



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS  
DEPARTAMENTO DE ALIMENTOS E NUTRIÇÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PROPRIEDADES FÍSICAS E FUNCIONAIS DE AGLOMERADOS A BASE DE  
PROTEÍNA DE SOJA

**Patrícia Girardi Colugnati**  
Engenheira de Alimentos

PARECER

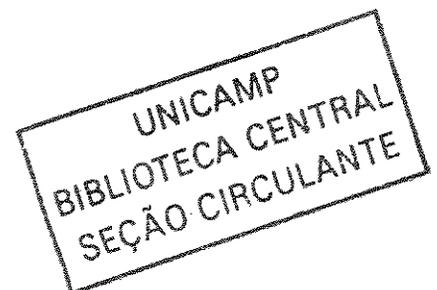
Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por **Patrícia Girardi Colugnati**, aprovada pela Comissão Julgadora em 26 de agosto de 2003.

Campinas, 26 de agosto de 2003.

**Prof. Dra. Flávia Maria Netto**  
Presidente da Banca

**Prof.ª. Dr.ª. Flávia Maria Netto**  
Orientadora

Campinas-SP  
2003



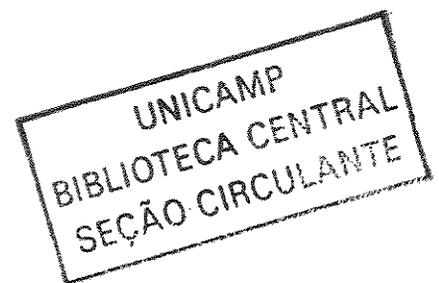
Patrícia Girardi Colugnati

**PROPRIEDADES FÍSICAS E FUNCIONAIS DE AGLOMERADOS A BASE DE  
PROTEÍNA DE SOJA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos  
da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de  
Mestre em Alimentos e Nutrição

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Flávia Maria Netto  
Orientadora

**Campinas-SP  
2003**



UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	UNICAMP
	C 723 p
V	EX
TOMBO BC	56166
PROC.	16-124103
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	RS 11,00
DATA	11/10/03
Nº CPD	

CM00190407-6

Bib id 302181

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA F.E.A. – UNICAMP

G723p Colugnati, Patrícia Girardi  
Propriedades físicas e funcionais de aglomerados a base de  
proteína de soja / Patrícia Girardi Colugnati. – Campinas, SP:  
[s.n.], 2003.

Orientador: Flávia Maria Netto  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de  
Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Processo. 2.Aglomeração. 3.Propriedades físicas. 4.Soja.  
5.Proteínas. 6.\*Instantaneização. I.Netto, Flávia Maria.  
II.Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia  
de Alimentos. III.Título.

## BANCA EXAMINADORA

Tese defendida e aprovada em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2003, pela banca examinadora constituída pelos membros:



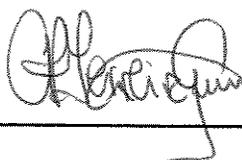
---

Profa. Dra. Flávia Maria Netto  
(orientadora)



---

Profa. Dra. Fernanda Paula Collares  
(membro)



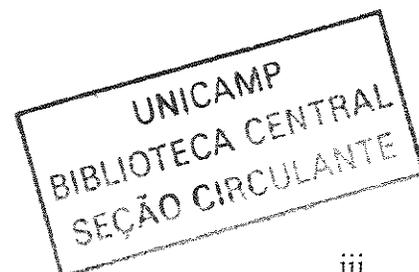
---

Prof. Dr. Carlos Raimundo Ferreira Grosso  
(membro)

---

Dra. Denise Calil Pereira Jardim  
(membro)

2003.03.0030



**Às pessoas que mais amo:**

**À minha mãe Valéria e ao meu pai  
Fernando, que sempre lutaram por mim,  
desde meu nascimento.**

**Ao Nando, meu irmão querido.**

**Ao José Luíz, minha metade.**

**dedico**

**“A vida não é um corredor reto e tranqüilo que nós percorremos livres e sem empecilhos, mas um labirinto de passagens pelas quais nós devemos procurar nosso caminho, perdidos e confusos, de vez em quando presos em um beco sem saída.**

**Porém, se tivermos fé, uma porta sempre será aberta para nós, não talvez aquela sobre a qual nós mesmos nunca pensamos, mas aquela que definitivamente irá se revelar boa para nós”.**

**(CRONIN, A. J.)**

## **Agradecimentos**

À Deus por todas as bênçãos que nunca me faltaram.

Aos meus pais, ao meu irmão, ao José Luíz e à Giseli pelo amor, apoio incondicional e constante incentivo.

À Profa. Dra. Flávia Maria Netto pela orientação e à Dra. Denise C. P. Jardim pela idéia.

À CAPES pela bolsa de estudo emergencial e ao CNPQ pela bolsa de pesquisador de mestrado.

À Bunge Alimentos e à Protein Technologies International pelo fornecimento dos IPSs, à Cosulati pelo fornecimento do soro de leite e à Corn Products pelo fornecimento da maltodextrina.

Ao Centro Cereal Chocotec (ITAL) pelo uso das instalações e do instantaneizador.

Aos professores e funcionários do DEPAN, principalmente à Eliana, amiga, conselheira, sempre pronta a esclarecer dúvidas do saber e da alma.

Às “companheiras” Bete, Betinha, Janai, Duda, Vera, Ivonete, Juliana, Larissa, Patricia Trevizam, Selma e ao Luciano pela amizade e pelos bons momentos.

Às amigas Nora, Maria Inês, Cris e Helenice pelos inúmeros momentos de apoio, consolo e irmandade e à Soninha, grande companheira das segundas-feiras.

Aos amigos de coração Kelen e Julião por fazerem a vida ficar mais leve e divertida.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
RESUMO.....	xiv
SUMMARY.....	xvi
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1. Proteínas da soja.....	4
2.2. Isolado protéico de soja.....	5
2.3. Propriedades funcionais.....	7
2.3.1. Solubilidade protéica.....	7
2.3.2. Capacidade de absorção de água.....	8
2.4. Soro de leite.....	8
2.5. Maltodextrina.....	10
2.6. Alimentos em pó.....	12
2.6.1. Propriedades físicas dos alimentos em pó.....	13
2.6.2. Produtos instantâneos.....	17
2.7. Processo de instantaneização ou aglomeração.....	18
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1. Material.....</b>	<b>23</b>
3.1.1. Formulações.....	23
3.1.2. Equipamento de aglomeração.....	24
<b>3.2. Métodos.....</b>	<b>25</b>

3.2.1. Processo de aglomeração.....	25
3.2.2. Composição química aproximada dos componentes das formulações.....	26
3.2.3. Caracterização dos isolados protéicos de soja.....	27
3.2.3.1. Eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE) das proteínas totais.....	27
3.2.3.2. Hidrofobicidade superficial.....	28
3.2.3.3. Grupos sulfidrilas livres.....	28
3.2.3.4. Capacidade de absorção de água.....	29
3.2.3.5. Índice de dispersibilidade de proteína.....	29
3.2.4. Caracterização dos produtos aglomerados.....	30
3.2.4.1. Composição química aproximada.....	30
3.2.4.2. Rendimento do processo de aglomeração.....	31
3.2.4.3. Propriedades físicas dos produtos aglomerados.....	31
3.2.4.3.1. Densidade aparente.....	31
3.2.4.3.2. Densidade de partículas.....	31
3.2.4.3.3. Porosidade.....	31
3.2.4.3.4. Distribuição granulométrica.....	32
3.2.4.3.5. Microscopia eletrônica de varredura.....	32
3.2.4.4. Propriedades funcionais dos produtos aglomerados.....	32
3.2.4.4.1. Índice de dispersibilidade de proteína.....	32
3.2.4.4.2. Índice de separação.....	32
3.2.4.4.3. Tempo de dissolução.....	32
3.2.4.4.4. Dispersibilidade.....	33
3.2.5. Análise estatística.....	33
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>34</b>
4.1. Composição química aproximada dos componentes das formulações.....	34
4.2. Caracterização dos isolados protéicos de soja.....	36
4.2.1. Eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE) das proteínas totais.....	36
4.2.2. Hidrofobicidade superficial, grupos sulfidrilas livres, capacidade de absorção de água e índice de dispersibilidade de proteína.....	37
4.3. Caracterização dos produtos aglomerados.....	42

4.3.1. Composição química aproximada dos produtos aglomerados e rendimentos do processo de aglomeração.....	42
4.3.2. Propriedades físicas dos produtos aglomerados.....	44
4.3.2.1. Densidade aparente, densidade de partículas e porosidade.....	44
4.3.2.2. Distribuição granulométrica.....	46
4.3.2.3. Microscopia eletrônica de varredura.....	47
4.3.3. Propriedades funcionais dos produtos aglomerados.....	51
4.3.3.1. Índice de dispersibilidade de proteína.....	51
4.3.3.2. Índice de separação.....	52
4.3.3.3. Tempo de dissolução.....	53
4.3.3.4. Dispersibilidade.....	54
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>56</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>58</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Formulações dos produtos aglomerados das formulações 1 e 2.....	24
<b>Tabela 2.</b> Composição química aproximada dos isolados protéicos de soja.....	34
<b>Tabela 3.</b> Composição química aproximada do soro de leite.....	35
<b>Tabela 4.</b> Composição relativa das subunidades/polipeptídeos das globulinas 7S e 11S presentes nos isolados protéicos de soja totais <sup>1</sup> .....	37
<b>Tabela 5.</b> Hidrofobicidade superficial, grupos sulfidrilas livres, capacidade de absorção de água e índice de dispersibilidade de proteína dos isolados protéicos de soja.....	39
<b>Tabela 6.</b> Capacidade de absorção de água dos isolados protéicos de soja.....	40
<b>Tabela 7.</b> Composição química aproximada dos produtos aglomerados da formulação 1.....	42
<b>Tabela 8.</b> Composição química aproximada dos produtos aglomerados da formulação 2.....	43
<b>Tabela 9.</b> Rendimentos do processo de aglomeração das formulações 1 e 2.....	43
<b>Tabela 10.</b> Densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ), densidade de partículas ( $\rho_{part}$ ) e porosidade (P) dos produtos aglomerados da formulação 1.....	45
<b>Tabela 11.</b> Densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ), densidade de partículas ( $\rho_{part}$ ) e porosidade (P) dos produtos aglomerados da formulação 2.....	45

<b>Tabela 12.</b> Percentual dos componentes das formulações retido em peneira de 125 $\mu\text{m}$ .....	46
<b>Tabela 13.</b> Distribuição granulométrica (%) dos produtos aglomerados da formulação 1.....	47
<b>Tabela 14.</b> Distribuição granulométrica (%) dos produtos aglomerados da formulação 2.....	47
<b>Tabela 15.</b> Índice de dispersibilidade de proteína (%) dos isolados protéicos de soja e dos produtos aglomerados.....	51
<b>Tabela 16.</b> Índice de separação (%) das formulações não aglomeradas e produtos aglomerados.....	52
<b>Tabela 17.</b> Tempos de dissolução (minutos) dos isolados protéicos de soja, formulações não aglomeradas e produtos aglomerados.....	54
<b>Tabela 18.</b> Dispersibilidade (%) dos produtos aglomerados.....	55

