoeira do Nordeste Brasileiro S.A.

### 2.9.1. Caracterização Físico-Química

A densidade aparente e os teores de umidade, cinzas, gordura, proteína, fibra bruta e cálcio, foram determinados de acordo com a metodologia dos itens 2.1.3. a 2.1.8. respectivamente.

### 2.9.2. Determinação das Propriedades Funcionais

#### 2.9.2.1. Solubilidade (INS)

A solubilidade das amostras foi determinada através do Índice de Nitrogênio Solúvel (INS), segundo o método de DENCH e col., 1981, com as seguintes modificações. Em tubos de ensaios com rosca e tampa hermética foi dispersa 1 g de amostra em 40 ml de água destilada, o pH foi ajustado a 7 com NaOH 0,1N. Para a extração, os tubos foram colocados a temperatura ambiente, num agi

tador rotativo durante 30 minutos, sendo que após 20 minutos foi corrigido o pH, quando necessário, e a massa completada para 50 g com água. As suspensões foram centrifugadas a 3000 x g por 15 minutos e filtradas em lã de vidro. O conteúdo de nitrogênio do sobrenadante e das amostras originais foi determinado pelo método descrito no item 2.1.6. e o Índice de Nitrogênio Solúvel foi calculado pela relação:

$$\text{INS} = \frac{\% \text{ de Nitrogênio Solúvel}}{\% \text{ de Nitrogênio Total}} \times 100$$

#### 2.9.2.2. Absorção de Água

A capacidade de absorção de água das amostras foi determinada de acordo com o método descrito por BEUCHAT, 1977.

#### 2.9.2.3. Absorção de Gordura

A capacidade de absorção de gorduras das amostras foi determinada pelo método descrito por LIN e col., 1974.

#### 2.9.2.4. Capacidade de Emulsificação e Estabilidade da Emulsão

As propriedades de emulsificação e estabilidade da emulsão das amostras foram determinadas de acordo com o método descrito por DENCH e col., 1981.

### 2.9.2.5. Capacidade de Formação de Espuma e Estabilidade da Espuma

Para determinar a propriedade de formação e estabilidade da espuma do material protéico da farinha, concentrados e isolados protéicos de soja, foi utilizado o método de HSU e Col., 1982, com as seguintes adaptações. Foram preparadas suspensões aquosas a 3% (p/v) de cada uma das amostras ajustando-se o pH a 7, mediante a adição de NaOH 0.1 N. Aliquotas de 30 ml foram colocadas em bêqueres de 400 ml e agitadas a alta rotação (1350 rpm), utilizando um misturador Braun Minipimer com o dispositivo especial para formação de espuma, durante 3 minutos. O material espumoso foi transferido para provetas de 200 ml e após 30 segundos o volume total do material foi determinado. A porcentagem do aumento do volume foi calculada pela relação:

$$\% \text{ aumento de volume} = \frac{b-a}{a} \times 100$$

Onde:

a = volume antes da agitação

b = volume após agitação

A estabilidade da espuma foi determinada deixando-se as amostras a temperatura ambiente ( $28 \pm 1^\circ\text{C}$ ) e observando-se as variações do volume total e da fase líquida após intervalos de 30, 60 e 120 minutos. O percentual de líquido liberado da espuma após estes intervalos de tempo, foi determinado através da relação:

$$\% \text{ líquido liberado da espuma} = \frac{a}{b} \times 100$$

Onde:

a = ml de líquido liberado da espuma

b = ml de volume inicial antes da agitação.

#### 2.9.2.6. Viscosidade

A viscosidade das amostras foi determinada em suspensões aquosas centrifugadas de acordo com o método descrito por HSU e col., 1982, com as seguintes modificações: Foram preparadas suspensões de 200 g a 2% (p/p) de cada amostra com água destilada, o pH foi ajustado para 7, e o material foi agitado energeticamente durante 3 minutos num liquidificador marca Arno com recipiente de 300 ml. A suspensão foi centrifugada a 2000 x g por 15 minutos e a viscosidade dos sobrenadantes foi determinada no viscosímetro marca Brookfield, modelo LVT, utilizando o "spindle" nº 1 e a uma velocidade de 60 rpm. A viscosidade foi expressa em Centipoise.

#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 1. MATÉRIA PRIMA

###### 1.1. Caracterização físico-química

A farinha de soja desengordurada crua utilizada como matéria prima, apresentou uma densidade aparente de  $0,48 \text{ g/cm}^3$ . A distribuição do tamanho de partículas apresentada no Quadro 7, mostrou que o produto teve uma granulometria fina com 83,6% das partículas com tamanhos inferiores a  $210 \mu\text{m}$ .

A composição química da farinha de soja está apresentada no Quadro 8. Estes resultados mostraram que a farinha possuía um alto índice de Nitrogênio Solúvel (INS) e teor de proteína muito próximo dos valores reportados por JOHNSON, 1970 e KINSELLA, 1979; encontrando-se portanto na faixa recomendada pelos padrões oficiais dos E.U.A. para farinha desengordurada de soja, reportados por ANON, 1971 em SMITH e CIRCLE, 1972. Em geral não foram encontradas diferenças marcantes entre os resultados obtidos neste trabalho e aqueles apresentados pelos autores mencionados.

###### 1.2. Fluxo dos Hidrociclones a Diferentes Pressões

As vazões de água e de suspensão aquosa de farinha de engordurada de soja, numa relação sólido:líquido de 1:15, estão apresentadas na Figura 12. Ambas vazões foram diretamente proporcionais ao aumento de pressão quando se trabalhou com dois hidro-

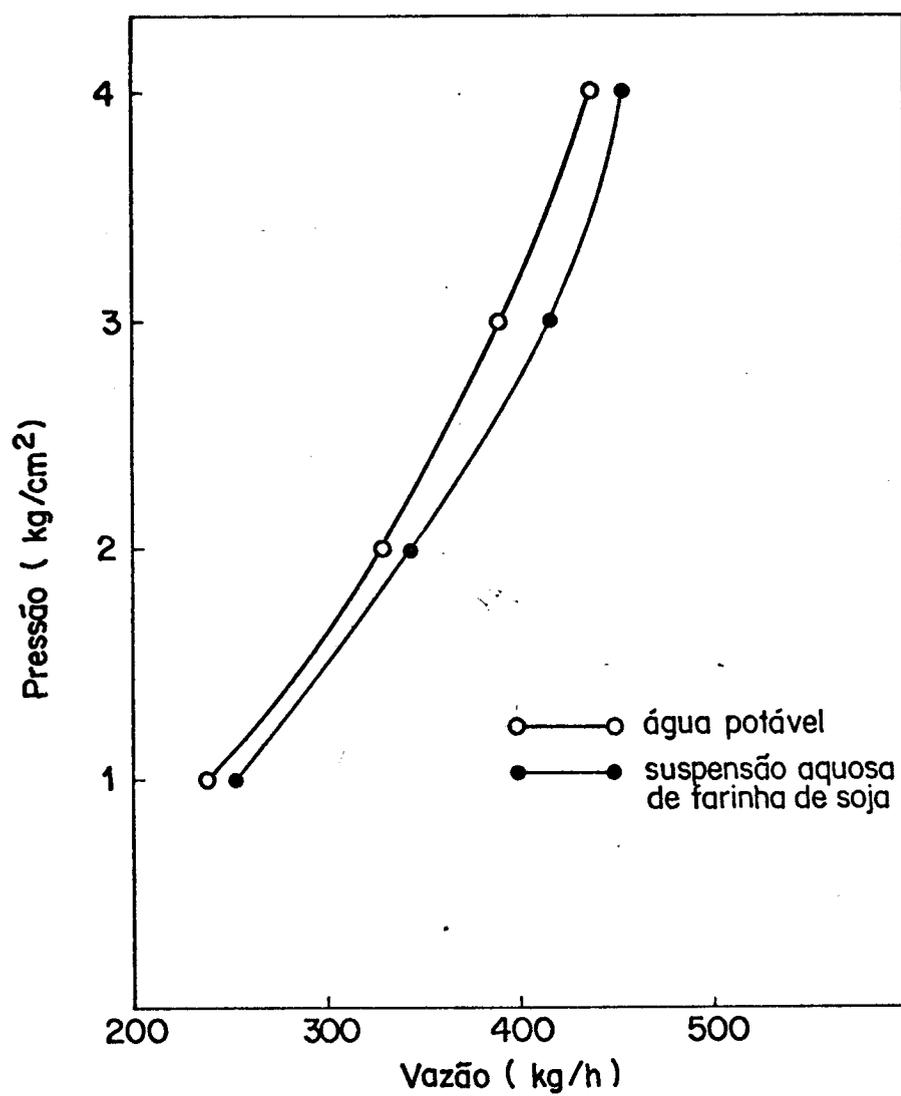


Fig. 12

Fluxo de dois hidrociclones em paralelo a diferentes pressões.

ciclones e pressões de 1 a 4 kg/cm<sup>2</sup>. As variações de fluxo em função do aumento de pressão foram consideráveis, sendo de 240 kg/h a 438 kg/h para a água e de 253 kg/h a 456 kg/h para suspensão aquosa de farinha de soja entre as pressões de 1 e 4 kg/cm<sup>2</sup>. As pequenas diferenças observadas nas vazões dos fluídos utilizados, poderiam dever-se a diferença de densidade destes, desde que as vazões foram expressas em kg/h.

QUADRO 7 - Distribuição das partículas de farinha desengordurada de soja.

Tamanho ( $\mu\text{m}$ )	Quantidade (%)
> 590	1,76
297 - 590	4,39
210 - 297	10,26
149 - 210	7,78
105 - 149	17,53
< 105	58,28

QUADRO 8 - Composição química da farinha desengordurada de soja.

Umidade %	8,07
Proteína <u>1</u> /%	52,15
Gordura %	0,74
Fibra crua %	2,99
Cinza %	6,54
Outros carboidratos %	29,51
Índice de Nitrogênio Solúvel (INS)	67,16
pH (dispersão em água 1:15)	6,75

1/ N x 6,25

1.3. Efeito da Pressão, Número de Estágios e Concentração na Eficiência de Separação de Partículas.

As concentrações de sólidos em suspensão obtidas nas etapas de clarificação e concentração nos diferentes estágios, a pressões de 1, 2, 3 e 4 kg/cm<sup>2</sup> estão apresentadas na Figura 13. Estes resultados mostraram que o teor de sólidos em suspensão do produto clarificado diminuiu em cada estágio em todas as pressões estudadas, sendo que a maior diminuição do teor de sólidos foi produzida a 4 kg/cm<sup>2</sup> e no 1º estágio, onde a concentração decresceu de 22,1% (concentração inicial) a 6,7%. Com essa mesma pressão, a redução dos sólidos em suspensão entre o 2º e os outros estágios foi menos acentuada sendo que entre o 3º e 4º estágio esta redução foi quase desprezível. Entretanto na etapa de concentração observou-

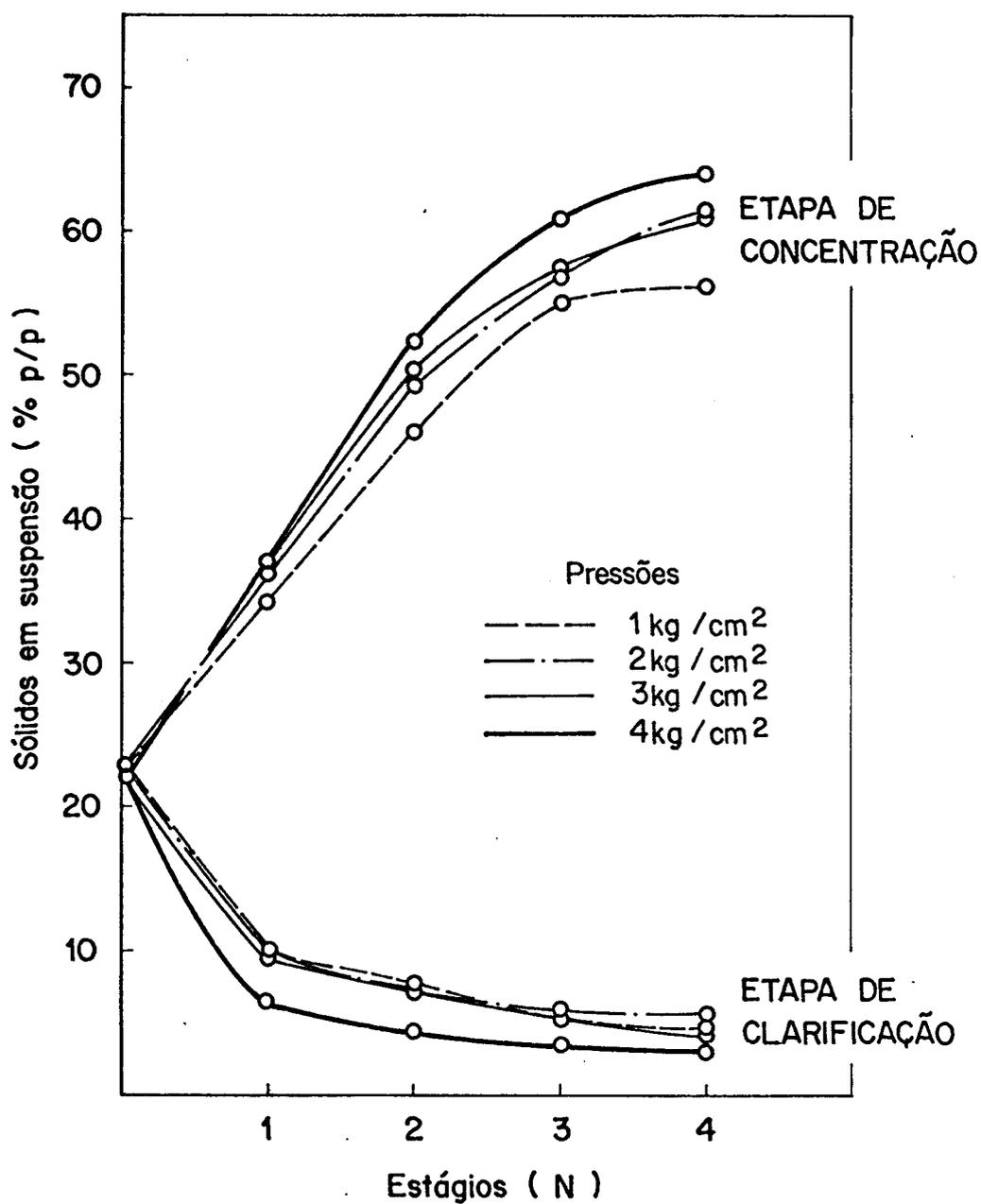


Fig. 13

Teor de sólidos em suspensão obtidos a diferentes pressões e em cada estágio de clarificação e concentração.

-se um aumento bem pronunciado do teor de sólidos nos primeiros estágios, porém apresentou também uma redução na taxa de concentração do 3º ao 4º estágio em todas as pressões. Considerando a pressão de  $4 \text{ kg/cm}^2$ , que foi a que apresentou melhor comportamento tanto na etapa de clarificação como na de concentração, houve um aumento da concentração inicial de 22,1% para 60,9% entre o 1º e 3º estágio, no 3º e 4º estágio a concentração aumentou de 60,9 para apenas 64,0%.

O efeito do número de estágios utilizados a diferentes pressões, na variação porcentual da concentração de sólidos em suspensão do produto clarificado e concentrado, pode ser visualizado na Figura 14. Os valores apresentados no gráfico A desta figura correspondem ao porcentual de redução da concentração de sólidos em suspensão em cada estágio, em relação à concentração inicial, na etapa de clarificação. Por outro lado, as curvas B desta figura mostram o porcentual de aumento da concentração de sólidos em suspensão nos diferentes estágios da etapa de concentração, também em relação à concentração inicial. Os resultados mostram que na etapa de clarificação, gráfico A, foi possível diminuir sensivelmente a concentração de sólidos. Comparando as diferentes pressões de trabalho utilizadas, observou-se que a  $4 \text{ kg/cm}^2$ , a redução de sólidos em suspensão no 1º estágio foi da ordem de 70%, sendo que no 4º estágio esta redução aumentou para 85.2%.

Na etapa de concentração, curvas B da Figura 14, observou-se que o teor de sólidos em suspensão aumentou drasticamente ao passar pelos diferentes estágios. Assim, constatou-se também que a  $4 \text{ kg/cm}^2$  o incremento da concentração inicial de sólidos foi de 66% já no 1º estágio, atingindo 190% em relação à concentração inicial, no 4º estágio. Os resultados da Figura 14 mos

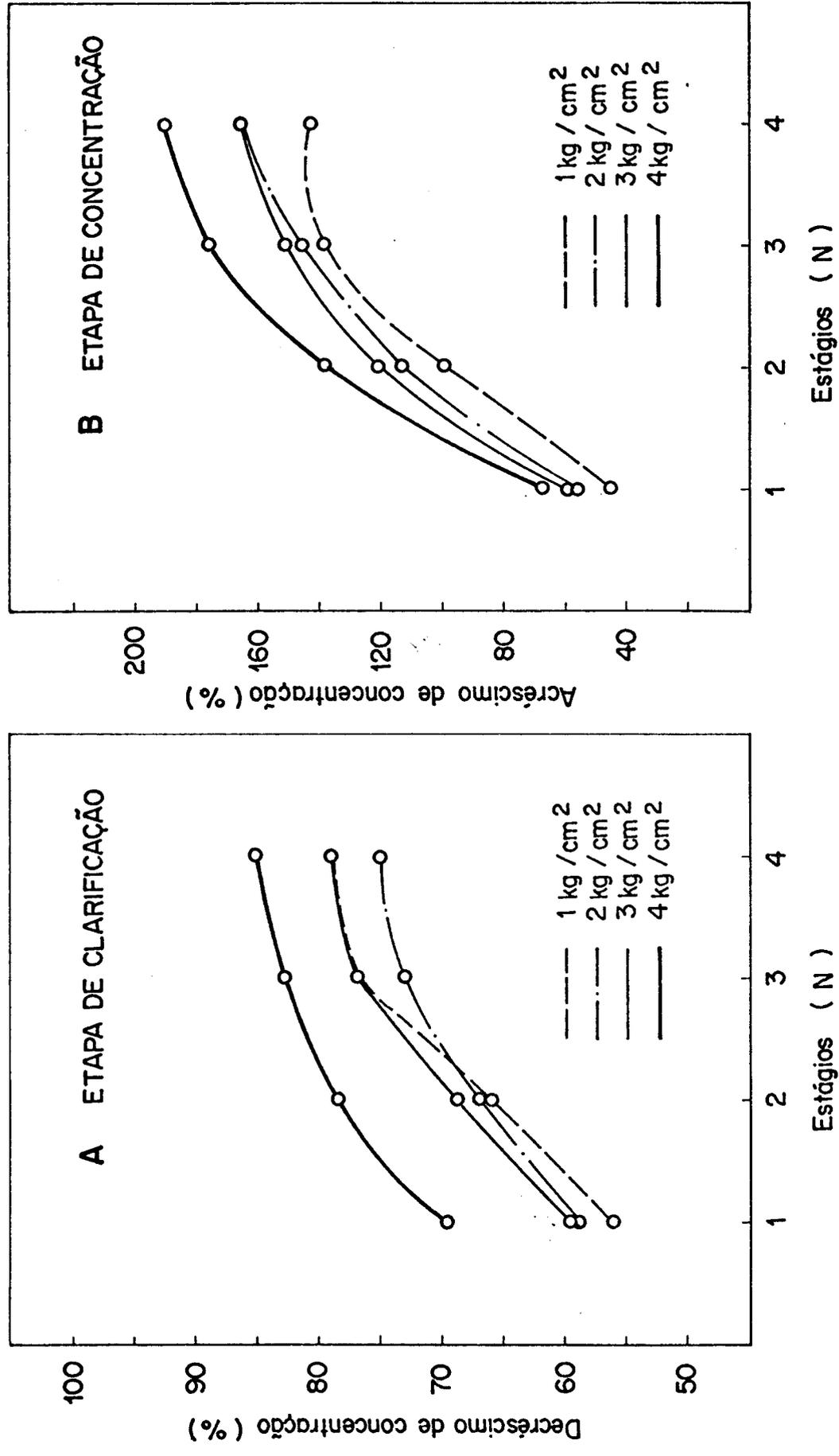


Fig. 14 Efeito do número de estágios na variação percentual da concentração obtida a diferentes pressões, nas etapas de clarificação e concentração.

tram que todas as pressões testadas foram efetivas na separação de partículas, porém a pressão  $4 \text{ kg/cm}^2$  mostrou ser a mais eficiente no processo de separação.

A eficiência de separação (E) para a etapa de clarificação e concentração em relação ao número de estágios, está ilustrada na Figura 15, gráficos A e B, respectivamente. A eficiência de separação diminuiu notavelmente com o aumento do número de estágios, atingindo valores de eficiência menores de 0,1 no 4º estágio, tanto na etapa de clarificação como na de concentração. A maior queda da eficiência entre os estágios foi produzida na etapa de clarificação, observando-se no gráfico A da Figura 15 uma diminuição de 62,8% entre o 1º e 2º estágio a  $4 \text{ kg/cm}^2$ . Na etapa de concentração, gráfico B, os testes realizados indicaram também uma queda considerável da eficiência em todas as pressões estudadas, porém esta redução da eficiência entre os estágios foi mais gradual que no caso da etapa de clarificação.

As curvas de eficiência de separação em função da concentração de sólidos em suspensão para as diferentes pressões estão apresentadas na Figura 16. O teor de sólidos em suspensão na alimentação afetou enérgicamente o desempenho dos hidrociclones, confirmando o reportado por FITCH e JOHNSON, 1952 e TRAWINSKY, 1970. Em todas as pressões estudadas, as melhores eficiências foram conseguidas na faixa de 20 a 30% de sólidos em suspensão. Fora desta faixa de concentração a eficiência caiu drásticamente atingindo valores inferiores a 0,1 para concentrações menores que 5,5% e superiores a 56%. Estes resultados também confirmaram que as maiores eficiências de separação em relação ao teor de sólidos da alimentação, foram obtidas com pressões de  $4 \text{ kg/cm}^2$ .