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Processo de aglomeração (adaptado de SCHUCHMANN; HOGEKAMP; SCHUBERT, 1993).....20
- Figura 2.** Aglomeração controlada e produção de alimentos em pó instantâneos. A aglomeração requer a plasticização da superfície das partículas, que pode resultar do reumedecimento e aumento da temperatura ou diminuição do conteúdo de umidade pela secagem em “spray dryer” para produzir partículas aderidas. Partículas com aderência e superfícies plasticizadas formam agregados através de pontes líquidas. A remoção do plasticizante (desidratação) e o resfriamento são usados para estabilizar o material aglomerado no estado vítreo. Assim, as superfícies das partículas e as pontes líquidas entre as partículas são solidificadas e a aderência é perdida (adaptado de ROOS, 1995).....21
- Figura 3.** Instantaneizador utilizado para aglomeração das formulações (ICF INDUSTRIE CIBEC S.P.A. – FOOD DIVISION, 2001). (1) Tramóia de alimentação; (2) Difusor de vapor; (3) Esteira vibratória inclinada; (4) Capa de aspiração; (5) Ventilador de aspiração (exaustor); (6) Ventilador; (7) Classificador do pó; (8) Secador rotativo.....25
- Figura 4.** Fluxograma de obtenção dos produtos aglomerados.....26
- Figura 5.** Eletroforese em gel de poliacrilamida, na presença de dodecil sulfato de sódio (SDS-PAGE) dos isolados protéicos de soja comerciais. P – padrão; LH; NB; MK; CH e SP – isolados protéicos de soja comerciais.....36
- Figura 6.** Curvas de absorção de água dos isolados protéicos de soja.....40



**Figura 7.** Micrografias dos produtos aglomerados da formulação 1 em 10 kV e aumento de 400 vezes. a - Micrografia do aglomerado LH<sub>1</sub>; b – Micrografia do aglomerado NB<sub>1</sub>; c – Micrografia do aglomerado MK<sub>1</sub>; d – Micrografia do aglomerado CH<sub>1</sub>; e – Micrografia do aglomerado SP<sub>1</sub>.....49

**Figura 8.** Micrografias dos produtos aglomerados da formulação 2 em 10 kV e aumento de 400 vezes. a - Micrografia do aglomerado LH<sub>2</sub>; b – Micrografia do aglomerado NB<sub>2</sub>; c – Micrografia do aglomerado MK<sub>2</sub>; d – Micrografia do aglomerado CH<sub>2</sub>; e – Micrografia do aglomerado SP<sub>2</sub>.....50

## RESUMO

O processo de aglomeração produz grânulos de estrutura porosa, que absorvem líquidos mais rapidamente, se dispersam e/ou dissolvem de forma instantânea, o que poderia favorecer as propriedades de hidratação das proteínas da soja. Tendo em vista o grande interesse atual nas propriedades nutricionais da soja, o desenvolvimento de um produto aglomerado oferecerá as vantagens de se ter proteínas de boa qualidade, aliadas à solubilidade e dispersibilidade, tão importantes no momento do consumo.

O presente trabalho teve como objetivo estudar a influência dos diferentes isolados protéicos de soja comerciais (IPs) nas propriedades físicas e funcionais de produtos aglomerados a base de proteína de soja.

Cinco diferentes isolados protéicos de soja comerciais foram caracterizados quanto à composição química aproximada, hidrofobicidade superficial, conteúdo de grupos sulfidrila livres, capacidade de absorção de água (CAA) e índice de dispersibilidade de proteína (IDP). O perfil de proteínas dos isolados protéicos foi analisado por eletroforese em gel de poliacrilamida na presença de dodecil sulfato de sódio (SDS-PAGE). Cada isolado protéico foi utilizado em duas formulações, formulação 1 composta por IPS (70%), maltodextrina (20%) e açúcar (10%) e formulação 2 composta por IPS (35%), soro de leite (35%), maltodextrina (20%) e açúcar (10%). As formulações foram submetidas ao processo de aglomeração úmida em instantaneizador piloto, utilizando-se os seguintes parâmetros: grelha de mesh redondo 1,5 mm, temperatura de vapor 95° C e pressão de vapor 2 bar. Os produtos aglomerados obtidos foram analisados quanto à composição química aproximada, propriedades físicas (densidade aparente e de partículas, porosidade, distribuição granulométrica e microestrutura) e funcionais (índice de dispersibilidade de proteína, índice de separação, tempo de dissolução e dispersibilidade).

Os isolados protéicos de soja apresentaram-se diferentes quanto às características estruturais e funcionais de suas proteínas, diferenças quanto à composição química aproximada, hidrofobicidade superficial, conteúdo de grupos sulfidrila livres, capacidade de absorção de água, índice de dispersibilidade de

proteína e tempo de dissolução, possivelmente devido aos diferentes processos de obtenção e isolamento, que levaram a diferentes graus de desnaturação. Os isolados LH, NB, MK e CH apresentaram proteínas com perfil eletroforético semelhante, com exceção do isolado SP, cujo perfil indicava hidrólise prévia de suas proteínas.

Para ambas as formulações e independente do tipo de IPS utilizado, o processo de aglomeração resultou em produtos com estrutura porosa, bem definida e irregular, com partículas maiores do que os componentes utilizados em suas formulações e porosidade acima de 74%. Os aglomerados da formulação 2, no entanto, apresentaram grânulos mais estruturados e granulometria maior que os aglomerados da formulação 1. Em geral, os produtos com o mesmo IPS, obtidos a partir da formulação 2 apresentaram IDP menor e índice de separação maior do que os obtidos com a formulação 1, devido possivelmente, ao alto teor de lactose presente na formulação 2. Para os produtos obtidos com a formulação 1, o IDP e o índice de separação foram próximos aos do IPS utilizado, variando entre 13 e 84% para o IDP e de 4 a 67% para o índice de separação. As únicas exceções foram os aglomerados produzidos com o IPS SP, que apresentaram para as duas formulações estudadas, altos valores de índice de dispersibilidade de proteína e de índice de separação.

O tempo de dispersão e a dispersibilidade dos aglomerados apresentaram valores próximos para todos os produtos, independentemente da formulação ou do IPS utilizado, menos de 2 minutos e acima de 80%, respectivamente.

O conjunto de propriedades estudadas permitiu concluir que, para a condição de processo estudada, independente das características dos isolados protéicos de soja utilizados ou formulações, a aglomeração resultou em produtos com as características necessárias para que um alimento em pó tenha boas propriedades de reidratação.

**Palavras-chave:** aglomeração, instantaneização, propriedades físicas, propriedades funcionais, isolado protéico de soja.

## SUMMARY

The agglomeration process produces porous granules which absorb liquids quicker and disperse or dissolve instantly, which could favor the hydration properties of soy proteins. Considering the current interest in the nutritional properties of the soybean, the development of an agglomerated product would offer the advantages of good quality protein allied to solubility and dispersibility, so important at the moment of consumption.

The objective of this research was to study the influence of different commercial soy protein isolates (SPIs) on the physical and functional properties of agglomerated soy protein based products.

Five different commercial soy protein isolates were characterized with respect to their proximate chemical composition, surface hydrophobicity, free sulfhydryl group content, water absorption capacity (WAC) and protein dispersibility index (PDI). The protein profile of the protein isolates was analyzed using polyacrylamide gel electrophoresis in the presence of sodium dodecyl sulfate (SDS-PAGE). Each protein isolate was used in two formulations, formula 1 composed of SPI (70%), malt dextrin (20%) and sugar (10%) and formula 2 consisted of SPI (35%), milk whey (35%), malt dextrin (20%) and sugar (10%). The formulations were submitted to a moist agglomeration process in a pilot scale instantanizer, using the following parameters: grid of 1.5 mm round mesh, water vapor temperature of 95°C and steam pressure of 2 bar. The agglomerated products obtained were analyzed for their proximate chemical composition, physical properties (apparent and particle densities, porosity, granule size distribution and microstructure) and functional properties (protein dispersibility index, separation index, dissolution time and dispersibility).

The soy protein isolates were shown to vary with respect to the structural and functional properties of their proteins, their proximate chemical compositions, surface hydrophobicity, free sulfhydryl group content, water absorption capacity, protein dispersibility index and dissolution time, possibly due to different production and isolation procedures, leading to different degrees of denaturation. The isolates LH, NB,

MK and CH presented proteins with similar electrophoretic profiles, but that of SP indicated prior protein hydrolysis.

The agglomeration process resulted in well defined, irregular porous products for both formulations and independent of the type of SPI used, with larger particles than the components of the formulations and porosity greater than 74%. However those from formulation 2 presented larger, more structured granules than those from formulation 1. In general, products from the same SPI produced from formulation 2, presented higher PDI and separation indexes than those from formulation 1, possibly due to the elevated content of lactose in formulation 1. For products obtained using formulation 1, the PDI and separation index were close to those of the SPI used, varying between 13 to 84% for PDI and from 4 to 67% for the separation index. The only exceptions were those produced from the SPI SP, which presented higher values for both PDI and the separation index.

Similar values were obtained for dispersion index and dispersibility of all the agglomerates, independent of the formulation and SPI used, being less than 2 minutes and above 80%, respectively.

From the group of properties studied, it could be concluded that under the process conditions studied and independent of the characteristics of the soy protein isolates used and the formulation, agglomeration resulted in products with the required characteristics for food powders with good re-hydration properties.

**Key words:** agglomeration, instantization, physical properties, functional properties, soy protein isolate.

## **1. INTRODUÇÃO**

A atual demanda por novos produtos com boas características nutricionais, tecnológicas e sensoriais tem aumentado o interesse da indústria alimentícia pela utilização de diferentes processos e matérias-primas para suas obtenções (WANG et al., 2000). Cada vez mais, consumidores exigem produtos de qualidade com propriedades nutricionais e funcionais específicas. As proteínas de soja têm sido cada vez mais utilizadas devido ao seu alto valor nutricional e boas propriedades funcionais (HETTIARACHCHY; KALAPATHY, 1997; WANG; FERNANDES; CABRAL, 2000). A principal utilização dos produtos protéicos à base de soja pela indústria está na forma de isolado protéico (GARCÍA et al., 1997; MYERS, 1993; WOLF, 1970).

A soja é uma importante alternativa para a nutrição humana. É uma excelente fonte de proteína, energia, vitaminas lipossolúveis (principalmente, vitamina E), minerais (principalmente, ferro, cálcio e zinco) e antioxidantes que diminuem o progresso de doenças crônicas e protegem as células dos danos dos radicais livres. É também rica em ácidos graxos essenciais como o ácido linoléico, conhecido por ajudar a diminuir o colesterol. Possui uma combinação natural de fosfolipídios que auxilia as atividades hepáticas, devido à lecitina que mantém a estrutura das membranas celulares, ajudando a prevenir a cirrose de fígado e a abaixar o nível de colesterol ruim do organismo (KWON; SONG; KIM, 2000; MANDARINO; KIKUCHI; CARRAO-PANISSI, 2000). Alimentos à base de soja contêm boa quantidade de fitoquímicos, componentes que são capazes de bloquear os múltiplos processos que levam ao câncer, doenças de coração e outras doenças degenerativas crônicas (MANDARINO; KIKUCHI; CARRAO-PANISSI, 2000; WANG et al., 1998).

Devido às suas inúmeras propriedades fisiológicas e funcionais, as proteínas da soja são utilizadas em fórmulas infantis, suplementos protéicos, formulações para nutrição clínica, bebidas, substitutos em alimentos lácteos e cárneos, sobremesas, produtos cárneos, de panificação e à base de peixe (GIESE, 1994; HETTIARACHCHY; KALAPATHY, 1997; LUSAS; RIAZ, 1995; SLAVIN, 1991; WAGGLE; KOLAR, 1979).