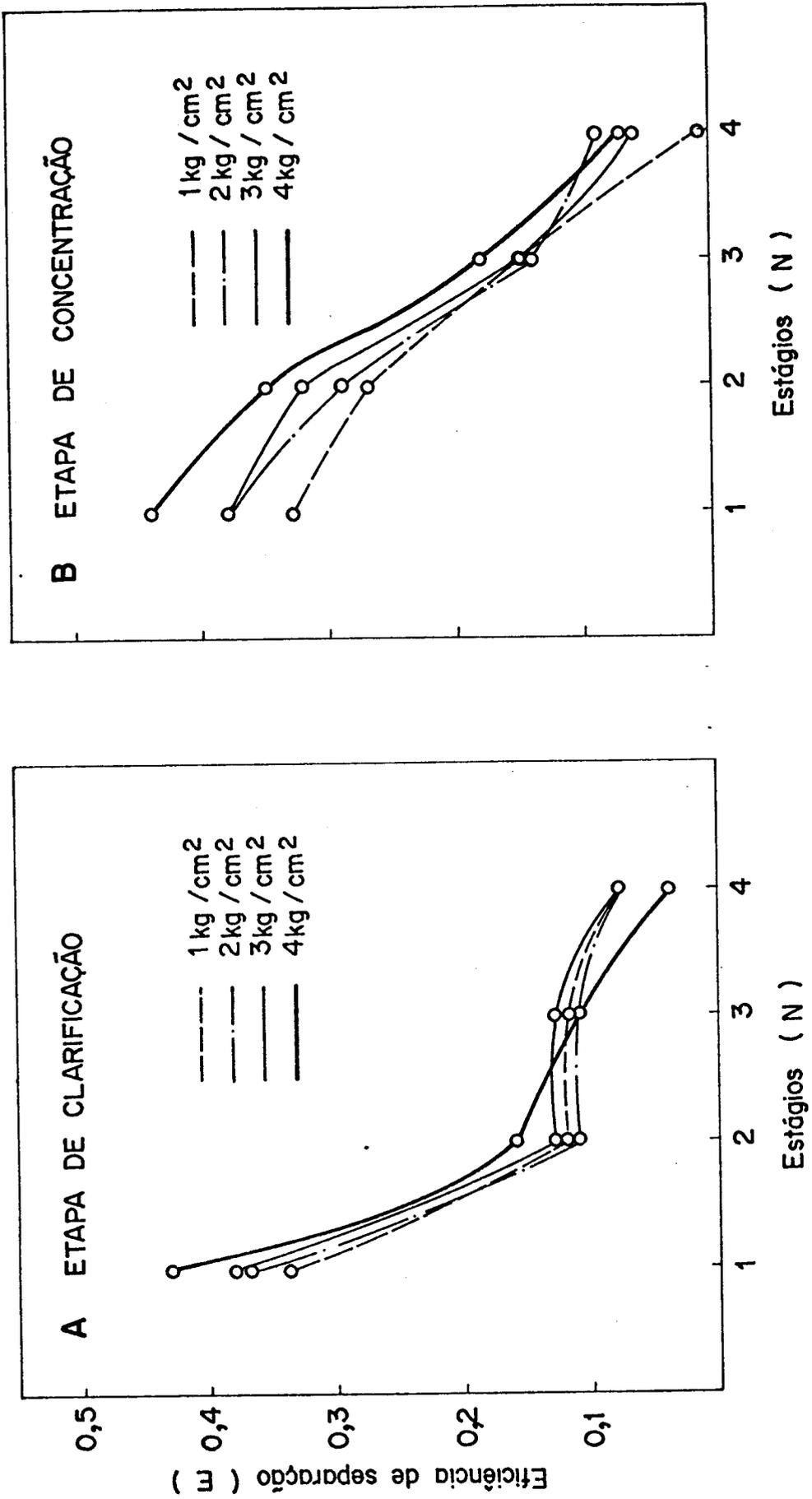


Fig. 15 Efeito da pressão na eficiência de separação em relação ao número de estágios, nas etapas de clarificação e concentração.

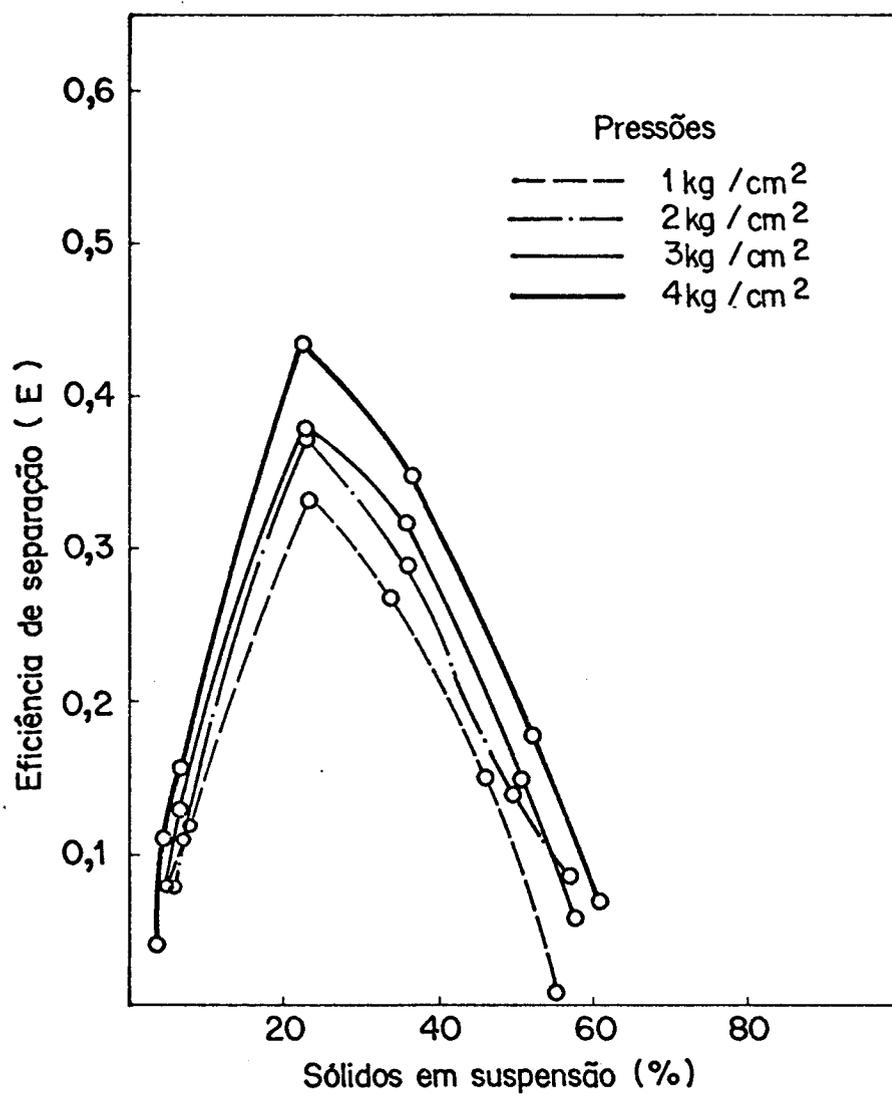


Fig. 16

Efeito dos sólidos em suspensão da alimentação na eficiência de separação a diferentes pressões.

Os ensaios do item 1.3., até agora analisados permitiram visualizar que o aumento de pressão provocou uma maior eficiência nos hidrociclones, obtendo-se a melhor separação com 4 kg/cm<sup>2</sup>. Por outro lado verificou-se que em ambas etapas, clarificação e concentração, ocorreu uma queda do desempenho destes aparelhos quando foi aumentado o número de estágios, principalmente após o 3º estágio. No caso da clarificação esta queda pode ter sido causada pelo pequeno tamanho das partículas que conseguiram chegar no 3º e 4º estágio, com densidades próximas da água, dificultando sua separação, apesar das elevadas forças centrífugas produzidas por estes aparelhos. Por outro lado, na etapa de concentração, observou-se que o teor de sólidos em suspensão influenciou notoriamente o desempenho dos hidrociclones, confirmando o reportado por FITCH e JOHNSON, 1952; que comentam que as altas concentrações de sólidos provocam uma interação entre as partículas, dificultando a decantação. TRAWINSKY, 1970, também observou que a saída inferior dos hidrociclones suporta um grau limitado de concentração durante o processo de separação.

Na Figura 13, constatou-se que o teor de sólidos na etapa de concentração aumentou gradualmente até o 3º estágio, diminuindo significativamente após o mesmo, devido provavelmente ao alto teor de sólidos atingido já no 3º estágio, que alcançou um nível superior a 60% quando foi utilizada pressão de 4 kg/cm<sup>2</sup>. Na Figura 15, confirma-se também a influência da pressão e nº de estágios na eficiência de separação. As maiores eficiências, tanto na etapa de clarificação como na da concentração, foram obtidas com 4 kg/cm<sup>2</sup> de pressão. Quanto à eficiência obtida nos diferentes estágios, foi observado que no 2º estágio da clarificação, gráfico A, houve uma queda violenta da eficiência, seguramente por causa da baixa concentração já atingida após o 1º estágio, 6,7% (Figura 13).

Em relação aos testes em que foi determinada a eficiência de separação, em função da concentração de sólidos em suspensão a diferentes pressões (Figura 16), verificou-se a importância que apresenta o teor de sólidos da alimentação na utilização de hidrociclones para separação de partículas. Comprovou-se em nesses ensaios que para a suspensão aquosa de farinha de soja (1:15), existe um teor ótimo de partículas na alimentação que foi confirmado em todos os testes realizados. Fora desta faixa ótima o comportamento das partículas dentro do hidrociclone, tanto nas baixas como nas altas concentrações tornou-se crítico, dificultando sensivelmente o fenômeno de separação.

Com base nos dados obtidos foi selecionada a pressão de  $4 \text{ kg/cm}^2$  para a realização dos testes posteriores deste trabalho.

#### 1.4. Efeito do Tamanho de Partícula, Sólidos em Suspensão e Número de Estágios na Eficiência de Separação de Partículas.

As variações do teor de sólidos em suspensão obtidas nas etapas de clarificação e concentração em 4 estágios,  $4 \text{ kg/cm}^2$  de pressão e com diferentes tamanhos de partículas, estão apresentadas na Figura 17. Verifica-se nesta figura que em todas as faixas de tamanho de partículas testadas houve um drástico aumento do teor de sólidos em suspensão nos primeiros estágios da etapa de concentração, como também uma considerável redução dos sólidos no 1º estágio da etapa de clarificação. Assim, a maior concentração foi obtida com uma faixa de tamanho de partículas entre 149 e  $210 \mu\text{m}$ , atingindo-se 72,3% de sólidos em suspensão com 4 estágios, enquanto que o teor de sólidos do produto clarificado obtido com

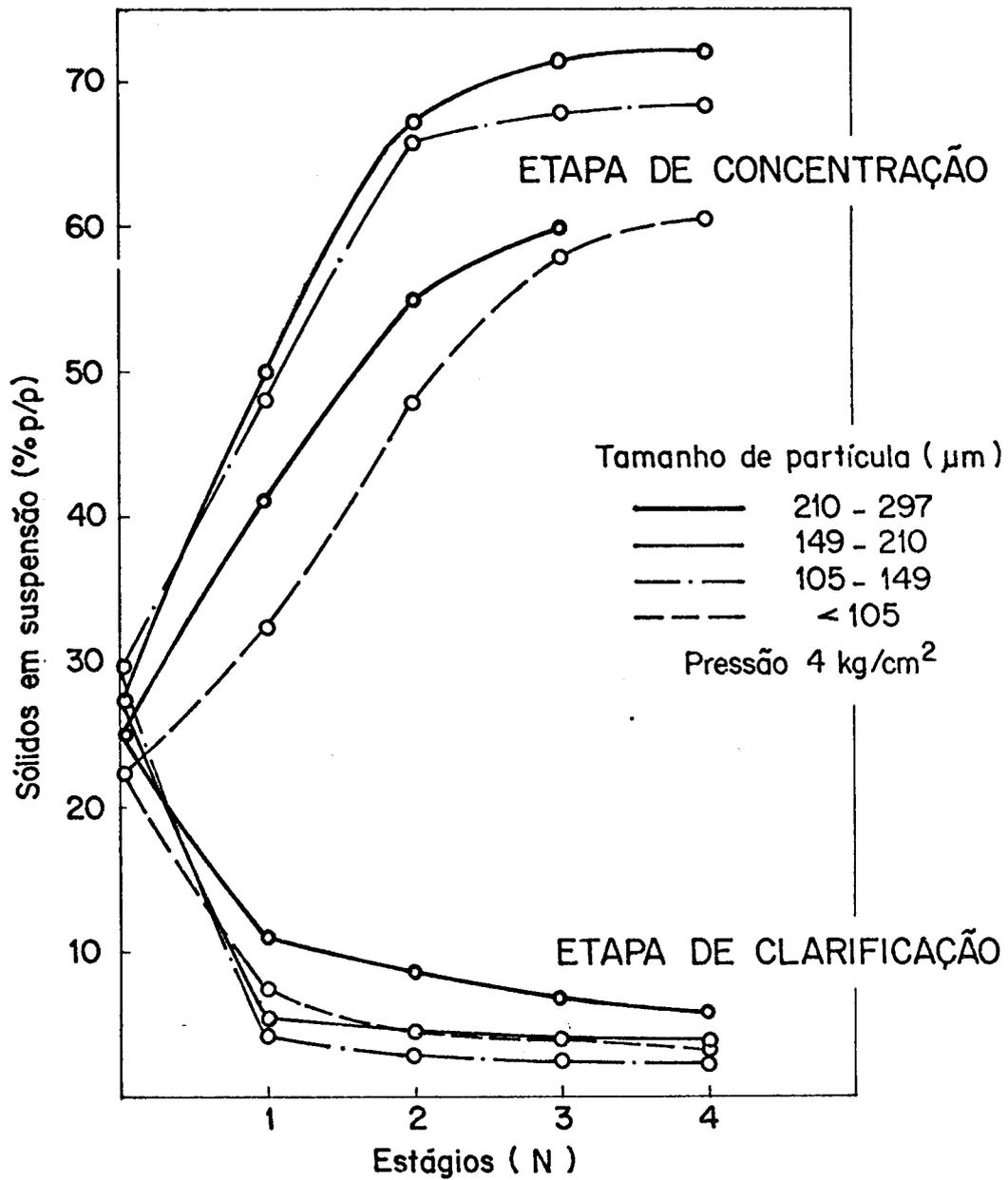


Fig. 17

Teor de sólidos em suspensão obtidos com diferentes tamanhos de partículas e em cada estágio de clarificação e concentração.

esta faixa de partículas e com 4 estágios foi de 4,2%. Com a mesma suspensão foi conseguido 71,6% no produto concentrado e 4,3% no clarificado com 3 estágios, destacando neste caso, a diminuição do volume do produto concentrado e clarificado em aproximadamente 45-50% com o aumento de um estágio, devido às características próprias do hidrociclone. Com partículas entre 105 e 149  $\mu\text{m}$  foi possível obter com 4 estágios uma concentração de 68,8% no produto concentrado e 2,5% no produto clarificado. O maior tamanho de partícula utilizado, 210-297  $\mu\text{m}$ , apresentou sérias dificuldades de escoamento quando o produto atingiu 60% de sólidos em suspensão, não permitindo a passagem para o 4º estágio. Esta figura mostra que as diferenças do teor de sólidos, tanto na concentração como clarificação, entre o 3º e o 4º estágio foram mínimas. Com partículas de 149 a 210  $\mu\text{m}$ , que apresentaram a melhor concentração, a diferença entre o teor de sólidos no 3º e 4º estágio, tanto na etapa de clarificação como de concentração foi pouco significativa. Os dados indicaram que a inclusão de um estágio não aportou vantagens no processamento.

As variações percentuais do teor de sólidos em suspensão entre um estágio e outro estão ilustradas na Figura 18. Observa-se que com todas as faixas de partículas houve um aumento no percentual de decréscimo na etapa de clarificação (gráfico A) e um acréscimo na etapa de concentração (gráfico B), sendo estas mais marcantes nos primeiros estágios. Na etapa de clarificação, gráfico A, a faixa de partículas de 105 a 149  $\mu\text{m}$  apresentou maior percentual de clarificação, atingindo um decréscimo do teor de sólidos de 90,4 e 91,7% no 3º e 4º estágio respectivamente. A suspensão preparada com partículas de 149 a 210  $\mu\text{m}$  atingiu valores de decréscimo de sólidos de 84,3 e 84,6% no 3º e 4º estágios, respectivamente. Suspensões preparadas com partículas maiores,

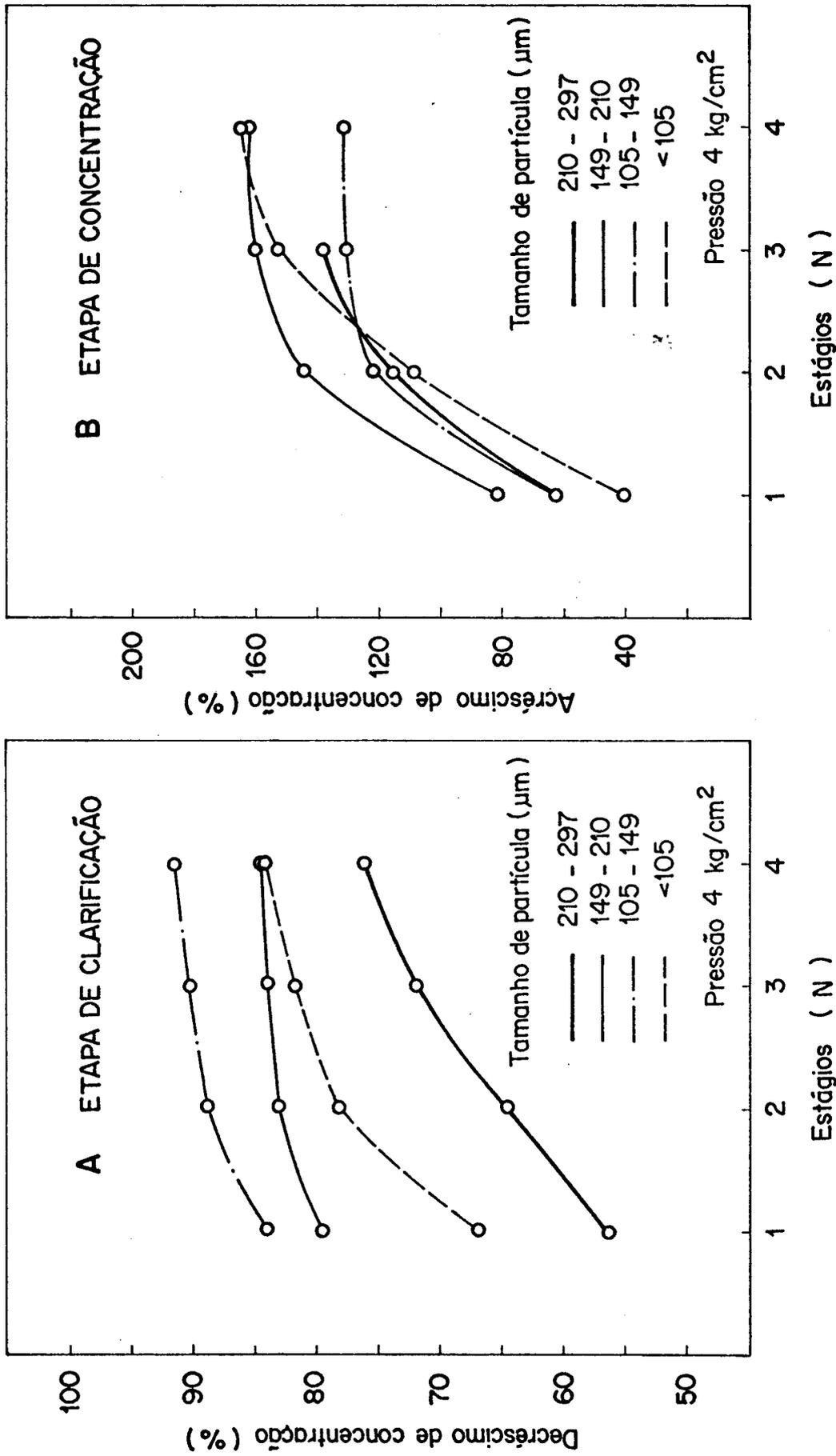


Fig. 18 Efeito do número de estágios na variação percentual da concentração obtida com diferentes tamanhos de partículas, nas etapas de clarificação e concentração.

especialmente na faixa compreendida entre 210 - 297  $\mu\text{m}$ , apresentaram percentuais menores de decréscimo de teor de sólidos, 72,1% para 3 estágios e 76,2% para 4 estágios. O gráfico B desta figura mostra que os maiores acréscimos do teor de sólidos corresponderam às faixas de partículas menores que 105  $\mu\text{m}$  e às compreendidas entre 149 a 210  $\mu\text{m}$ . Esta última apresentou aumento de concentração de 160,8% e 163,4% com 3 e 4 estágios respectivamente. As partículas menores de 105  $\mu\text{m}$  atingiram no 4º estágio um elevado percentual de acréscimo da concentração, próximo da faixa de 149 a 210  $\mu\text{m}$ , mas este valor pode ser atribuído à menor concentração inicial da suspensão feita com partículas menores de 105  $\mu\text{m}$ . As outras faixas de tamanho de partículas, 105 - 149  $\mu\text{m}$  e 210 - 297  $\mu\text{m}$ , apresentaram menores incrementos de concentração nos últimos estágios.

O efeito do número de estágios para diferentes tamanhos de partículas na eficiência de separação (E), durante a clarificação e concentração está mostrado na Figura 19. As curvas apresentam uma queda marcante da eficiência na medida em que aumentou o número de estágios em todos os tamanhos de partículas testados, atingindo valores muito baixos no 4º estágio, tanto na etapa de clarificação, gráfico A, como na de concentração, gráfico B. De acordo com estes resultados as melhores eficiências na etapa de clarificação foram conseguidas com suspensões preparadas com partículas compreendidas entre 105 e 149  $\mu\text{m}$  e 149 e 210  $\mu\text{m}$ , as quais apresentaram uma boa eficiência no 1º estágio, porém todas as faixas de tamanho tiveram sua eficiência reduzida drasticamente nos estágios seguintes. Na etapa de concentração, gráfico B, a faixa de 149 a 210  $\mu\text{m}$  apresentou maior eficiência no 1º estágio, entretanto, teve uma queda drástica nos estágios seguintes, atingindo no 4º estágio um valor de 0,02. O comportamento mais regular quanto à eficiên-

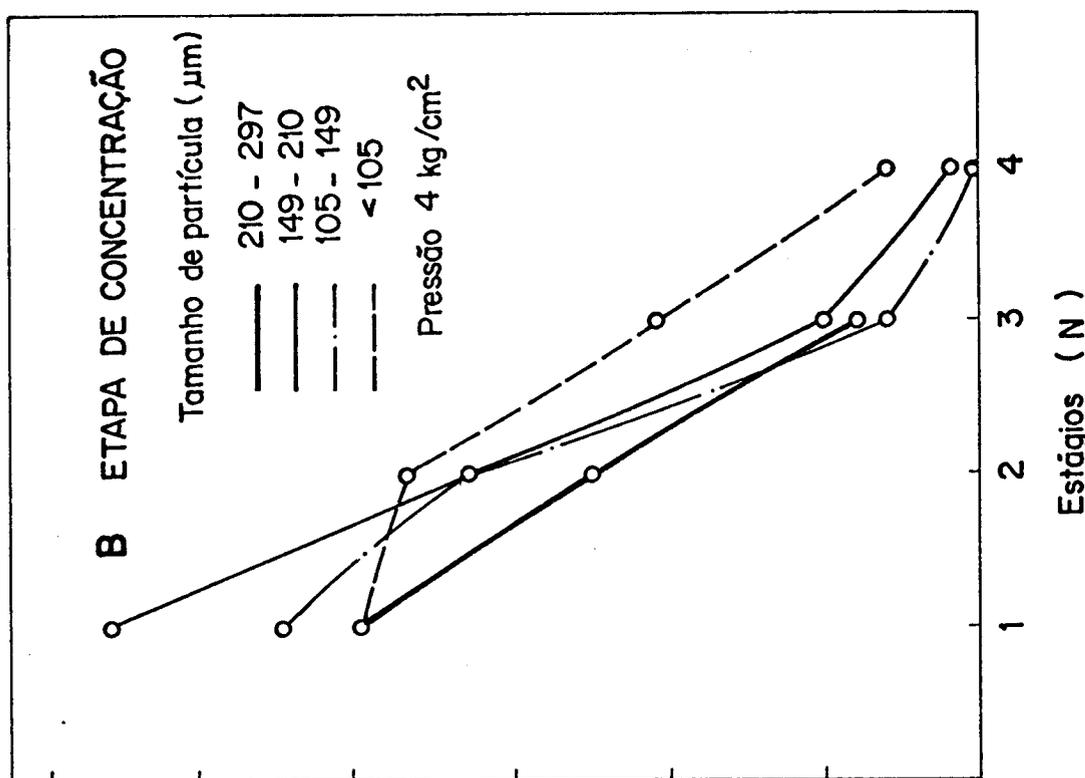
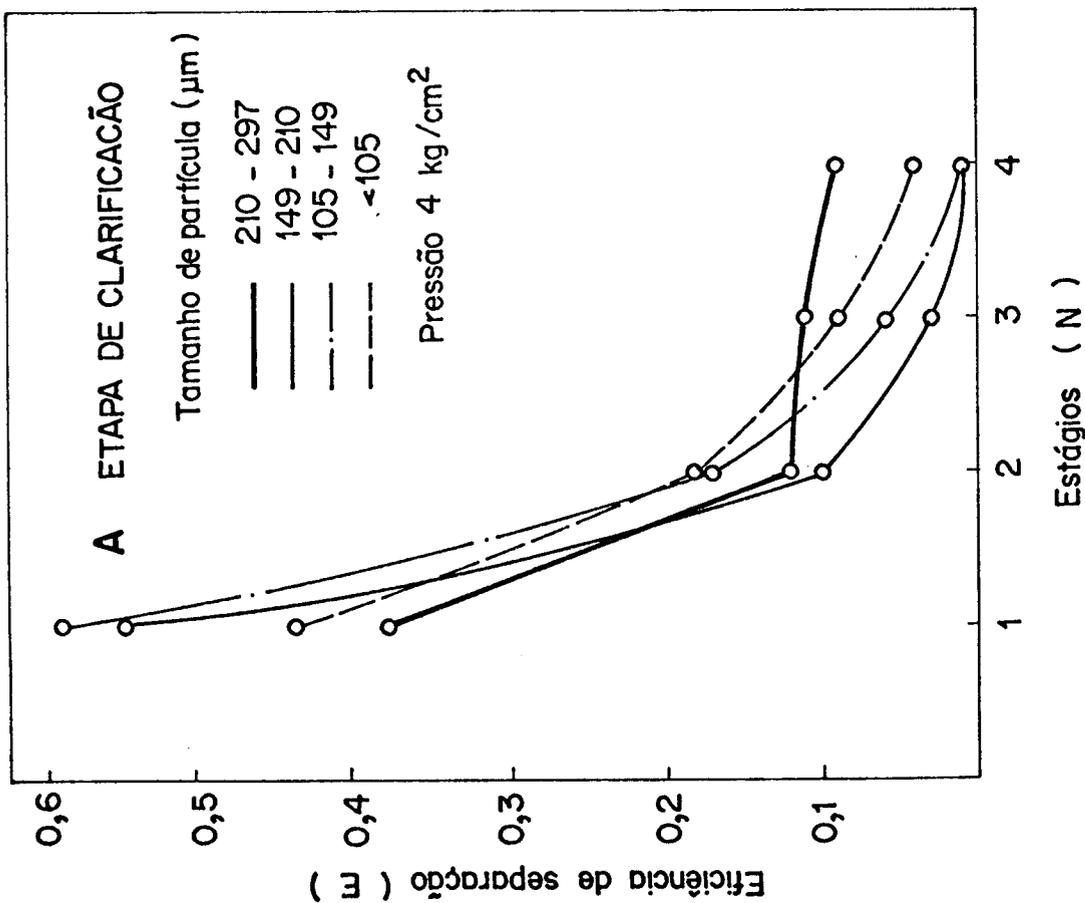