Um dos critérios mais importantes para a utilidade e aplicação funcional das proteínas é a maneira pela qual interagem com a água (KINSELLA, 1982). A solubilidade de proteínas é uma propriedade funcional muito importante, é um indicativo de uso para as proteínas da soja e muito desejável para a formulação de alimentos, e principalmente, de bebidas (WOLF, 1972).

Entretanto, durante a obtenção de isolados protéicos de soja pode ocorrer desnaturação, que afeta as propriedades funcionais como solubilidade, absorção de água, viscosidade e geleificação (ARRESE et al., 1991). Com solubilidade e dispersibilidade alteradas, os isolados protéicos de soja têm sua utilização em bebidas e formulações em pó prejudicada, o que leva a indústria processadora a neutralizar o proteinato antes da secagem em “spray dryer” e a utilizar aditivos como a lecitina de soja ou o fosfato de cálcio.

O processo de aglomeração produz grânulos de estrutura porosa, que absorvem líquidos mais rapidamente, se dispersam e/ou dissolvem de forma instantânea, o que poderia favorecer as propriedades de hidratação das proteínas de soja (AGUILERA; VALLE; KAREL, 1995; MASTERS, 1972).

O efeito mais importante da aglomeração é a significativa redução da quantidade de partículas finas para grânulos maiores, de 150 e 200  $\mu\text{m}$  (MAUREL, 1994; ROOS, 1995; SCHUCHMAM; HOGEKAMP; SCHUBERT, 1993; YAN; BARBOSA-CÁNOVAS, 1997a). Um pó constituído de partículas finas provoca a formação de uma camada hidrofóbica que impede a penetração da água, enquanto que nos grânulos porosos, o ar preso permite a penetração da água por capilaridade até o interior do grânulo, o que auxilia a molhabilidade (MAUREL, 1994).

Tendo em vista o grande interesse atual nas propriedades funcionais da soja, o desenvolvimento de um produto aglomerado oferecerá as vantagens de se ter proteínas de boa qualidade, aliadas à solubilidade e dispersibilidade, tão importantes no momento do consumo.

Diante destas considerações, este estudo tem por objetivo geral estudar a influência dos diferentes isolados protéicos de soja comerciais (IPSS) nas propriedades físicas e funcionais de aglomerados a base de proteína de soja.

Os objetivos específicos consistem em: caracterizar os isolados protéicos de soja; produzir aglomerados a base de proteína de soja e; caracterizar os aglomerados obtidos quanto suas propriedades físicas e funcionais.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Proteínas da soja

A soja é uma das leguminosas mais populares do mundo por ser uma excelente fonte de proteínas de alto valor nutricional, fácil disponibilidade, além de boas propriedades funcionais (KINSELLA, 1979; GARCÍA et al., 1997). As proteínas da soja têm sido cada vez mais utilizadas, pois agregam valor nutricional e possuem propriedades funcionais desejáveis (HETTIARACHCHY; KALAPATHY, 1997).

As principais aplicações da proteína da soja se constituem em produtos cárneos, produtos de panificação, fórmulas infantis, suplementos protéicos, formulações para nutrição clínica, produtos à base de peixe, substitutos em alimentos lácteos e cárneos, sobremesas, bebidas, entre outras (GIESE, 1994; HETTIARACHCHY; KALAPATHY, 1997; LUSAS; RIAZ, 1995; SLAVIN, 1991; WAGGLE; KOLAR, 1979).

As proteínas da soja representam uma mistura de moléculas que diferem em tamanho, carga e estrutura. De acordo com seus coeficientes de sedimentação podem ser fracionadas em quatro frações principais: 2S, 7S, 11S e 15S (WOLF; COWAN, 1975).

A fração 2S ou  $\alpha$ -conglícinina é composta por proteínas biologicamente ativas como inibidores de tripsina e várias outras enzimas (WOLF; COWAN, 1975).

As frações 7S e 11S são os principais componentes protéicos da soja. São proteínas oligoméricas complexas de quantidades relativas variáveis em função da propriedade de associação/dissociação dessas proteínas (KINSELLA, 1979; KILARA; SHARKASI, 1986; KOSHIYAMA, 1972; MORI; NAKAMURA; UTSUMI, 1986).

A fração 7S ou conglícinina é composta pelas enzimas lipoxigenase e  $\beta$ -amilase e a proteína globulina, conhecida como  $\beta$ -conglícinina (140 e 180 kDa), que representa 91% da fração 7S (WOLF; COWAN, 1975). A  $\beta$ -conglícinina apresenta estrutura quaternária complexa, constituída de nove subunidades, cada uma formada por um

polipeptídeo, associadas através de ligações hidrofóbicas e pontes de hidrogênio (KOSHIYAMA, 1972; THANH; SHIBASAKI, 1976).

A globulina 7S ( $\beta$ -conglucina) é uma glicoproteína trimérica com peso molecular entre 140 e 170 kDa e de 4 a 5,2% de carboidratos e pl 4,8, formada por três tipos de subunidades:  $\alpha'$  (57-83 kDa),  $\alpha$  (57-76 kDa) e  $\beta$  (42-53 kDa) (ARRESE et al., 1991; PETRUCELLI; AÑON, 1995; KINSELLA, 1979). As subunidades da  $\beta$ -conglucina podem interagir e formar sete diferentes oligômeros,  $\alpha'\beta_2$ ,  $\alpha\beta_2$ ,  $\alpha\alpha'\beta$ ,  $\alpha_2\beta$ ,  $\alpha_2\alpha'$ ,  $\alpha_3$  e  $\beta_3$  (FUKUSHIMA, 2000; THANH; SHIBASAKI, 1976; YAMAUCHI et al., 1981).

A fração 11S ou glicina é uma proteína oligomérica de estrutura quaternária, peso molecular de 340 a 375 kDa e pl 6,4 (UTSUMI; INABA; MORI, 1981). Apresenta-se como dois anéis hexagonais sobrepostos. Estes anéis formam-se a partir de seis polipeptídeos ácidos (A) (37-45 kDa e pl 4,2-4,8) e seis polipeptídeos básicos (B) (18-20 kDa e pl 8,0-8,5) (BADLEY et al., 1975; FUKUSHIMA, 2000; GARCÍA et al., 1997). Esses polipeptídeos são ligados por pontes dissulfeto, formando subunidades AB (BADLEY et al., 1975; GARCÍA et al., 1997).

A fração 15S ainda não é bem compreendida, alguns autores sugerem que ela é composta por urease e globulina 15S e que representa de 5 a 10% do total de proteínas da soja, podendo ser um dímero da fração 11S, devido à difícil separação dessas globulinas (WOLF; NELSEN, 1996; ARRESE et al., 1991; GARCÍA et al., 1997).

## 2.2. Isolado protéico de soja

A principal utilização das proteínas da soja pela indústria está na forma de isolado protéico. Isolados protéicos de soja (IPs) são definidos como produtos que contêm no mínimo 90% de proteína (N x 6,25) em base seca, virtualmente livres de lipídeos e carboidratos, com teor de cinzas em torno de 2 a 4% e de 3 a 4% de saponinas, fosfolipídios, isoflavonas e outros constituintes (GARCÍA et al., 1997; MYERS, 1993; WOLF, 1970).

Isolados protéicos de soja são comercialmente produzidos a partir de flocos ou farinha desengordurada de soja, com mínimo tratamento térmico para inativar

compostos antinutricionais. Inicialmente é feita extração aquosa da proteína em pH neutro ou levemente alcalino (pH 7,0 a 8,5), seguido de separação da fração insolúvel (polissacarídeos insolúveis em água e proteína residual), precipitação das proteínas por diminuição do pH até o ponto isoelétrico (pH 4,5), separação por centrifugação ou filtragem e lavagem do precipitado para remoção de carboidratos como rafinose e estaquiose e componentes de aroma e cor. O precipitado pode ser neutralizado em pH 6,8, para obter-se um proteinato e a seguir é seco em “spray dryer” (LUSAS; RIAZ, 1995; OHREN, 1981).

Durante a obtenção de isolados protéicos de soja pode ocorrer desnaturação, que afeta propriedades funcionais como solubilidade, absorção de água, viscosidade e geleificação (ARRESE et al., 1991). As propriedades funcionais das proteínas da soja são susceptíveis a alterações como resultado de diversos tipos de tratamentos para extração e remoção de lipídios durante a preparação de farinha desengordurada, concentrados e isolados protéicos de soja (KINSELLA, 1979).

Modificações nas proteínas da soja levam à produção de isolados protéicos distintos quanto à composição, estrutura, conformação, desnaturação, níveis de agregação e propriedades funcionais (KINSELLA, 1979; HERMANSSON, 1986). Além das diferenças no processamento determinarem as características finais dos isolados protéicos, as condições da matéria-prima também podem influenciar as propriedades físico-químicas e estruturais destes produtos. Genovese e Lajolo (1993) obtiveram isolados distintos quanto à hidrofobicidade superficial, grupos sulfidrila livres e totais e composição em subunidades quando usaram grãos de soja normais, quebrados e fungados para extração das proteínas.

O controle do processamento é essencial na produção de concentrados e isolados protéicos de soja com qualidade e boas propriedades funcionais (OHREN, 1981).

## 2.3. Propriedades funcionais

### 2.3.1. Solubilidade protéica

Um dos critérios mais importantes para a utilização e aplicação funcional das proteínas é a maneira pela qual interagem com a água. A natureza destas interações afeta propriedades como solubilidade, molhabilidade, dispersibilidade, entumescimento, viscosidade, aderência e geleificação (KINSELLA, 1982).

A solubilidade de proteínas é uma propriedade funcional muito importante, sendo um indicativo de uso para as proteínas da soja e muito desejável para a formulação de alimentos e principalmente de bebidas (WOLF, 1972).

A solubilidade protéica é controlada pelo sensível balanço entre forças intermoleculares repulsivas e atrativas que dependem das estruturas das proteínas e da água e são afetadas pelas condições dos solventes. Assim, proteínas são solúveis em água quando forças repulsivas eletrostáticas são maiores do que interações hidrofóbicas atrativas (PHILLIPS; WHITEHEAD; KINSELLA, 1994).

Vários termos têm sido designados para descrever a solubilidade de proteínas: proteína solúvel em água (PSA), proteína dispersível em água (PDA), índice de solubilidade de nitrogênio (INS) e índice de dispersibilidade de proteína (IDP), sendo o INS e o IDP os métodos oficiais da American Oil Chemists Society (KINSELLA, 1976).

A solubilidade de proteínas é um índice da extensão da desnaturação (KINSELLA, 1976; KINSELLA, 1982). O tratamento térmico causa variado grau de desnaturação, resultando no desenrolamento parcial ou total e muitas vezes na dissociação das moléculas protéicas, favorecendo a exposição de sítios hidrofóbicos, aumentando a hidrofobicidade das proteínas e formando agregados, devido à formação de pontes dissulfeto, podendo alterar a solubilidade (KINSELLA, 1976; NAKAI, 1983; WOLF, 1970).

### 2.3.2. Capacidade de absorção de água

A capacidade de absorção de água reflete a habilidade da proteína de absorver água espontaneamente e entumescer até o equilíbrio, sem sofrer dissolução (KINSELLA, 1979). A capacidade de absorção de água está associada às propriedades funcionais como geleificação e viscosidade (KINSELLA, 1976).

Fatores que afetam a capacidade de absorção de água das proteínas incluem: composição; estrutura protéica e conformação; carga superficial e polaridade; presença de carboidratos, lipídios e sais; pH; força iônica; temperatura; grau de desnaturação e agregação; e formação de pontes dissulfídicas (GARCÍA et al., 1997; HETTIARACHCHY; KALAPATHY, 1997; KINSELLA, 1976; OHREN, 1981).

Isolados que contêm maior conteúdo de proteínas desnaturadas e diminuição da solubilidade exibem maior capacidade de absorção de água (REMONDETTO; AÑON; GONZÁLEZ, 2001; KINSELLA, 1976).

Alterações na conformação protéica podem afetar a termodinâmica de ligação com a água por alterar a disponibilidade de sítios polares ou sítios de hidratação. A transição da conformação globular compacta da molécula de proteína para a conformação aleatória resulta no aumento da área superficial disponível e exposição de peptídeos e cadeias laterais de aminoácidos antes escondidos, que desta forma, podem interagir com a água (KINSELLA, 1982).

Em muitos sistemas alimentícios, a desnaturação causa agregação que geralmente diminui a disponibilidade de sítios de ligação com a água, por favorecer interações proteína-proteína (KINSELLA, 1982).

### 2.4. Soro de leite

O soro de leite, maior subproduto do leite obtido durante a produção de queijo ou de caseína, contém significativas quantidades de lactose, proteína e minerais (SMITHERS et al., 1996; DUBING; SMITH, 1991). O soro de leite é a solução aquosa remanescente da remoção dos glóbulos de gordura, membranas dos glóbulos de

gordura e micelas de caseína do leite, que contém um grupo de proteínas que permanecem solúveis após a precipitação da caseína em pH 4,6 e a 20°C (MORR; HÁ, 1993; EIGEL et al., 1984).

Existem dois tipos de soro de leite o soro doce e o soro ácido. Se a remoção da caseína é feita pela ação do coalho, o soro recebe a denominação de soro doce, se for feita pela adição de ácido (até pH 4,6), recebe o nome de soro ácido. O soro doce, de maior produção nacional, provém da fabricação de queijos ou caseína por coagulação enzimática (minas frescal e meia-cura, prato, mussarela e outros), enquanto o soro ácido provém da fabricação da caseína (ricota e requeijão) (VIOTTO, 1993).

De acordo com Matthews (1978), o soro doce possui pH mais alto, bem como teores maiores de sólidos, proteínas, lactose e lipídios, porém o soro ácido possui maior quantidade de cálcio e fósforo.

A partir do soro doce líquido pode-se obter soro em pó, soro com teor de lactose reduzido, soro desmineralizado total ou parcialmente, concentrados protéicos de soro (CPS – 50 a 75% de proteína em base seca) e isolados protéicos de soro (IPS – mais de 90% de proteína em base seca) (MOOR; FOEGEDING, 1990).

A composição do soro varia em função do método de obtenção (CHEN, 1995). Suas propriedades funcionais são influenciadas pela sua composição, estrutura, condições do meio e processamento (KINSELLA, 1984).

As proteínas do soro constituem aproximadamente 20% das proteínas do leite e são compostas por  $\beta$ -lactoglobulina,  $\alpha$ -lactalbumina, albumina do soro bovina (BSA), transferrina, proteoses peptonas, imunoglobulinas e enzimas (KINSELLA, 1984; CHEN, 1995). As proteínas do soro possuem conformações nativas globulares compactas termolábeis com número variável de ligações dissulfeto, solúveis em água em todos os valores de pH, mantendo alta solubilidade na faixa de pH 4,5 a 4,6, região do pI, o que faz do soro um ingrediente versátil e valorizado (LOURENÇO, 2000; SMITHERS et al., 1996).

O soro é uma fonte de proteínas que apresenta uma série de propriedades funcionais em suas aplicações alimentícias, tais como, melhora da textura, realce do sabor e cor, estabilização dos sistemas emulsificados, melhora da dispersibilidade em misturas secas, além de uma série de outras propriedades que aumentam a qualidade final dos produtos alimentícios (SMITHERS et al., 1996). Entretanto, seus valores extremamente altos de lactose e cinzas podem interferir na funcionalidade e em atributos nutricionais, dependendo da aplicação (KINSELLA, 1984).

Proteínas do soro são ingredientes importantes para o desenvolvimento de produtos inovativos como bebidas para esportistas contendo alto teor protéico e baixas quantidades de lipídios e lactose, substitutos de dietas enterais, produtos nutricionais, alimentos infantis, iogurte, chocolate, recheios e sorvetes, sendo que também podem ser utilizados na elaboração de filmes protéicos ou como agentes flavorizantes, entre outras propriedades funcionais de interesse para a indústria de alimentos em geral (HUFFMAN, 1996).

## **2.5. Maltodextrina**

Maltodextrinas são por definição hidrolisados de amido que consistem em unidades de  $\alpha$ -D-glicose ligadas principalmente por ligações glicosídicas (1→4) com fórmula geral igual a  $[(C_6H_{10}O_5)_nH_2O]$  (KENNEDY; KNILL; TAYLOR, 1995).

A hidrólise de uma dispersão de amido com ácidos ou enzimas produz maltodextrinas. As maltodextrinas são descritas por sua dextrose equivalente (DE). DE é definida como a porcentagem de ligações glicosídicas hidrolisadas, ou seja, a porcentagem de açúcar redutor no xarope calculado como dextrose em base seca (HOSENEY, 1986). Maltodextrinas em geral possuem DE entre 3 e 20. Em termos de tamanho molecular, a maltodextrina está entre o açúcar e o amido (BE MILLER; WHISTLER, 1996; KENNEDY; KNILL; TAYLOR, 1995).

A DE reflete o poder redutor e indica a estabilidade e funcionalidade. Amidos hidrolisados com DE maior do que 20 são designados como xaropes dependendo de

sua fonte (por exemplo, xarope de milho) (BE MILLER; WHISTLER, 1996; KENNEDY; KNILL; TAYLOR, 1995).

Existem dois tipos de maltodextrinas de uso comercial, maltodextrinas com DE entre 10 e 14 e maltodextrinas com DE entre 15 e 19. A composição destes produtos depende não somente da DE, como também do método de hidrólise empregado em sua manufatura. O perfil de componentes sacarídeos de maltodextrinas obtido por hidrólise ácida é diferente do obtido por hidrólise enzimática ou hidrólise ácida/enzimática e, no entanto, podem conter o mesmo DE (KENNEDY; KNILL; TAYLOR, 1995).

A solubilidade de maltodextrinas também varia com a DE e com o método de hidrólise. Produtos de hidrólise enzimática geralmente contêm menores concentrações de sacarídeos de alto peso molecular e são mais solúveis em água do que produtos de hidrólise ácida de DE equivalente. Maltodextrinas são relativamente não higroscópicas comparadas com xarope de milho, sendo que as que contêm DE mais baixo exibem menor tendência de absorver vapor de água atmosférico (KENNEDY; KNILL; TAYLOR, 1995).

Maltodextrinas estão sendo cada vez mais utilizadas pela indústria de alimentos por suas inúmeras funções. Por serem carboidratos altamente solúveis, terem baixa densidade aparente, pouca ou nenhuma doçura e por não mascarar outros sabores são ideais para formulações em pó, produtos processados, produtos para diabéticos e bebidas (KENNEDY; KNILL; TAYLOR, 1995).

Entre suas inúmeras funções pode-se citar: substituição de ingredientes de alto custo (por exemplo, albumina em "marshmallows"), substituição de óleos e gorduras, redução da perda de volume durante o transporte e estocagem, aumento da dispersão e solubilidade, redução da doçura e ação como agentes de volume ou preenchimento e como agentes encapsulantes (KENNEDY; KNILL; TAYLOR, 1995).



## **2.6. Alimentos em pó**

A indústria de alimentos em pó tem se expandido notavelmente devido às vantagens que a utilização e o manejo dos materiais em pó oferecem, principalmente no que diz respeito ao seu emprego como matéria-prima ou aditivo, à facilidade de conservação em longo prazo e ao baixo custo de transporte e de armazenamento. Produtos desidratados em pó têm larga aplicação em formulações alimentares de preparo instantâneo e são de fácil utilização em operações de adição e mistura em escala industrial (CAL-VIDAL; FALCONE, 1987).

Alimentos em pó formam um grande grupo que pouco tem em comum, exceto serem usados como ou em alimentos. O critério de classificação de alimentos em pó pode variar de acordo com a conveniência ou aplicação prática (PELEG, 1983).

Peleg (1983) propõe a classificação de pós pelo seu uso (farinhas, bebidas instantâneas, alimentos infantis, sopas, especiarias, adoçantes, alimentos pré-misturados e aditivos); pelo maior componente químico (amiláceos, proteínicos, açucarados e gordurosos); pelo processo de produção (pós moídos, atomizados, secos em tambor, aglomerados, precipitados, cristalizados ou misturados); pelo tamanho (pós finos ou grosseiros); pelo padrão de absorção de umidade (extremamente higroscópicos, higroscópicos e moderadamente higroscópicos) e finalmente pela facilidade de escoamento (escoamento livre, moderadamente coesivo e muito coesivo).

Com o aumento da quantidade e variedade de alimentos em pó que são produzidos na indústria, há uma crescente necessidade de informações sobre suas características de manipulação e processamento e sobre suas propriedades físicas (PELEG, 1983; TEUNOU; FITZPATRICK; SYNNOTT, 1999).

Alimentos em pó podem ser produzidos com diferentes propriedades físicas. A medida e a caracterização dessas propriedades são importantes, pois ajudam a definir o produto, os parâmetros do processo de produção e os fenômenos que afetam seu comportamento, assim pode-se estabelecer um melhor controle de sua qualidade (TEUNOU; FITZPATRICK; SYNNOTT, 1999).

### 2.6.1. Propriedades físicas dos alimentos em pó

As características de qualidade dos alimentos em pó dependem de suas aplicações específicas e de suas propriedades físicas. As propriedades físicas das partículas são determinadas, principalmente, pelos materiais de que são feitas e pelos processos pelos quais foram formadas, no entanto, mudanças nas características das partículas podem ocorrer durante a estocagem ou manipulação como resultado da absorção de umidade, reações químicas (escurecimento) ou atrito mecânico (PELEG; MANNHEIM; PASSY, 1973). Em geral, o conteúdo de umidade, a temperatura, o tamanho e a distribuição do tamanho das partículas, a densidade aparente e a densidade de partículas, a porosidade, a solubilidade e a dispersibilidade são de grande importância (MASTERS, 1972; MOREYRA; PELEG, 1981; PELEG, 1983; STRAATSMA et al., 1999; TEUNOU; FITZPATRICK; SYNNOTT, 1999; YAN; BARBOSA-CÁNOVAS, 1997a).

A temperatura e a umidade podem alterar as propriedades físicas e químicas dos alimentos em pó (PELEG, 1983). A umidade é responsável pela qualidade dos alimentos em pó, quanto à cor, vida-de-prateleira, estabilidade das propriedades físicas, afetando significativamente suas propriedades de escoamento (MASTERS, 1972; MOREYRA; PELEG, 1981). Em geral, quanto maior a umidade do pó, mais coeso ele se tornará e mais difícil será o seu fluxo devido à absorção de água pelas partículas, à dissolução dos componentes solúveis e à formação de pontes entre as partículas, que em uma posterior redução da umidade, se convertem em uniões sólidas compostas do soluto que se dissolveu. Estas pontes sólidas podem causar grave deterioração na apresentação e nas propriedades do fluxo do pó correspondente, além de alterar a densidade (MOREYRA; PELEG, 1981; PELEG, 1983).