Fig. 19 Efeito do tamanho de partícula na eficiência de separação em relação ao número de estágios, nas etapas de clarificação e concentração.

cia na etapa de concentração, foi obtido com suspensão de partículas menores que 105  $\mu\text{m}$ , que apresentaram uma queda da eficiência mais gradual até 0,21 e 0,06 com 3 e 4 estágios, respectivamente.

A Figura 20 ilustra as curvas de eficiência de separação em função do teor de sólidos e com os diferentes tamanhos de partículas estudadas. As maiores eficiências foram conseguidas com os tamanhos de partículas de 149 - 210  $\mu\text{m}$  e 105 - 149  $\mu\text{m}$  e na faixa de concentração de 20 a 30% de sólidos em suspensão. Abaixo de 15% e acima de 50% de sólidos na alimentação, a eficiência caiu consideravelmente. Estes resultados confirmaram que suspensões preparadas com partículas entre 149 a 210  $\mu\text{m}$  foram separadas com maior eficiência, entretanto, é possível que outros fatores, além do tamanho de partículas, tenham influenciado a eficiência de separação. Sabe-se por exemplo que as proteínas vegetais quando em suspensão aquosa a pH ácido adquirem uma acentuada plasticidade, fenômeno que poderia ter contribuído para a menor eficiência de separação das partículas abaixo do 105  $\mu\text{m}$  as quais contém maior teor de proteína. No Quadro 9 estão apresentados os percentuais de proteínas dos concentrados obtidos com os diferentes tamanhos de partículas estudados. Através dos dados pode-se verificar que o teor protéico dos concentrados aumentou na medida que a granulometria diminuiu, devido provavelmente ao maior conteúdo de fibras das frações de granulometria maior.

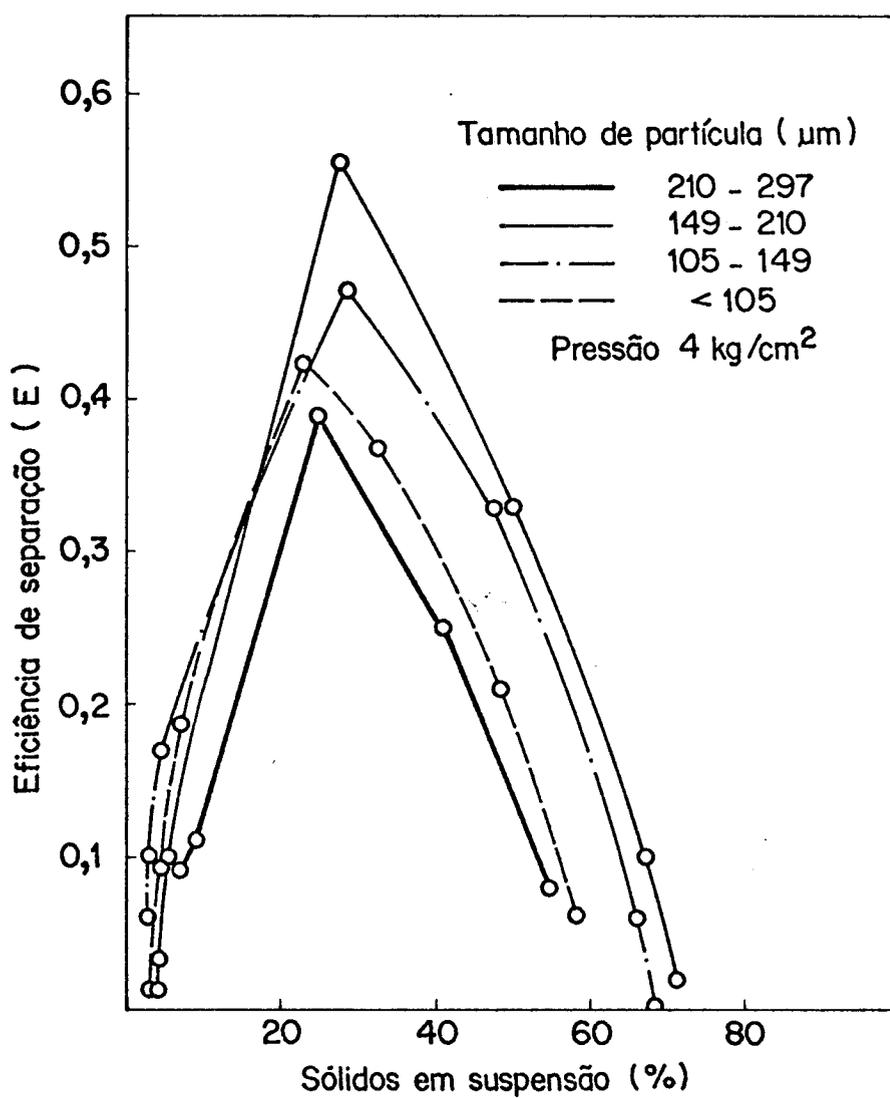


Fig. 20

Efeito dos sólidos em suspensão da alimentação na eficiência de separação com diferentes tamanhos de partículas.

QUADRO 9 - Teor de proteína dos concentrados obtidos com os diferentes tamanhos de partículas.

Tamanho de partícula (µm)	Proteína (%)
210-297	69,92
149-210	71,42
105-149	72,40
< 105	73,15

#### 1.5. Determinação do desempenho dos Hidrociclones na Separação da Proteína Isoelétrica durante o Processamento de Concentrado Protéico

A eficiência dos hidrociclones na separação da proteína isoelétrica foi investigada nas melhores condições operacionais determinadas anteriormente ou seja: pressão de 4 kg/cm<sup>2</sup>, 3 estágios e tamanho de partículas inferiores a 195 µm. Na seleção deste último parâmetro foi considerado além dos dados obtidos no item 1.4, as disponibilidades de equipamentos existentes para classificação de partículas.

O Quadro 10 apresenta os teores de sólidos totais e de proteína, obtidos nos diferentes estágios das etapas de clarificação e concentração. O teor de sólidos totais no 3º estágio da etapa de clarificação diminuiu em 47,1% em relação à concen

tração inicial enquanto que o decréscimo de concentração de proteína na etapa de clarificação foi de 70,0% no mesmo estágio. Na etapa de concentração foi observado um aumento de 96,1% de sólidos totais e 127,2% da proteína em relação à concentração inicial.

A recuperação de proteína obtida em relação à proteína inicial da alimentação foi de 30,5% na etapa de concentração, enquanto que as perdas de proteína na etapa de clarificação foram de 3,6% quando se trabalhou com 3 estágios. Em ambos casos o cálculo foi efetuado após uma única passagem pelas etapas de clarificação ou concentração, sem considerar as frações das saídas inferiores (under flow), no caso da clarificação e saídas superiores (over flow), na concentração, as que em um processo contínuo voltariam para estágios anteriores à fim de aumentar os rendimentos do processo.

QUADRO 10 - Teores de proteína e sólidos totais obtidos em 3 estágios e a  $4 \text{ kg/cm}^2$  de pressão.

Estágio nº	E T A P A			
	Clarificação		Concentração	
	Sólidos Totais %	Proteína %	Sólidos Totais %	Proteína %
1	3,45	1,32	6,62	3,58
2	3,10	0,89	8,23	4,33
3	2,87	0,77	10,65	5,84

Composição da suspensão inicial:

Sólidos totais: 5,43%

Proteína : 2,57%

Recuperação de proteína na etapa de concentração: 30,5%\*

Perdas de proteína na etapa de clarificação: 3,6%\*

\* Porcentual obtido em relação à proteína inicial.

## 1.6. Uso de Sais no Processo de Separação

### 1.6.1. Curvas de Solubilidade (INS) em função do pH, utilizando $\text{CaCl}_2$ , $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ e $\text{NaCl}$ .

O efeito dos sais estudados,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  e  $\text{NaCl}$  a diferentes pH e concentração salina de 500 e 1500 ppm está ilustrado nas curvas de solubilidade A e B respectivamente, apresentadas na Figura 21. A partir dos dados do gráfico A foi possível observar que essa concentração salina (500 ppm) não apresentou grandes diferenças na solubilidade das proteínas nos diferentes pH estudados, especialmente o  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  e  $\text{NaCl}$ . As curvas de solubilidade obtidas foram semelhantes a aquela encontrada na literatura SMITH & CIRCLE, 1938 (segundo WOLF & COWAN, 1975). Por outro lado foram encontradas pequenas diferenças na faixa do ponto isoelétrico (pH 4-5) entre as proteínas precipitadas na presença de sal e a padrão (sem sal).

No pH 4,5 (que é normalmente utilizado para a precipitação isoelétrica durante a obtenção de concentrados e isolados protéicos de soja) ocorreu um aumento de 6,4% na solubilidade em relação ao padrão, quando utilizado 500 ppm de  $\text{NaCl}$ . Nesse pH e concentração de sal a solubilidade com  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  e  $\text{CaCl}_2$  diminuiu em 13,0% e 3,2%, respectivamente, em relação ao padrão. A pH 9,5 (no qual é feita normalmente a extração alcalina da proteína) foram observadas também diferenças nos percentuais de solubilidade com 500 ppm de sal, verificando-se um acréscimo de 0,2; 2,5 e 10,0% quando foi adicionado  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$  e  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , respectivamente.

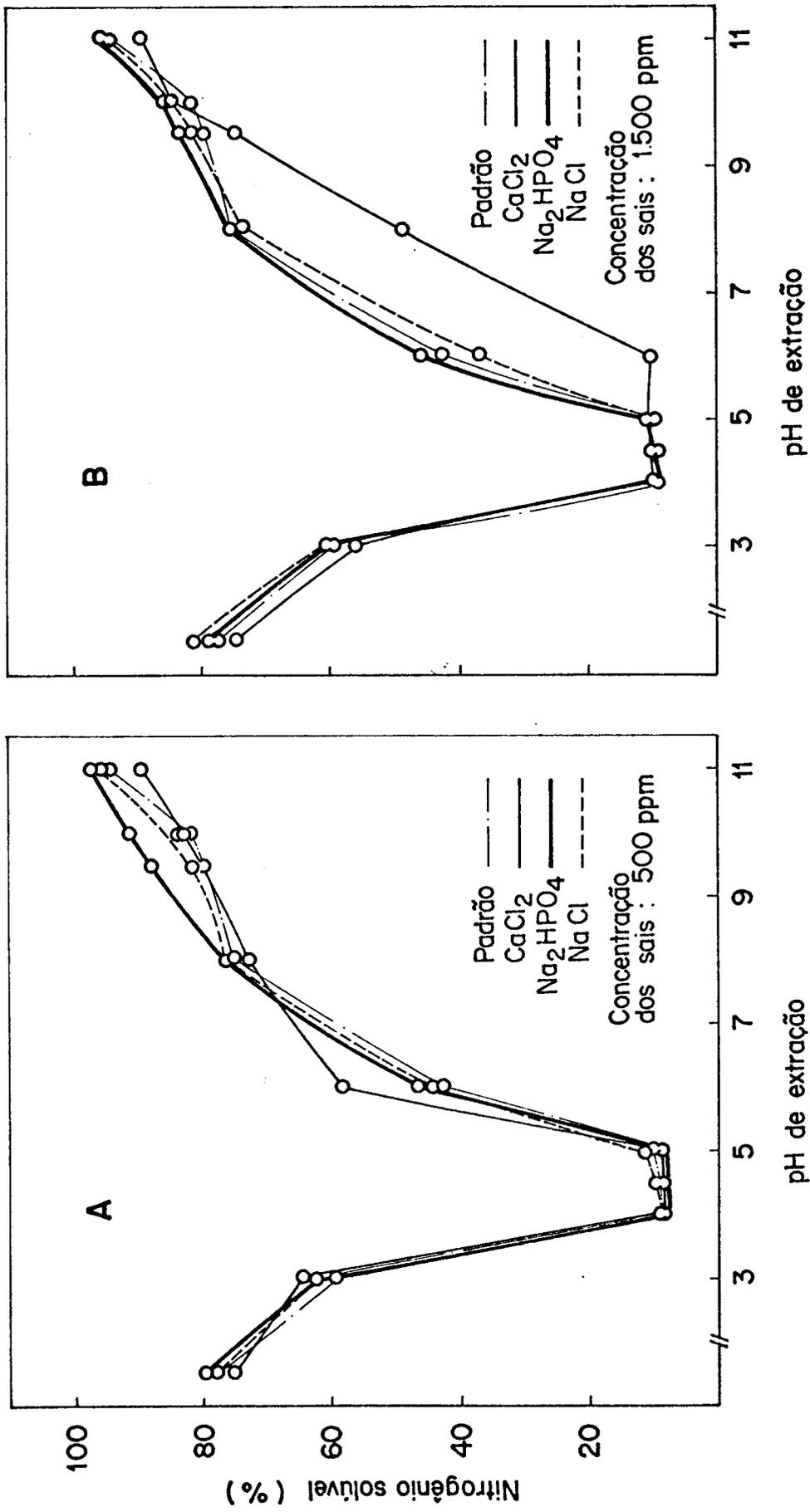


Fig. 21 Efeito do CaCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> e NaCl em concentrações de 500 e 1500 ppm, na solubilidade do nitrogênio da farinha desengordurada de soja em função do pH de extração.

Nas curvas do gráfico B da Figura 21 que mostram a solubilidade da proteína de soja com adição de 1500 ppm dos sais estudados foi observada uma diferença maior na presença de  $\text{CaCl}_2$  em relação à amostra padrão, embora o ponto isoelétrico não tenha sido alterado com a adição dos sais. A solubilidade a pH 4,5 na presença de  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{NaCl}$  aumentou em 6,4 e 9,6% respectivamente. O  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  não apresentou, nestas condições, diferença em relação à amostra padrão. A pH 9,5 a solubilidade da proteína diminuiu em 6,2% na presença de 1500 ppm de  $\text{CaCl}_2$  enquanto que esta aumentou em 2,5 e 5,0% quando foi adicionado  $\text{NaCl}$  e  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , respectivamente. Esses resultados mostraram que a adição dos sais, com exceção do  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  em concentração de 1500 ppm, poderia provocar algumas variações de rendimentos no processamento de concentrado proteico de soja se adicionados durante a precipitação ácida da proteína. Entretanto, para evitar variações de solubilidade durante a extração alcalina no processamento de isolado proteico, os sais foram acrescentados na fase de precipitação ácida nos ensaios posteriores deste trabalho.

1.6.2. Precipitação Isoelétrica da Proteína de Soja usando Sais em diferentes Concentrações durante o Processamento de Concentrado e Isolado Protéico em Laboratório

Considerando a manutenção da faixa do ponto isoelétrico na presença de sais e a influência desses compostos na solubili

dade, foram realizados estudos de recuperação de proteína a nível de laboratório e por métodos convencionais de separação da proteína (centrifugação) durante o processamento de concentrado e isolado proteico, em uma faixa de concentração mais ampla destes sais.

Os resultados da Figura 22 mostram que o aumento na concentração dos sais, tanto no processamento de concentrado como de isolado proteico, curvas A e B, foi acompanhado por um decréscimo no rendimento de recuperação de proteína, atingindo o ponto de menor rendimento com 2000 ou 1800 ppm desses sais. Observa-se que com adição de  $\text{CaCl}_2$  os decréscimos de rendimento foram mais acentuados em ambos casos, obtenção de concentrado e isolado proteico. Deve-se destacar que com os três sais estudados foram obtidas recuperações de proteína no processamento de concentrado proteico acima de 91% e acima de 88,5% na obtenção de isolado proteico, inclusive com 2000 ppm de sal. Como pode ser observado nesta figura, os decréscimos de recuperação no processo de obtenção de concentrado e isolado proteico não são muitos significativos quando comparados com a recuperação de proteína da amostra padrão que apresentou 93,7 e 90,1% respectivamente.

### 1.6.3. Processamento de Concentrado Proteico de Soja, utilizando Hidrociclones para a separação das Partículas Proteicas na presença de $\text{CaCl}_2$ e $\text{Na}_2\text{HPO}_4$

Os resultados apresentados no item 1.6.2., mostraram que a presença de sais em baixas concentrações aumentou levemente a solubilidade das proteínas em pH 4,5 em relação à amostra padrão. Entretanto esperava-se que na presença destes sais o material proteico apresentaria características apropriadas para a separação

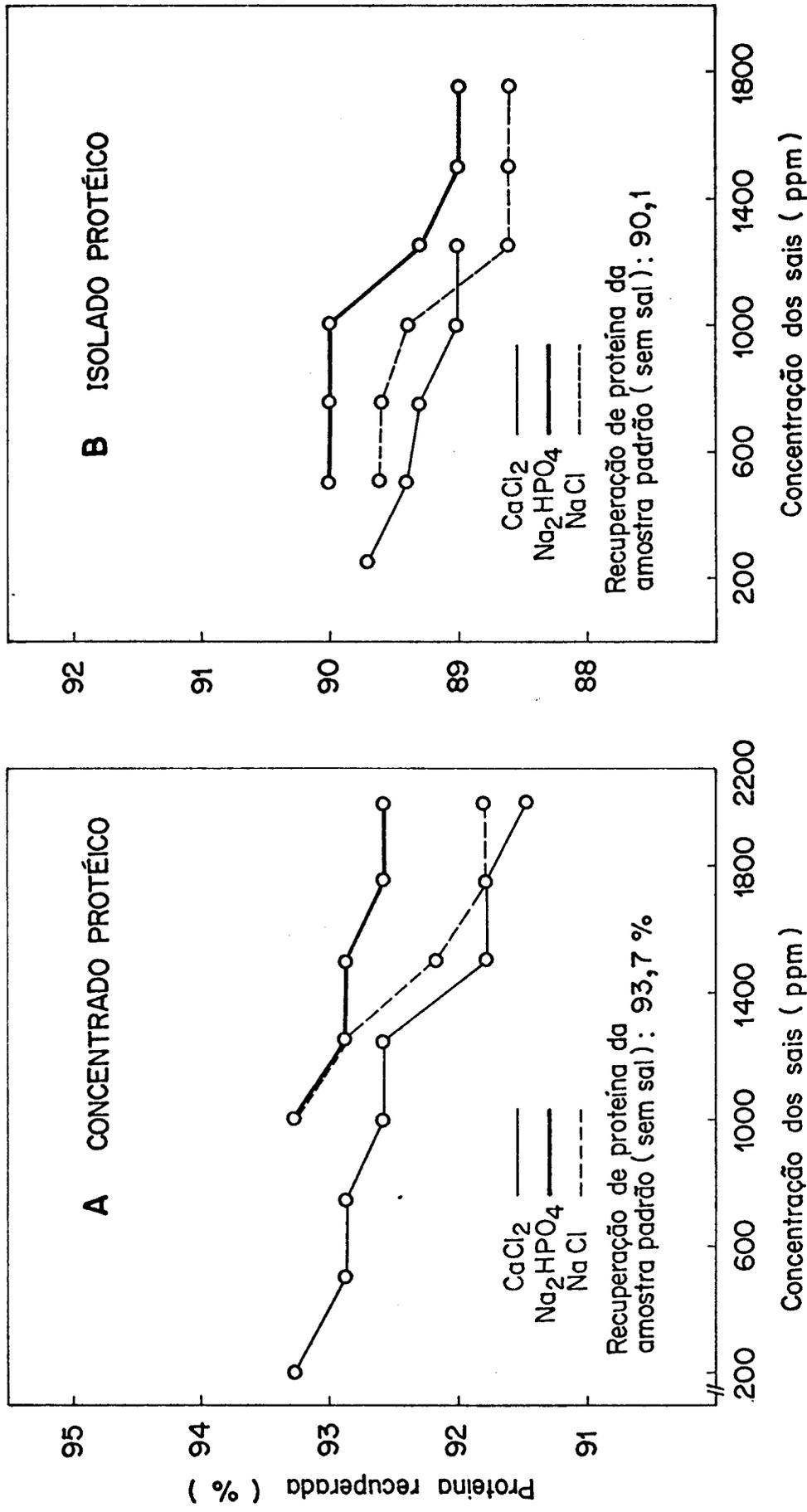


Fig. 22 Recuperação de proteína após precipitação isoelétrica com diferentes concentrações de CaCl<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> e NaCl, no processamento de concentrado e isolado protéico em laboratório.

por hidrociclones. LU e cols., 1980, afirmaram que o efeito do íon cálcio na proteína de soja não está esclarecido, no entanto estes autores afirmaram que esse elemento promove a formação de um coágulo duro de proteína durante a fabricação do queijo de soja (Tofu). Esta propriedade do cálcio foi aproveitada na tentativa de aumentar a recuperação da proteína com hidrociclones. A escolha do teor de  $\text{CaCl}_2$  foi feita considerando a concentração do sal que possivelmente causou mudanças nas características da proteína sem aumentar significativamente a solubilidade desta a pH 4,5. Assim ademais de  $\text{CaCl}_2$  foi testado o  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  em concentrações de 500 e 1500 ppm. Nas duas concentrações esperava-se que a perda de proteína pelo aumento da solubilidade devido ao sal, fosse compensada por uma maior recuperação proteica durante a separação por hidrociclones.

O Quadro 11 mostra a quantidade de proteína recuperada após uma passagem pelos hidrociclones em relação ao teor protéico de suspensão inicial no processo de obtenção do concentrado protéico. As quantidades de proteína recuperadas na presença de  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  a 500 e 1500 ppm, foram maiores que aquela apresentada pela solução padrão (sem sal). Observa-se que 500 ppm de  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  produziram um aumento no rendimento da extração de 25,7% e 7,7% respectivamente em relação à amostra padrão. Estes resultados mostraram que tanto o  $\text{CaCl}_2$  como o  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  nessa concentração modificaram as características das proteínas possibilitando uma melhor separação no hidrociclone. Com 1500 ppm de  $\text{CaCl}_2$  houve também um aumento do rendimento corresponde a 14,2% enquanto que com  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  nessa concentração, não foram encontradas diferenças, em relação a amostra padrão.

As concentrações de proteína obtidas após uma passagem pelos hidrociclones na etapa de clarificação e concentração

QUADRO 11 - Recuperação e perdas de proteína nas etapas de concentração e clarificação, utilizando  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , no processo de obtenção de concentrado proteico.