As temperaturas altas resultam em dois efeitos: a plasticização dos materiais ricos em açúcares e a fusão dos componentes graxos. Nestes casos, originam-se pontes líquidas que são chamadas pontes termoplásticas e pontes viscosas, respectivamente. Estas pontes podem também se converter em uniões sólidas se a temperatura diminuir, como ocorre com altos conteúdos de umidade (MOREYRA; PELEG, 1981).

A caracterização do sistema particulado é muito importante. O tamanho das partículas influencia a aparência dos produtos e os requerimentos dos processos, sendo que sua medida é um dos vários métodos usados na indústria para controlar a qualidade do produto final, feita por análise granulométrica (MASTERS, 1972; YAN; BARBOSA-CÁNOVAS, 1997a). O tamanho das partículas dos alimentos em pó está entre micra (grânulo de amido) e vários centos ou milhares de micra (café instantâneo) (PELEG, 1983).

O tamanho das partículas e a distribuição do tamanho são fatores que influenciam a densidade aparente, a compressibilidade, o escoamento e a dispersibilidade em água (CHEN; LLOYD, 1994; TEUNOU; FITZPATRICK; SYNNOTT, 1999; YAN; BARBOSA-CÁNOVAS, 1997a; YAN; BARBOSA-CÁNOVAS, 1997b).

Pós que contêm diferentes tamanhos de partículas, geralmente têm pior dispersibilidade. Considera-se que pós com partículas maiores do que 200  $\mu\text{m}$  são de livre escoamento e fácil dispersão, enquanto pós finos, de 100  $\mu\text{m}$ , são sujeitos à coesão e seu escoamento é mais difícil (TEUNOU; FITZPATRICK; SYNNOTT, 1999).

A densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ) é definida por Peleg (1983), como a relação entre a massa e o volume da amostra, mas devido ao fato dos alimentos em pó serem compressíveis, a densidade aparente pode ser apresentada com um especificador adicional e ser expressa como densidade aparente livre (pó acomodado livremente), densidade aparente acomodada (depois de vibração) ou densidade aparente compactada (depois de compressão).

A densidade aparente depende da intensidade das forças atrativas entre as partículas, do tamanho das partículas e do número de pontos de contato. Os alimentos em pó têm densidades aparentes entre 0,3 e 0,8  $\text{g}/\text{cm}^3$ . De acordo com Peleg (1983), a proteína de soja tem densidade aparente 0,28  $\text{g}/\text{cm}^3$  para um conteúdo de umidade entre 2 e 3%, o que corrobora com Hollenbach, Peleg e Rufner (1983 apud PELEG, 1983), que relatam densidade aparente 0,27  $\text{g}/\text{cm}^3$ .

Em geral, a absorção de umidade é associada ao aumento da coesividade, principalmente devido à formação de pontes líquidas entre as partículas. Especialmente em alimentos higroscópicos, umidade mais alta resultaria na diminuição da densidade aparente, como é o caso do açúcar e do sal. Esta diminuição somente será detectada durante o escoamento do pó, quando estas mesmas forças entre as partículas causarem aglomeração indesejada ou “caking” (PELEG, 1983).

A densidade de partículas ( $\rho_{part}$ ) reflete a existência de poros internos nos grânulos de pó, é definida como o peso médio das partículas por unidade de volume, excluído o volume ocupado pelo ar intersticial (MAIA; GOLGHER, 1983). É conhecida como a medida da verdadeira densidade, sendo importante em situações onde é necessário obter a relação entre o peso das partículas e as forças entre elas. No entanto, esta relação não fornece nenhuma informação a respeito da forma dos poros internos e sua posição na estrutura da partícula (PELEG, 1983; SALAZAR, 1979).

Segundo Peleg (1983), a densidade de partículas para a maioria dos alimentos em pó está entre 1,4 e 1,5 g/cm<sup>3</sup>, dependendo da umidade, sendo que estes valores são indicativos de que os alimentos em pó têm porosidade interna, externa ou ambas entre 40 e 80%. A densidade de partículas da sacarose é de 1,56 g/cm<sup>3</sup> e das proteínas globulares de 1,4 g/cm<sup>3</sup>. Já Chen e Lloyd (1994) encontraram para o leite em pó integral o valor de 1,30 g/cm<sup>3</sup>.

A porosidade (P) é a fração do volume não ocupado pela partícula ou material sólido, sendo expressa por:

$$P = 1 - (\rho_{ap} / \rho_{part})100 \quad (1)$$

Onde: P = porosidade da partícula;  
 $\rho_{ap}$  = densidade aparente;  
 $\rho_{part}$  = densidade de partículas.

A porosidade é uma função do tamanho, da distribuição do tamanho e da forma das partículas. O uso da porosidade permite e facilita o tratamento unificado e as

comparações entre pós que podem ter diferentes densidades de partículas (PELEG, 1983).

Algumas propriedades dos alimentos em pó são muito importantes para o processo de reconstituição ou de rehidratação, como a molhabilidade, a imersibilidade, a dispersibilidade e a solubilidade (MAIA; GOLGHER, 1983; MASTERS, 1972; SALAZAR, 1979). Estas propriedades ocorrem de forma simultânea, especialmente no caso de pós instantâneos, o que dificulta a percepção clara e imediata das distinções entre os parâmetros correspondentes (MAIA; GOLGHER, 1983).

A molhabilidade ou umectabilidade é a habilidade do pó de absorver água em sua superfície e ser molhado (MASTERS, 1972; SALAZAR, 1979). Esta propriedade é que dá início ao processo de reconstituição. De uma forma geral, a molhabilidade é o processo no qual a fase gasosa (ar ocluído) na superfície da fase sólida (partículas) é substituída pela fase líquida (água) (SALAZAR, 1979). Pós de baixa molhabilidade tendem a formar grumos durante a adição e mistura com água. A molhabilidade é afetada pela hidrofobicidade superficial e pelo tamanho e forma das partículas (MAIA; GOLGHER, 1983).

O espaço intersticial apresentado por partículas grandes e de forma irregular favorece a molhabilidade. Ao contrário, partículas pequenas e simétricas acarretam na redução dos interstícios, prejudicando a penetração da água. A granulometria deve ser uniforme, com mínima quantidade de finos, os quais tendem a preencher os interstícios das partículas maiores, prejudicando a molhabilidade (MAIA; GOLGHER, 1983).

A imersibilidade é a habilidade das partículas romperem a tensão superficial da água e submergirem, depois de terem sido molhadas. Maia e Golgher (1983) e Salazar (1979) relataram que o principal fator que influencia a imersibilidade do pó é a densidade de partículas, que basicamente depende da sua própria composição e tamanho e da quantidade de ar ocluído.

A dispersibilidade é a habilidade do pó de se distribuir em toda a superfície da água em partículas individuais, isto é, a força de desagregação dos grumos de pó ao

serem acrescentados à água (MASTERS, 1972; SALAZAR, 1979). O pré-requisito para a dispersão é o acesso do meio dispersante às partículas, o que, por sua vez, está relacionado às características de molhabilidade e imersibilidade do pó. Desta forma, os fatores que atuam sobre esses parâmetros interferem também sobre a dispersibilidade, mas de forma indireta. Partículas grandes e irregulares produzidas por aglomeração favorecem a dispersibilidade, pois o benefício prévio é feito sobre a molhabilidade (MAIA; GOLGHER, 1983).

Sob o aspecto químico, solubilidade é a quantidade de material dissolvido em uma solução saturada (SALAZAR, 1979). No entanto, o termo solubilidade é inexato quando aplicado a produtos que não se constituem apenas de ingredientes solúveis, mas que contém também proteínas de dimensões coloidais e/ou gorduras (MAIA; GOLGHER, 1983). Para Masters (1972), a solubilidade é usada para descrever duas propriedades: a razão de dissolução e a solubilidade total.

O tratamento térmico pode levar à redução da solubilidade de produtos que contenham proteínas, visto que favorece a desnaturação protéica (MAIA; GOLGHER, 1983).

### **2.6.2. Produtos Instantâneos**

Produtos são normalmente chamados de instantâneos se são modificados por um tratamento, a instantaneização, que produz aglomerados de estrutura porosa que absorvem líquidos mais rapidamente, dispersando-se e dissolvendo-se de forma instantânea (AGUILERA; VALLE; KAREL, 1995; MASTERS, 1972).

A aglomeração é aplicada principalmente para alimentos, bebidas e produtos dietéticos de baixa solubilidade e com granulometria muito pequena, características que não permitem uma rápida absorção de água e favorecem a formação de grumos na superfície ou a deposição de resíduos.

Produtos aglomerados típicos incluem leites em pó integral e desnatado, queijos, alimentos infantis, misturas de proteínas, misturas para sorvetes e bolos, sucos de frutas desidratadas, bebidas de cacau, temperos, sopas, ovos, café, adoçantes, bases

para "milk shake", misturas para glacês ou merengues, recheios preparados para tortas e pudins, purês de batatas, entre outros (ANDRES, 1981; ROOS, 1995; SCHMITT, 1995).

Para Chen e Lloyd (1994), produtos instantâneos são aqueles que se dissolvem completamente em apenas 30 segundos, no entanto, a dissolução é um mecanismo complicado. Para que a massa total de partículas se disperse, inicialmente é necessária a penetração do líquido no pó para que a superfície de cada partícula seja umedecida e dissolvida. Quando o produto é reconstituído, além da umedificação dos aglomerados, o líquido penetra no interior da estrutura porosa como resultado da absorção por capilaridade e ocorre a dissolução dos sólidos solúveis e a dispersão das partículas no fluido (MASTERS, 1972; SCHMITT, 1995).

## **2.7. Processo de instantaneização ou aglomeração**

A aglomeração é freqüentemente denominada como instantaneização, por melhorar as características de reidratação dos aglomerados (MAUREL, 1994; ROOS, 1995). O aumento do tamanho das partículas melhora a umectabilidade e a solubilidade, resultando em produtos com melhores propriedades instantâneas (ROOS, 1995). Alimentos em pó secos em "spray dryer" têm tamanhos de partículas que geralmente permitem aglomeração (JENSEN, 1975).

O efeito mais importante da aglomeração é uma significativa redução da quantidade de partículas finas, com formação de grânulos de 150 e 200  $\mu\text{m}$  (MAUREL, 1994; ROOS, 1995; SCHUCHMAM; HOGEKAMP; SCHUBERT, 1993; YAN; BARBOSA-CÁNOVAS, 1997a). Isto é muito útil quando se faz produtos instantâneos, já que partículas finas não somente diminuem a habilidade de escoar e dispersar, mas também pioram as propriedades instantâneas (SCHUCHMANN; HOGEKAMP; SCHUBERT, 1993).

Um pó constituído de partículas finas provoca a formação de uma camada hidrofóbica que impede a penetração de água e diminui a habilidade de escoar e dispersar, piorando as propriedades instantâneas. Enquanto que, nos grânulos porosos

e de baixa densidade, o ar preso permite a penetração da água por capilaridade no interior do grânulo, resultando em melhor molhabilidade (MAUREL, 1994).

Produtos devem ser formulados de forma a propiciar boas propriedades instantâneas. Alguns produtos requerem aditivos porque são difíceis de aglomerar ou porque a aglomeração sozinha não é suficiente para garantir propriedades instantâneas. A adição de açúcar é uma maneira comum de melhorar as propriedades instantâneas de muitos pós para bebidas (JENSEN, 1975).