	Concentração de sal			
	( 500 ppm )		( 1500 ppm )	
	Concentração	Clarificação	Concentração	Clarificação
	Proteína recuperada %	Proteína perdida %	Proteína recuperada %	Proteína perdida %
$\text{CaCl}_2$	32,78	3,40	29,81	3,58
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	28,11	3,83	26,25	3,62

Padrão, sem sal. Proteína recuperada: 26,10%

Proteína perdida : 4,16%

QUADRO 12. Teor proteico e variações percentuais obtidas nas etapas de clarificação e concentração, utilizando diferentes sais no processamento de concentrado proteico.

A M O S T R A	Teor de Pro-	Teor de Pro-	Teor de Pro-	Decréscimo da	Incremento da
	teína Inicial	teína Produ- to clarifica- do	teína Produ- to concentra- do	proteína pro- duto clarifi- cado	proteína pro- duto concen- trado
	%	%	%	%	%
sem sal (padrão)	3,3	1,2	6,4	64,4	97,5
com 500 ppm CaCl <sub>2</sub>	3,3	0,9	7,4	70,9	126,1
com 500 ppm Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	3,2	1,1	7,0	67,0	114,8
com 1500 ppm CaCl <sub>2</sub>	3,2	1,0	7,0	68,9	116,8
com 1500 ppm Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	3,2	1,0	6,5	67,4	102,5

com os sais estudados estão no Quadro 12. Pode-se observar que com 500 ppm do  $\text{CaCl}_2$  na etapa de concentração foi obtida a máxima concentração, de 7,4% de proteína, equivalente a um acréscimo com respeito a amostra padrão de 14,4%. Por outro lado, na etapa de clarificação o mesmo sal em igual concentração apresentou um teor de proteína do produto clarificado de 0,9%, obtendo-se assim um decréscimo em relação ao padrão de 18,1%.

Em relação à variação percentual da concentração inicial das suspensões, observa-se no Quadro 12 que houve um aumento desse percentual com todos os sais estudados, sendo que o maior percentual de acréscimo, na etapa de concentração, foi obtido com 500 ppm de  $\text{CaCl}_2$ , atingindo-se 126,1%. Igual fenômeno foi produzido na etapa de clarificação, onde sempre que foi utilizado esse sal aumentou o percentual de decréscimo, sendo também nesta oportunidade o  $\text{CaCl}_2$  o mais eficiente, apresentando 70,9% de decréscimo.

#### 1.6.4. Processamento de Isolado Protéico, utilizando Hidrociclonas para a separação das Partículas Protéicas na presença de $\text{CaCl}_2$ .

O estudo do efeito do sal na separação da proteína durante o processamento de isolado protéico de soja foi realizado com apenas 500 ppm de  $\text{CaCl}_2$ , pois com esse sal e nessa concentração foi possível obter um melhor efeito na recuperação de proteína no processo de concentrado protéico que aquele conseguido com  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ .

O Quadro 13 mostra os resultados dos teores protéicos obtidos na etapa de clarificação e concentração, as variações percentuais deste teor, e os percentuais de recuperação e perdas de proteína conseguidos após uma passagem pela etapa de clarificação e concentração, durante o processamento de isolado protéico com adição de 500 ppm de  $\text{CaCl}_2$ . Verificou-se que o desempenho do hidrociclone na separação do coágulo protéico na obtenção de isolado foi menor que na separação das partículas protéicas de farinha de soja, no processamento de concentrado protéico (item 1.6.3.) . Observa-se que as concentrações de proteína foram incrementadas em 45,1% e 51,5% em comparação com a amostra padrão e com 500 ppm de  $\text{CaCl}_2$ , respectivamente, em relação à concentração inicial da suspensão, enquanto que no processamento de concentrado protéico, o incremento na amostra padrão foi de 97,5% aumentando a 126,1% quando adicionado 500 ppm de  $\text{CaCl}_2$ . Por outro lado, o produto clarificado teve um decréscimo no teor de proteína de 46,4% e 49,5% comparados com a amostra padrão e com adição de 500 ppm de  $\text{CaCl}_2$ , sendo que na obtenção de concentrado o decréscimo foi de 64,4% e 70,9%, respectivamente. Em relação a proteína inicial, verificou-se que houve uma recuperação protéica de 15,6% na amostra padrão e 20,8% quando foi adicionado o sal, sendo estes valores menores que os obtidos no processamento de concentrado protéico (Quadro 11), que mostra uma recuperação de 26,1% na amostra padrão e 32,8% na presença de 500 ppm de  $\text{CaCl}_2$ .

A diminuição da eficiência do desempenho do hidrociclone no processamento de obtenção de isolado protéico em relação ao processo de concentrado poderia ser atribuída ao fato de que quando a proteína encontra-se isolada apresenta uma maior plasticidade, diminuindo desta forma a eficiência de separação no aparelho. Deve-se destacar que no caso do concentrado protéico, a proteína foi imobilizada nos corpúsculos protéicos junto ao material fibro

QUADRO 13 - Teor protéico e variações percentuais obtidas nas etapas de clarificação e concentração, utilizando 500 ppm de CaCl<sub>2</sub> no processamento de isolado proteico.

A M O S T R A	Teor de Pro-	Teor de Pro-	Teor de Pro-	Decréscimo da	Incremento da	Proteína	
	teína Inicial	teína Produ- to clarifica- do	teína Produ- to concentra- do	Proteína no produto clari- ficado	Proteína no produto con- centrado	Recuperada	Perdida
	%	%	%	%	%	%	%
sem sal (padrão)	3,0	1,6	4,4	46,4	45,1	15,6	6,2
com 500 ppm CaCl <sub>2</sub>	3,0	1,5	4,5	49,5	51,5	20,8	5,5

so, obtendo-se neste caso partículas mais rígidas, que permitiram ser separadas com maior facilidade no hidrociclone. Por outro lado deve-se considerar que as altas turbulências conseguidas no hidrociclone, possivelmente provocaram a desagregação do coágulo protéico, reduzindo o tamanho das partículas e diminuindo assim sua eficiência.

## 2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS E FUNCIONAIS DOS CONCENTRADOS E ISOLADOS PROTÉICOS DE SOJA PREPARADOS POR CENTRIFUGAÇÃO EM LABORATÓRIO E HIDROCICLONES

### 2.1. Composição Química

No Quadro 14 estão apresentados os valores da composição química dos concentrados e isolados protéicos preparados mediante centrifugação da massa protéica e separação desta massa por hidrociclones. Os dados obtidos mostraram que houve pequenas variações entre os concentrados e isolados protéicos produzidos com e sem sal. Os produtos obtidos nos hidrociclones apresentaram maior teor de cinzas e fibras que os processados por centrífugas, provavelmente devido à lavagem menos eficiente do coágulo protéico nos ensaios com hidrociclones. Os teores de cinzas dos produtos obtidos com hidrociclones foram entretanto menores que aqueles dos produtos comerciais. Os teores de proteína dos produtos obtidos por separação centrífuga foram ligeiramente maiores que aqueles processados com hidrociclones. Os isolados protéicos obtidos com centrífugas apresentaram teores de gordura inferiores aos processados com hidrociclones; embora fossem constatadas diferenças entre os produtos obtidos com centrífugas e hidrociclones, os teores de cinzas, proteínas, gordura e fibras destes produtos estavam dentro dos limites citados na literatura (SMITH e CIRCLE, 1972; MATTIL, 1974).

QUADRO 14 - Composição química de concentrados e isolados protéicos, obtidos por centrifugação e hidrocliclones, com e sem adição de  $\text{CaCl}_2$ .

A M O S T R A S	Cinzas %	Proteína %	Gordura %	Fibra crua %	Outros carboi- dratos** %	Cálcio %
Concentrado centrífuga padrão	2,4	72,9	0,8	4,1	19,8	-
Concentrado centrífuga com $\text{CaCl}_2$	2,5	73,6	0,7	4,1	19,1	-
Concentrado hidrociclone padrão	2,9	70,1	0,8	4,4	21,8	0,5
Concentrado hidrociclone com $\text{CaCl}_2$	2,9	72,1	0,6	4,5	19,9	0,9
Isolado centrífuga padrão	2,0	93,2	0,2	0,9	3,7	-
Isolado centrífuga com $\text{CaCl}_2$	2,2	94,4	0,2	0,7	2,5	-
Isolado hidrociclone padrão	2,8	90,6	0,3	1,1	5,2	0,1
Isolado hidrociclone com $\text{CaCl}_2$	3,0	91,1	0,5	1,0	4,4	0,4
Concentrado proteimax 70*	3,7	71,5	0,3	5,0	19,5	-
Isolado proteimax 90 HG*	4,2	93,8	0,1	0,3	1,6	-

Resultados expressos em base seca.

\* Amostras comerciais fornecidas pela SANBRA S.A.

\*\* calculados por diferença.

## 2.2. Propriedades Funcionais

Os resultados dos parâmetros utilizados para se avaliar as propriedades funcionais dos produtos processados com auxílio de centrífuga ou hidrociclones estão apresentados no Quadro 15 e 16. De uma maneira geral não foram constatadas diferenças significativas entre os produtos obtidos, com ou sem a presença de  $\text{CaCl}_2$ .

Esses resultados mostraram que a separação de partículas na obtenção de concentrados e isolados protéicos por hidrociclones, com ou sem  $\text{CaCl}_2$ , não alterou as propriedades funcionais desses produtos. Estes resultados indicaram que não ocorreram transformações significativas nas proteínas que alterassem as características importantes para sua utilização em sistemas de alimentos.

QUADRO 15 - Propriedades funcionais de concentrados e isolados protéicos, obtidos por centrifugação e hidrociclones, com e sem adição de  $\text{CaCl}_2$ .

A M O S T R A S	Absorção		Capacidade emulsificante	Estabilidade da emulsão		Solubilidade	Viscosidade aparente	Densidade aparente
	de água %	de gordura %		%	%			
Concentrado centrífuga padrão	360	340	97,1	90,7	60,5	3,5	0,3	
Concentrado centrífuga com $\text{CaCl}_2$	350	350	97,3	91,2	59,9	3,5	0,3	
Concentrado hidrociclone padrão	380	360	95,2	89,6	54,9	3,4	0,2	
Concentrado hidrociclone com $\text{CaCl}_2$	380	380	95,7	89,6	54,1	3,5	0,3	
Isolado centrífuga padrão	230	150	99,8	96,6	90,5	4,1	0,6	
Isolado centrífuga com $\text{CaCl}_2$	240	180	99,8	96,2	88,4	4,0	0,6	
Isolado hidrociclone padrão	200	160	93,1	92,4	89,3	3,9	0,6	
Isolado hidrociclone com $\text{CaCl}_2$	240	180	94,1	92,9	88,9	3,9	0,5	
Concentrado proteimax 70*	360	160	93,9	91,4	19,6	2,7	0,4	
Isolado proteimax 90 HG*	240	270	100,0	100,0	73,7	4,9	0,2	

\* Amostras comerciais fornecidas pela Sanbra S.A.

QUADRO 16 - Capacidade de formação e estabilidade da espuma de amostras de concentrados e isolados protéicos, obtidos por centrifugação e hidrociclones, com e sem adição de  $\text{CaCl}_2$ .