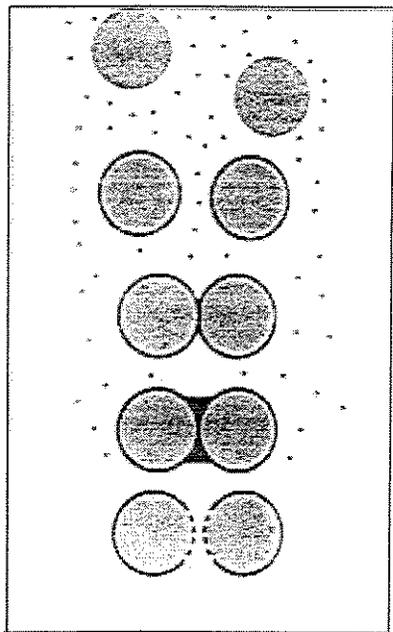
A aglomeração melhora a molhabilidade, a dispersibilidade e previne a formação de grumos, apenas não favorece a solubilidade total (MAIA; GOLGHER, 1983; SCHUCHMANN; HOGEKAMP; SCHUBERT, 1993; YAN; BARBOSA-CÁNOVAS, 1997a).

O processo de aglomeração consiste em umedificar partículas finas de pó com vapor, fazer as partículas entrarem em contato ou colisão umas com as outras, formando aglomerados porosos e secar os aglomerados com ar quente (Figura 1) (AGUILERA; VALLE; KAREL, 1995). Durante o processo, as partículas finas de pó são colocadas em contato intensivo com vapor, gerando uma corrente de ar quente que carrega as partículas pelo leito de ar fluidizado (MAUREL, 1994; SCHMITT, 1995).

Os granulados obtidos por esse processo são de granulometria homogênea e de alta porosidade, características importantes que conferem boas propriedades instantâneas (MAUREL, 1994; SCHUCHMANN; HOGEKAMP; SCHUBERT, 1993).

O processo de aglomeração é iniciado pela formação de pontes de contato entre as partículas, chamadas pontes líquidas. De acordo com Aguilera, Valle e Karel (1995), a origem das pontes líquidas em alimentos em pó é uma superfície pegajosa e liquefeita da partícula. Isto pode ocorrer de várias formas: por derretimento no caso de partículas que contenham gordura, por plasticização como resultado da exposição à alta temperatura, por dissolução devido ao umedecimento direto ou condensação da umidade na superfície ou por liberação da umidade adsorvida quando o açúcar amorfo se cristaliza. As pontes líquidas podem solidificar pela secagem ou resfriamento,

formando pontes sólidas, compostas por substâncias do pó dissolvidas. Esse processo aumenta consideravelmente a área de superfície do produto para produzir a estrutura porosa desejada (SCHMITT, 1995).



Partículas entram na zona de aglomeração (queda livre);

As superfícies são umedecidas pela condensação de vapor e/ou colisão com gotas;

Partículas úmidas colidem (energia cinética é dissipada nas camadas de líquido);

Partículas aderem umas as outras e as pontes líquidas se desenvolvem;

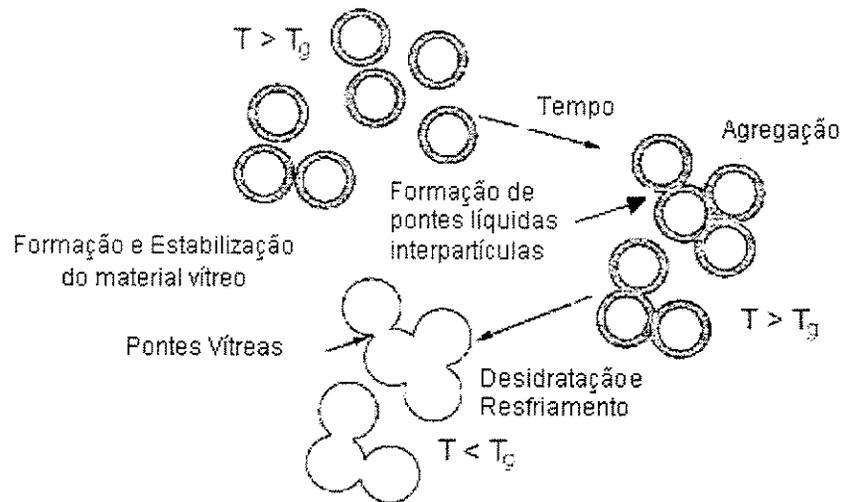
Na secagem, os solúveis cristalizam fora das pontes líquidas formando pontes sólidas.

**Figura 1.** Processo de aglomeração (adaptado de SCHUCHMANN; HOGEKAMP; SCHUBERT, 1993).

De acordo com Roos (1995), processos como aglomeração e extrusão são baseados no controle da transição de fases, bem como da plasticização de sólidos pela água, sendo que o sucesso destes processos está no rigoroso controle da temperatura, tempo e teor de umidade. A aglomeração requer que o alimento no estado amorfo fique tempo suficiente no estado plasticizado, permitindo a agregação das partículas e a formação de pontes interpartículas. O material aglomerado é estabilizado pela remoção do excesso de plasticizante e resfriado à temperatura inferior à temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) (Figura 2).

A transição vítrea envolve a transição de um sólido vítreo para um estado borrachento. Um material em estado vítreo comporta-se como um sólido quebradiço, com uma rigidez ou viscosidade extremamente alta, por volta de  $10^9$  Pa e mobilidade molecular próxima a zero (ROOS, 1995). O estado borrachento caracteriza-se pelo

aumento da mobilidade molecular e volume livre, podendo resultar em alterações físicas e físico-químicas (ROOS; KAREL, 1991).



**Figura 2.** Aglomeração controlada e produção de alimentos em pó instantâneos. A aglomeração requer a plasticização da superfície das partículas, que pode resultar do reumedecimento e aumento da temperatura ou diminuição do conteúdo de umidade pela secagem em “spray dryer” para produzir partículas aderidas. Partículas com aderência e superfícies plasticizadas formam agregados através de pontes líquidas. A remoção do plasticizante (desidratação) e o resfriamento são usados para estabilizar o material aglomerado no estado vítreo. Assim, as superfícies das partículas e as pontes líquidas entre as partículas são solidificadas e a aderência é perdida (adaptado de ROOS, 1995).

A aglomeração para produção de alimentos instantaneizados é baseada no controle do estado físico do material. Uma aglomeração adequada é definida pela  $T_g$  do material e sua dependência pelo conteúdo de umidade. O tempo necessário para a formação de pontes líquidas entre as partículas é governado pela viscosidade e, desta forma, pela região  $T-T_g$  (ROOS, 1995).

A temperatura de transição vítrea é considerada uma temperatura de referência: abaixo da  $T_g$ , a estabilidade é mantida no estado vítreo; acima desta temperatura, ocorrem modificações nas características de qualidade; e a diferença entre a  $T_g$  e a temperatura de processamento ou armazenamento é que controla a velocidade dessas modificações (CHAMPION; LE MESTE; SIMATOS, 2000; NOEL; RING; WHITTAM, 1990; SLADE; LEVINE, 1991).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Material**

Para a produção dos aglomerados foram utilizados cinco isolados protéicos de soja comerciais (IPSS). Os isolados Samprosoy 90 LH (LH), Samprosoy 90 NB (NB), Samprosoy 90 MK (MK) e Samprosoy 90 CH (CH) foram fornecidos pela Bunge Alimentos S.A. Segundo informações do fabricante, os isolados LH, NB e MK são recomendados para formulações de suplementos nutricionais para atletas, dietas de emagrecimento e sem lactose, alimentos infantis, sobremesas congeladas, como substitutos parcial ou total da proteína do leite e para formulação de bebidas. O isolado CH é recomendado para formulações de suplementos nutricionais para atletas, dietas de emagrecimento e para bebidas. Todos eles contêm adição de 0,5% de lecitina de soja.

O isolado Supro Plus 675 (SP) foi fornecido pela Protein Technologies International. De acordo com o fabricante, é recomendado para formulações de suplementos nutricionais para atletas, como substituto parcial ou total da proteína do leite, como bebidas líquidas para substituição de refeições e como cereal completo para crianças recém-desmamadas. Contém adição de fosfato de cálcio e de menos que 2% de lecitina de soja.

O soro de leite em pó industrial foi fornecido pela Cosulati – Cooperativa Sul Riograndense de Laticínios Ltda. A maltodextrina RD -138 aglomerada (DE 9 -12) foi fornecida pela Corn Products Brasil. O açúcar cristal foi adquirido no comércio local, moído em moinho de martelos e classificado em peneira com abertura de 0,51 mm. Os demais reagentes utilizados foram de grau analítico (P.A.) de várias procedências. Os equipamentos utilizados foram específicos para cada método.

##### **3.1.1. Formulações**

Foram utilizadas duas formulações para cada isolado protéico de soja, a formulação 1 continha IPS, maltodextrina e açúcar e a formulação 2 continha IPS, soro

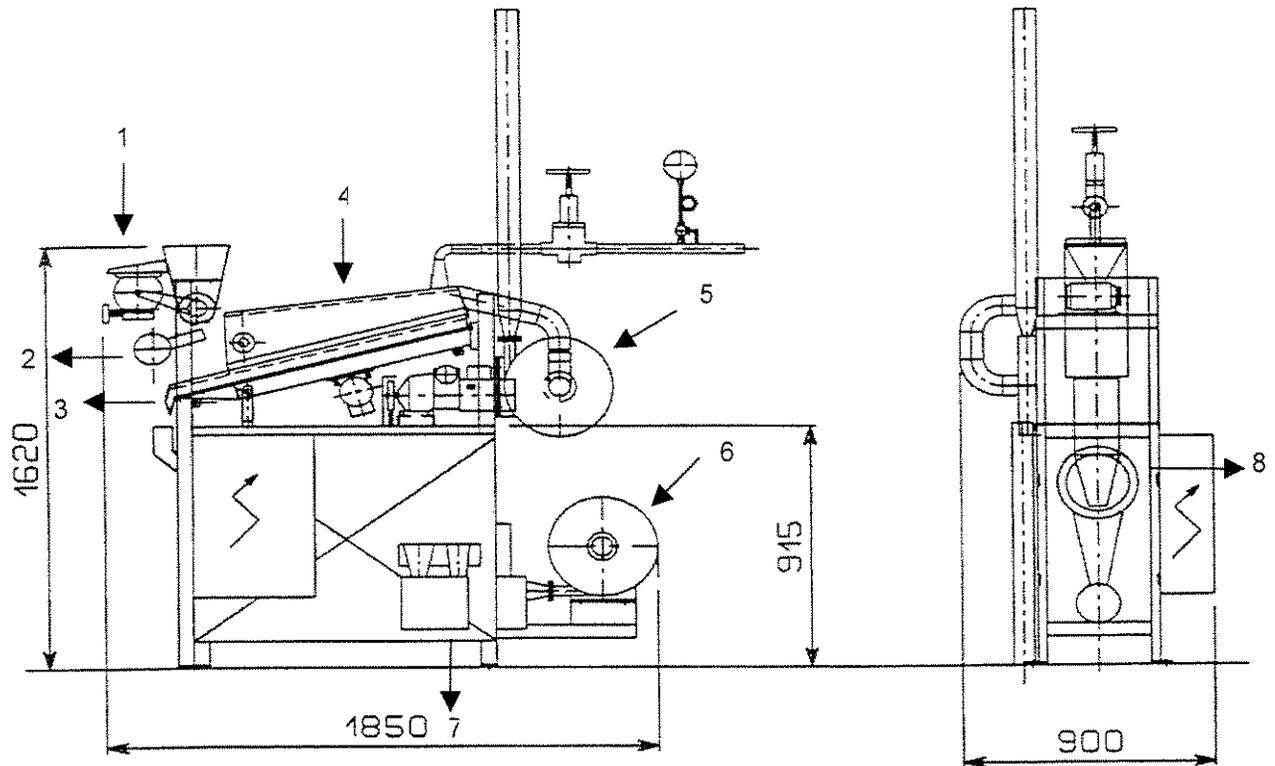
de leite, maltodextrina e açúcar, resultando em 10 produtos aglomerados, designados pela sigla da proteína (LH, NB, MK, CH e SP) e pelo número da formulação (1 e 2) (Tabela 1). Os componentes de cada formulação foram pesados em balança semi-analítica, misturados manualmente e submetidos ao processo de aglomeração.