	Aumento de volu- me	% do volume líquido liberado da espuma		
		30 minutos	60 minutos	120 minutos
	%	%	%	%
Concentrado padrão centrífuga	177,1	52,3	53,9	55,4
Concentrado com $\text{CaCl}_2$ centrífuga	178,6	47,5	49,2	50,8
Concentrado padrão hidrociclone	170,1	52,5	53,3	55,0
Concentrado com $\text{CaCl}_2$ hidrociclone	174,9	54,5	55,4	57,3
Isolado padrão centrífuga	235,7	35,1	37,6	40,0
Isolado com $\text{CaCl}_2$ centrífuga	235,7	33,9	37,5	38,1
Isolado padrão hidrociclone	223,6	36,4	38,2	41,1
Isolado com $\text{CaCl}_2$ hidrociclone	221,4	37,5	38,9	42,1
Concentrado Proteimax 70*	192,9	44,4	45,9	79,7
Isolado proteimax 90 HG*	164,3	33,0	36,5	38,3

## V. CONCLUSOES

1. A pressão, tamanho de partícula e a concentração de sólidos em suspensão, influem marcadamente no desempenho do hidrociclone. As melhores condições determinadas neste trabalho para a separação de partículas de uma suspensão aquosa de farinha de soja a pH 4,5, são: concentração de sólidos em suspensão, 20-30%; granulometria, partículas entre 105 e 210  $\mu\text{m}$ ; pressão 4  $\text{kg}/\text{cm}^2$  (a maior testada) e número de estágios para clarificação e concentração, 3.
2. Os sais estudados,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  e  $\text{NaCl}$ , quando adicionados à suspensão aquosa de farinha desengordurada de soja, em concentrações de 500 e 1500 ppm, não mudam a faixa do ponto isoelétrico da proteína. Entretanto, quando estes sais são acrescentados de 250 até 2000 ppm durante a precipitação ácida na obtenção de concentrado e isolado protéico (pH 4,5), ocorre um leve e gradual decréscimo na recuperação de proteína.
3. O  $\text{CaCl}_2$  e  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , melhoram o desempenho dos hidrociclones, especialmente o  $\text{CaCl}_2$  em concentração de 500 ppm, que incrementa o rendimento de extração de proteína em 25,7% no processo de concentrado protéico e 33,3% durante a obtenção de isolado protéico, quando comparados com a amostra padrão, sem sal.
4. É possível que o  $\text{Ca}^{++}$  promova a formação de uma estrutura protéica mais rígida e resistente, melhorando substancialmente o desempenho dos hidrociclones nos processos de concentrado e isolado protéico.

5. Os hidrociclones estudados neste trabalho mostram ser viáveis para a separação de partículas no processamento de concentrado protéico de soja, visto que, os teores de sólidos atingidos na etapa de concentração, correspondem aos normalmente utilizados na alimentação dos secadores por atomização, empregados nos processos industriais.
  
6. Os hidrociclones são menos eficientes na separação do coágulo de proteína, no processo de isolado, que na separação de partículas no concentrado protéico. Entretanto, os hidrociclones podem ser utilizados como pré-concentradores e pré-clarificadores na obtenção de isolado, substituindo assim a primeira etapa da separação de partículas, comumente realizada por centrifugas na obtenção convencional deste produto.
  
7. Os concentrados e isolados protéicos preparados mediante hidrociclones, apresentam composição química e propriedades funcionais semelhantes aos produtos preparados por centrifugação em laboratório e em escala comercial. De modo geral estas características não são afetadas pelo processo utilizado, apesar das altas turbulências produzidas nos hidrociclones, as quais não modificam significativamente as proteínas pela ação mecânica durante o processamento.

## VI. BIBLIOGRAFIA

1. AACC, 1976. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 7<sup>a</sup>. Ed. St. Paul.
2. BERARDI, L.C. & CHERRY, J.P., 1981. Functional Properties of co-precipitated protein isolates from cottonseed, soybean and peanut flours. J. Inst. Can. Sci. Technol. Aliment. 14(4) 283-288.
3. BEUCHAT, L.R., 1977. Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. J. Agric. Food Chem. 25(2): 258-261.
4. CARANSA, A., 1980. Simplified economical cassava starch process. Starch/Stärke. 32(2): 48-54.
5. CENTRAL SOYA, S/ANO. Promozoy, soy protein concentrate. Technical Service Bulletin. Chicago.
6. CHERRY, J.P. & GRAY, M.S., 1981. Methylene chloride extraction of gossypol from cottonseed products. J. Food Science. 46: 1726.1732.
7. CIRCLE, S.J.; SMITH, A.K. - Processing soy flour, protein concentrates, and protein isolates. In: SMITH, A.K. & CIRCLE, S.J., eds., 1972. Soybean: chemistry and technology Wesport. AVI PUBLISHING V.1. p. 294-338.

- 8 - COGAN, N.; YARON, A.; BERK, Z.; MIZRAHI, S., 1967. Isolation of soy bean protein: effect of processing condition on yields and purity. *J.A.O.C.S.* 44(5) 321-324.
- 9 - DAY, R.W. & GRICHAR, C.N.; 1979. Hydrocyclones Separation. In: SCHWEITZER, P.A., ed. 1979. Mc GRAW - HILL BOOK COMPANY; New York.
- 10 - DENCH, J.E.; RIVAS, N.; CAYGILL, J.C., 1981. Selected functional properties of sesame (*Sesamum indicum L.*) flour and two protein isolates. *J.Sci.Food Agric.* 32: 557-564.
- 11 - FECSKE, A., 1983. Small diameter multiple hydrocyclone for starch processing. *Starch/Stärch.* 35(4): 109-113.
- 12 - FERN, J.A., 1952. The cyclone as a separating tool in mineral dressing. *Trans. Inst. Chem. Engrs.* 30:82-86.
- 13 - FITCH, E.B. & JOHNSON, E.C., 1952. Controlling separation in liquid-solid cyclones. *Chem. Engineering.* 59(6): 172-173, 203.
- 14 - GARDNER, Jr., H.K.; HRON, Sr. R.J.; VIX, L.E., 1976. Removal of pigment glands (gossypol) from cottonseed. *Cereal Chemistry* 53(4): 549-560.
- 15 - GASTROCK, E.A.; D'AQUIN, E.L.; EAVES, P.H.; CROSS, D.E., 1969. Edible flour from cottonseed by liquid classification using hexane. *Cereal Sci. Today.* 14(1): 8-11.

- 16 - HORAN, F.E., 1974. Soy protein products and their production. J.A.O.C.S. 51(1): 67A-72A.
- 17 - HSU, D.L.; LEUNG, H.K.; MORAD, M.M.; FINNEY, P.L.; LEUNG, C. T., 1982. Effect of germination on electrophoretic, functional, and bread-baking properties of yellow pea, lentil and faba bean protein isolates. Cereal Chemistry 59(5): 344-350.
- 18 - JOHNSON, D.W., 1970. Functional properties of oilseed protein. J.A.O.C.S. 47(10): 402-407.
- 19 - JOHNSON, D.W., 1970. Oilseed proteins: properties and applications. Food Product Development. 3(8): 78-87.
- 20 - JONES, J.J. & TUNG, M.A., 1983. Functional properties of modified oilseed protein concentrates and isolates. J. Inst. Can.Sci. Technol. Aliment. 16(1): 57-62.
- 21 - KINSELLA, J.E., 1976. Functional properties of proteins in foods: A survey. Crit. Rev. Food Sci. & Nutr. 7(3): 219-280.
- 22 - KINSELLA, J.E., 1979. Functional properties of soy proteins. J.A.O.C.S. 56(3): 242-258.
- 23 - LIENER, I.E. - Nutritional value of food protein products. In: SMITH, A.K. & CIRCLE, S.J., eds. 1972. Soybean: chemistry and technology. Wesport: AVI PUBLISHING. V.1, p. 203-277.

- 24 - LIN, M.J.Y.; HUMBERT, E.S.; SOSULSKI, F.W. 1974. Certain functional properties of sunflower meal products. J. Food Sci. 39(2): 368-370.
- 25 - LOCKMILLER, N.R., 1973. Increased utilization of protein in foods. Cereal Sci. Today 18(3): 77-81.
- 26 - LU, J.Y.; CARTER, E.; CHUNG, R.A., 1980. Use of calcium salts for soybean curd preparation. J. Food Sci. 45: 32-34.
- 27 - MARTINEZ, W.H., 1979. Functionality of vegetable proteins other than soy. J.A.O.C.S. 56(3): 280-284.
- 28 - MATTIL, K.F., 1974. Composition, nutritional, and functional properties and quality criteria of soy protein concentrates and soy protein isolates. J.A.O.C.S. 51(1): 81A-84A.
- 29 - MEYER, E.W., 1971. Oilseed protein concentrates and isolates. J.A.O.C.S. 48(9): 484-488.
- 30 - MUSTAKAS, G.C.; KIRK, L.D.; GRIFFIN, Jr., E.L. 1962. Flash desolventizing defatted soybean meals washed with aqueous alcohols to yield a high-protein product. J.A.O.C.S. 39(4): 222-225.
- 31 - NIP, W.K., 1979. Development and storage stability of drumdried guava and papaya-taro flakes. J. Food Sci. 44(1): 222-225.

- 32 - OHREN, J.A., 1981, Process and product characteristics for soya concentrates and isolates. J.A.O.C.S. 58(3): 333-335.
- 33 - OLIVEIRA, A.S., 1974. Liquid cyclone counter-current, aqueous oil extraction system with recovery of the nutrients from the effluents. Proc. IV Int. Congress Food Sci. and Technol. 4: 50-58.
- 34 - PEARSON, D., 1976. The chemical analysis of foods. 7 ed. New York, Churchill Livingstone.
- 35 - PYE-UNICAM, 1967. Method sheets. England.
- 36 - RIDLEHUBER, J.M.; & GARDNER, Jr. H.K., 1974. Production of food-grade cottonseed protein by the liquid cyclone process. J.A.O.C.S. 51(4): 153-157.
- 37 - RIETEMA, K. The mechanism of the separation of finely dispersed solids in cyclones. In: RIETEMA, K. & VERVER, C.G., eds. 1961. ELSEVIER PUBLISHING COMPANY, AMSTERDAM.
- 38 - SIPOS, E.F.; ENDRES, J.G. & TYBOR, P.T., 1979. Use of vegetable protein in processed seafood products. J.A.O.C.S. 56(3): 320-327.
- 39 - SMITH, A.K.; BELTER, P.A.; JOHNSEN, V.L., 1952. Peptization of soybean meal protein. Effect of method of dispersion and age of beans. J.A.O.C.S. 29(8): 309-312.

- 40 - SMITH, A.K. & CIRCLE, S.J., 1972. Soybeans; chemistry and technology. V.l. Wesport. THE AVI PUBLISHING COMPANY, INC. V.l. p. 438-456.
- 41 - SOEST, P.H. van, 1973. Collaborative study of acid-detergent fiber and lignin. J.of the AOAC. 56(4): 781-784.
- 42 - SVAROVSKY, L., Hydrocyclones. In: SVAROVSKY, L., ed. 1977. Solid-liquid separation. BUTTERWORTHS. London - Boston.
- 43 - TRAWINSKI, H., 1970. A calculation for elutriation. INTERCE RAM (1): 1-5.
- 44 - TRAWINSKI, H., 1973. Grouped hydrocyclones for the beneficiation of raw materials. INTERCERAM (3): 1-8.
- 45 - TRAWINSKI, H., 1978. Teoria, aplicações e emprego prático dos hidrociclones. Mineração Metalúrgica. (394): s/n.
- 46 - TRAWINSKI, H., 1978. Hydrocyclones: applications and practical operation. Filtration & Separation 436-442.
- 47 - VECCHIONACCE, L.M. & SETSER, C.S., 1980. Quality of sugar cookies fortified with liquid cyclone processed cottonseed flour with stabilizing agents. Cereal chemistry 57(5): 303-306.
- 48 - VERBERNE, P., 1977. A new hydrocyclone process for the production of potato starch with lowest fresh water consumption. Die Stärke 29(9): 303-307.

- 49 - VERBERNE, P., 1977. A new hydrocyclone process for the production of potato starch with lowest fresh water consumption. Die Stärke 29(9): 303-307.
- 50 - VERBERNE, P. & ZWITSERLOOT, W., 1978. A new hydrocyclone process for the separation of starch and gluten from wheat flour. Starch/Stärke 30(10): 337-338.
- 51 - VIX, H.L.E.; EAVES, P.H.; GARDNER, Jr., H.K.; LAMBOU, M.G. 1971. Degossypolized cottonseed flour. The liquid cyclone process. J.A.O.C.S. 48(10): 611-615.
- 52 - WALL, J.S., 1979. Properties of proteins contributing to functionality of cereal food. Cereal Food World 24(7): 288-293.
- 53 - WOLF, W.J., 1970. Soybean proteins: Their functional, chemical, and physical properties. J.Agric. Food. Chem. 18(6): 969-976.
- 54 - WOLF, W.J., 1972. What is soy protein? Food Techn. 26(5): 44-54.
- 55 - WOLF, W.J. & COWAN, J.C., 1975. Soybeans as a food source. CRC PRESS, INC.
- 56 - ZANKER, A. 1977. Hydrocyclones: dimensions and performance. Chem. Eng. 84(10): 122-125, may 9.