**Tabela 1.** Formulações dos produtos aglomerados das formulações 1 e 2.

<b>Aglomerados</b>	<b>IPS (%)</b>	<b>Soro de leite (%)</b>	<b>Maltodextrina (%)</b>	<b>Açúcar (%)</b>
LH <sub>1</sub>	70	0	20	10
NB <sub>1</sub>	70	0	20	10
MK <sub>1</sub>	70	0	20	10
CH <sub>1</sub>	70	0	20	10
SP <sub>1</sub>	70	0	20	10
LH <sub>2</sub>	35	35	20	10
NB <sub>2</sub>	35	35	20	10
MK <sub>2</sub>	35	35	20	10
CH <sub>2</sub>	35	35	20	10
SP <sub>2</sub>	35	35	20	10

### **3.1.2. Equipamento de aglomeração**

A aglomeração das formulações foi realizada no equipamento instantaneizador modelo RC•R de escala piloto, da empresa ICF Industrie Cibec S.P.A., apresentado na Figura 3. Este equipamento está instalado no Centro Cereal Chocotec do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) em Campinas/SP.



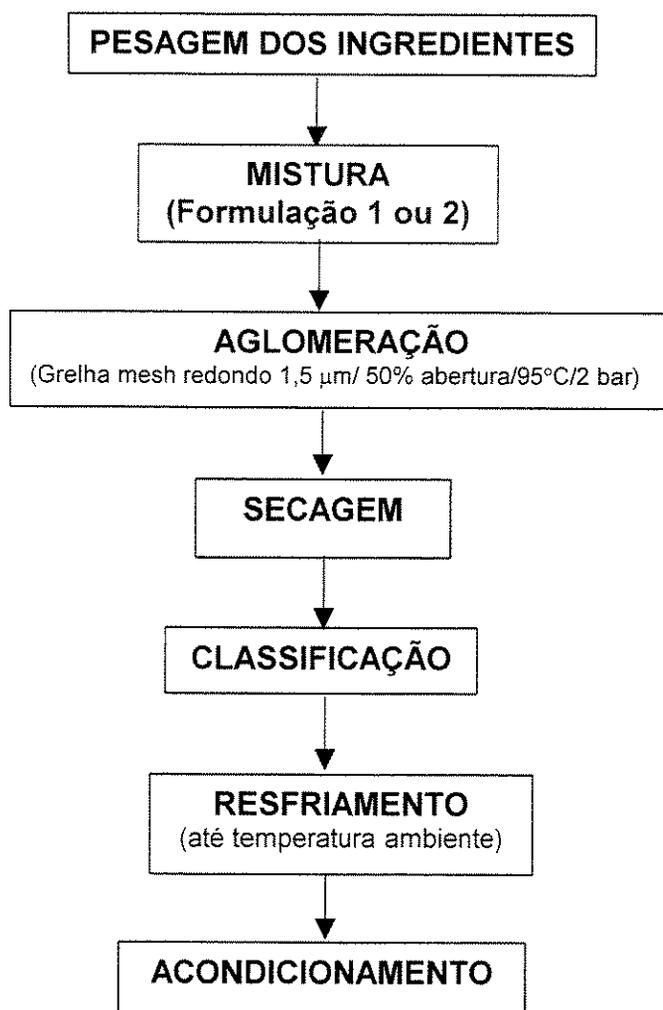
**Figura 3.** Instantaneizador utilizado para aglomeração das formulações (ICF INDUSTRIE CIBEC S.P.A. – FOOD DIVISION, 2001). (1) Tremóia de alimentação; (2) Difusor de vapor; (3) Esteira vibratória inclinada; (4) Capa de aspiração; (5) Ventilador de aspiração (exaustor); (6) Ventilador; (7) Classificador do pó; (8) Secador rotativo.

## 3.2. Métodos

### 3.2.1. Processo de aglomeração

Para o processo de aglomeração foram utilizados os seguintes parâmetros de processo: grelha de mesh redondo 1,5 mm, com abertura de 50%, temperatura do vapor 95°C e pressão do vapor 2 bar.

Após a aglomeração e resfriamento, os produtos foram acondicionados em potes plásticos de 1 kg cada, com tampa de pressão e armazenados à temperatura ambiente. O fluxograma de obtenção dos aglomerados pode ser visualizado na Figura 4.



**Figura 4.** Fluxograma de obtenção dos produtos aglomerados.

### 3.2.2. Composição química aproximada dos componentes das formulações

O conteúdo de proteína bruta para os isolados protéicos de soja e soro de leite foi determinado pelo método semi-micro Kjeldahl (A.O.A.C., 1995). Para a conversão de nitrogênio em proteína, o conteúdo de nitrogênio foi multiplicado pelo fator 6,25 para os isolados protéicos de soja e pelo fator 6,38 para o soro de leite (A.O.A.C., 1995; SMITH; CIRCLE, 1972).

O conteúdo de lipídios totais para os isolados protéicos de soja foi determinado segundo o método descrito por Bligh e Dyer (1959). Para o soro de leite, o conteúdo de

lipídios foi determinado pelo método de Mojonnier, como recomendado pela A.O.A.C. (1995) para produtos de leite.

A umidade dos isolados protéicos de soja foi determinada pelo método gravimétrico em estufa a 105°C até peso constante, sendo que para o soro de leite e para a maltodextrina foi utilizado o método gravimétrico em estufa à vácuo a 70°C por 8 horas, conforme método recomendado pela A.O.A.C. (1995) para açúcares e produtos açucarados.

O conteúdo de cinzas para os isolados protéicos de soja e soro de leite foi determinado pelo método de incineração em mufla à 550°C, até peso constante (A.O.A.C., 1995).

O conteúdo de lactose foi determinado para o soro de leite através do método descrito por LANARA – Secretaria de Defesa Agropecuária, M. A. (1981).

### **3.2.3. Caracterização dos isolados protéicos de soja**

#### **3.2.3.1. Eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE) das proteínas totais**

A determinação do perfil eletroforético das proteínas totais foi feita de acordo com o procedimento descrito por Laemmli (1970). Amostras com 0,4% de proteína foram dissolvidas em 1 mL de tampão contendo 0,5 M Tris-HCl (pH 6,8), 10% SDS, 10% de glicerol, 5% de  $\beta$ -mercaptoetanol e 0,1% de azul de bromofenol e aquecidas as 90°C por 5 minutos e depois resfriadas. A concentração do gel de empilhamento foi de 4% de acrilamida e do gel de separação de 12%. A SDS-PAGE foi realizada utilizando-se sistema tampão de SDS-Tris-Glicina e um sistema Mini-Protein II a 120 V. Os pesos moleculares das proteínas foram determinados utilizando-se o padrão da Sigma Chemical: fosforilase b (96 kDa), albumina bovina (67 kDa), ovalbumina (43 kDa), anidrase carbônica (30 kDa), inibidor de tripsina (20,1 kDa) e  $\alpha$  lactalbumina (14,4 kDa). O gel foi mantido por 12 horas em solução aquosa a 0,2% (p/v) de azul Coomassie R-250 e descorado em água destilada. A densitometria do gel foi efetuada em densitômetro Sharp JX 330, empregando software Image Master (Pharmacia).

### **3.2.3.2. Hidrofobicidade superficial**

A hidrofobicidade superficial dos IPSs foi determinada pelo método de ligação com SDS de acordo com Kato et al. (1984), com modificações de Molina, Papadopoulou e Ledward (2001). Alíquotas com 0,1% (p/v) de IPS e 200 µl de SDS (dodecil sulfato de sódio) 1% foram agitadas por 30 minutos a 300 rpm e dialisadas contra 25 volumes de tampão fosfato de sódio 0,7 mM, pH 7,2 por 24 horas. Após a diálise, alíquotas de 1 mL foram adicionadas à 3 mL de clorofórmio e a 0,5 mL de azul de metileno 0,5% (p/v), diluído 1:100 em tampão fosfato de sódio 0,7 mM, pH 7,2, agitadas vigorosamente em misturador Vortex e centrifugadas a 2000 rpm por 3 minutos a 4°C. A absorbância da fase clorofórmica (inferior) da mistura SDS-azul de metileno foi lida a 655 nm em espectrofotômetro, contra o branco contendo 3 mL de clorofórmio e 0,5 mL de azul de metileno 0,5%, conforme recomendado por Hayashi (1975). A curva de calibração do SDS também foi feita de acordo com Hayashi (1975) e a capacidade de ligação com SDS foi apresentada como µg SDS/500 µg de proteína.

### **3.2.3.3. Grupos sulfidrilas livres**

Os grupos sulfidrilas livres (SH) dos IPSs foram determinados segundo Beveridge, Toma e Nakai (1974), com modificações sugeridas por Wagner e Añon (1990). Amostras de 30-50 mg de cada IPS foram solubilizadas em 5 mL de tampão Tris-0,086 M-glicina 0,09 M-EDTA 0,004 M (pH 8,0) contendo 8 M de uréia e mantida sob suave agitação até completa dispersão. Estas preparações foram centrifugadas a 10000 g por 10 minutos. À 3 mL do sobrenadante foi adicionado 30 µl do reagente de Ellman (4 mg/mL em tampão Tris-Glicina, pH 8,0).

A absorbância a 412 nm foi lida 5 minutos após a adição do reagente, contra o branco contendo 5 mL do tampão Tris-Glicina (8 M de uréia) e 30 µl do reagente de Ellman. Para o cálculo da quantidade de sulfidrilas livres contida nos isolados, utilizou-se a fórmula:

$$SH = (73,53 \times Abs \times D) / C \quad (2)$$

Onde: SH = sulfidrilas livres em  $\mu\text{M/g}$ ;

Abs. = absorvância lida em 412 nm;

D = fator de diluição;

C = concentração em mg sólidos/mL.

#### 3.2.3.4. Capacidade de absorção de água

A capacidade de absorção de água dos IPSs foi determinada usando-se modificação do aparato de Baumann (1966) proposto por Torgensen e Toledo (1977). O aparato consiste de um capilar horizontal conectado a um funil de Büchner por uma mangueira flexível. Amostras de 100 mg foram espalhadas no papel de filtro Whatman nº 1, úmido, colocado no topo do funil que foi mantido no mesmo nível da pipeta. O aparato foi equilibrado por 10 minutos antes de cada ensaio. A absorção de água no equilíbrio foi expressa como mL de água absorvida/g de proteína.

#### 3.2.3.5. Índice de dispersibilidade de proteína

O índice de dispersibilidade de proteína (IDP) foi determinado segundo o método 46-24 da A.A.C.C. (1983) com modificações. Após a homogeneização da amostra em água, a dispersão foi misturada a 8500 rpm por 10 minutos. O material foi transferido para recipientes fechados com tampa e mantidos sob refrigeração, até o fim do processo de sedimentação. Alíquotas do sobrenadante foram transferidas para tubos de centrifuga de 50 mL e centrifugadas a 1800 g por 10 minutos. Após a centrifugação, alíquotas do sobrenadante foram pipetadas para a determinação da proteína dispersível em água (PDA) pelo método semi-micro Kjeldahl (A.O.A.C., 1995). A porcentagem de proteína dispersível em água foi calculada pela fórmula:

$$PDA = \{(Va - Vb)N \times 0,014 \times 6,25 \times 100\} / Pa \quad (3)$$

Onde: PDA = proteína dispersível em água expressa em %;  
Va = volume de HCl gasto na titulação da amostra;  
Vb = volume de HCl gasto na titulação do branco;  
N = normalidade do HCl;  
Pa = peso da amostra em base seca.

O valor do índice de dispersibilidade da proteína é o quociente entre a proteína dispersível em água e a proteína total da amostra:

$$IDP = (PDA / P_t)100 \quad (4)$$

Onde: IDP = índice de dispersibilidade de proteína expresso em %;  
PDA = proteína dispersível em água expressa em %;  
P<sub>t</sub> = proteína total expressa em %.

Para cada um dos IPSs, realizou-se três extrações, e para cada extrato, a proteína dispersível em água foi determinada com três repetições.

### **3.2.4. Caracterização dos produtos aglomerados**

#### **3.2.4.1. Composição química aproximada**

O conteúdo de proteína bruta foi determinado pelo método semi-micro Kjeldahl (A.O.A.C., 1995). Para a conversão de nitrogênio em proteína, o conteúdo de nitrogênio foi multiplicado pelo fator 6,25 (SMITH; CIRCLE, 1972). O conteúdo de lipídios totais foi determinado segundo o método descrito por Bligh e Dyer (1959). A umidade foi determinada pelo método gravimétrico em estufa a 105°C até peso constante, conforme método recomendado pela A.O.A.C. (1995). O conteúdo de cinzas foi determinado pelo método de incineração em mufla à 550°C, até peso constante. (A.O.A.C., 1995).

### 3.2.4.2. Rendimento do processo de aglomeração

Os rendimentos do processo de aglomeração foram obtidos através da diferença de massa utilizada para um lote antes e após o processo de aglomeração e foram expressos em % e em base seca.

### 3.2.4.3. Propriedades físicas dos produtos aglomerados

#### 3.2.4.3.1. Densidade aparente

A densidade aparente foi determinada com base em sua definição: massa de partículas que ocupa determinado volume (PELEG, 1983). A análise consistiu em colocar 3 g de amostra em uma proveta graduada de 25 mL com o auxílio de um funil e assim padronizar a distribuição do produto e minimizar os efeitos de compactação dos aglomerados. O volume ocupado por 3 g de amostra foi utilizado no cálculo:

$$\rho_{ap} = m / v \quad (5)$$

Onde:  $\rho_{ap}$  = densidade aparente;  
m = massa;  
v = volume.

#### 3.2.4.3.2. Densidade de partículas

A densidade de partículas foi determinada através do método do picnômetro, como recomendado por Pomeranz e Meloan (1994), utilizando-se o tolueno como líquido inerte ( $\rho = 0,866 \text{ g/cm}^3$  a  $25^\circ\text{C}$ ).

#### 3.2.4.3.3. Porosidade

A porosidade dos aglomerados foi determinada segundo Peleg (1983), pela equação (1), previamente apresentada.

**3.2.4.3.4. Distribuição granulométrica**

A distribuição granulométrica dos isolados protéicos de soja, soro de leite, maltodextrina e produtos aglomerados foi determinada utilizando-se o equipamento vibratório Granutest e peneiras com aberturas de 250, 350 e 500  $\mu\text{m}$  por 5 minutos. As quantidades retidas em cada peneira foram pesadas e expressas em porcentagens.

**3.2.4.3.5. Microscopia eletrônica de varredura**

Foram preparados suportes de acordo com Rosenberg e Young (1993). Amostras dos aglomerados foram fixadas nos suportes com o uso de fita adesiva e metalizadas com ouro em alto vácuo em Sputter (180 s/40 mA). A observação dos produtos aglomerados foi feita em um microscópio eletrônico de varredura (MEV) (JEOL JSM – 5800LV) em 10 kv, com ampliações de 400 vezes.

**3.2.4.4. Propriedades funcionais dos produtos aglomerados****3.2.4.4.1. Índice de dispersibilidade de proteína**

O índice de dispersibilidade de proteína dos produtos aglomerados foi determinado conforme descrito no item 3.2.3.5.

**3.2.4.4.2. Índice de separação**

A determinação do índice de separação das formulações não aglomeradas e aglomeradas em água a 25°C foi baseada na metodologia descrita por Kulkarni, Kulkarni e Ingle (1991), com modificações. A metodologia consistiu em adicionar 10 g de amostra à 100 mL de água destilada e levar a mistura para agitação a 330 rpm por 30 segundos. A mistura foi deixada em repouso por 3 horas e o volume separado subtraído de 100 para expressar o índice de separação.

**3.2.4.4.3. Tempo de dissolução**

O tempo de dissolução dos isolados protéicos de soja, formulações não aglomeradas e aglomeradas foi determinado através do método descrito por Millqvist-

Fureby, Elofsson e Bergentahl (2001). À cubeta contendo 3,0 mL de água destilada a 25°C foram adicionados 30 mg de amostra e em seguida, foram lidas absorvâncias a 620 nm, em intervalos de 1 minuto. O tempo em que se deu a máxima absorvância foi expresso em minutos.

#### **3.2.4.4. Dispersibilidade**

A dispersibilidade dos aglomerados foi medida de acordo com Kinsella (1984). A análise consistiu em adicionar amostras de aglomerado com massa equivalente a 5% de proteína em 100 mL de água destilada a 25°C e agitar a mistura a 330 rpm por 30 segundos, utilizando um agitador mecânico. Após a agitação, a mistura foi mantida em repouso por 30 segundos e filtrada em peneira 32 mesh (abertura da malha igual a 0,5 mm) por 2 minutos e 30 segundos, sendo o filtrado pesado em balança semi-analítica e expresso como % de solubilidade.

#### **3.2.5. Análise estatística**

Nos resultados experimentais, as médias foram comparadas com o uso de análise de variância e, quando diferentes, pelo método de Tukey ( $p < 0,05$ ) (COCKRAN; COX, 1957), utilizando-se o programa computacional Statistica 5.0.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Composição química aproximada dos componentes das formulações

A composição química aproximada dos isolados protéicos de soja (IPSS) utilizados é apresentada na Tabela 2. Os valores de proteína encontrados variaram de 81,34% a 94,75%. O valor de 81,34% está abaixo do que é preconizado por definição para isolados protéicos de soja que devem conter de 90% a 92% de proteína em base seca (N x 6,25) (LUSAS; RIAZ, 1995). Henn e Netto (1998) também encontraram valores de proteína abaixo de 90% para IPSS comerciais (87,9% a 94,1%), assim como Arrese et al. (1991) (83,0% a 90,0%) e Wagner, Sorgentini e Añon (2000) (86,6%).

**Tabela 2.** Composição química aproximada dos isolados protéicos de soja.

IPSS	Proteína (%) <sup>1,2,3</sup>	Lipídios (%) <sup>1,2,3</sup>	Umidade (%) <sup>1,3</sup>	Cinzas (%) <sup>1,2,3</sup>
LH	94,75 ± 0,35 <sup>a</sup>	3,30 ± 0,12 <sup>b,c</sup>	4,34 ± 0,09 <sup>b</sup>	4,71 ± 0,03 <sup>c</sup>
NB	93,69 ± 1,99 <sup>b</sup>	3,35 ± 0,10 <sup>b,c</sup>	4,71 ± 0,10 <sup>a</sup>	4,09 ± 0,02 <sup>d</sup>
MK	91,48 ± 0,45 <sup>b</sup>	3,45 ± 0,03 <sup>b</sup>	3,39 ± 0,06 <sup>c</sup>	5,15 ± 0,02 <sup>b</sup>
CH	92,77 ± 0,91 <sup>a</sup>	3,19 ± 0,06 <sup>c</sup>	3,18 ± 0,10 <sup>c</sup>	3,28 ± 0,10 <sup>e</sup>
SP	81,34 ± 0,05 <sup>c</sup>	4,03 ± 0,08 <sup>a</sup>	4,69 ± 0,06 <sup>a</sup>	12,53 ± 0,04 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Valores médios de três determinações ± desvio padrão.

<sup>2</sup>Valores expressos em base seca.

<sup>3</sup>Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

O conteúdo de lipídios totais dos IPSS variou de 3,19% a 4,03%, valores semelhantes aos encontrados por Henn e Netto (1998) (3,0% a 4,7%) e por Boatright e Hettiarachchy (1995a) (3,9% a 4,8%), porém superiores aos reportados por Wagner, Sorgentini e Añon (2000) (2,2%).

Os valores de umidade encontrados neste estudo foram inferiores aos observados por García et al. (1997) 5,8%, por Henn e Netto (1998) 4,1% a 7,9% e por Wagner e Añon (1990) 5%.

O conteúdo de cinzas para os IPSs LH, NB, MK e CH esteve de acordo com o observado por Henn e Netto (1998). No entanto, para o IPS SP, o teor de cinzas encontrado foi de 12,53% (b.s.), cerca de 3 vezes superior aos demais IPSs e superior ao encontrado por García et al. (1997) (9,92%), mas próximo ao valor fornecido pelo fabricante (11,52%). Esse maior conteúdo de cinzas poderia ser devido à hidrólise parcial e também à adição de fosfato de cálcio.

Os valores da composição química dos isolados protéicos, além dos fatores do processo, dependem da espécie da soja, condições de produção dos cultivares como temperatura, umidade, acidez, níveis de fósforo do solo e do processamento utilizado (PETRUCELLI; AÑON, 1994).

A Tabela 3 mostra a composição química aproximada do soro de leite utilizado nas formulações. Os valores de proteína e cinzas estão de acordo com os valores publicados por Kinsella (1984) para o soro de leite em pó (11-15% de proteína e 8-10% de cinzas) e por Renner (1983) (12,5% de proteína e 8-10,5% de cinzas), sendo que o conteúdo de lactose mostrou-se um pouco inferior ao valor relatado por Kinsella (1984) (65-70%), mas de acordo com o reportado por Renner (1983). Observa-se que o soro de leite em pó tem alto conteúdo de lactose e cinzas, o que segundo Kinsella (1984) limita sua utilização como ingrediente funcional e torna interessante a remoção da lactose e dos minerais. A maltodextrina apresentou conteúdo de umidade de 3,33% ± 0,16.

**Tabela 3.** Composição química aproximada do soro de leite.

Amostras	Proteína (%) <sup>1,2</sup>	Lipídios (%) <sup>1,2</sup>	Umidade (%) <sup>1,2</sup>	Cinzas (%) <sup>1,2</sup>	Lactose (%) <sup>1,2</sup>
Soro de Leite	13,19 ± 0,21	2,35 ± 0,09	2,64 ± 0,02	8,47 ± 0,02	74,80 ± 1,62

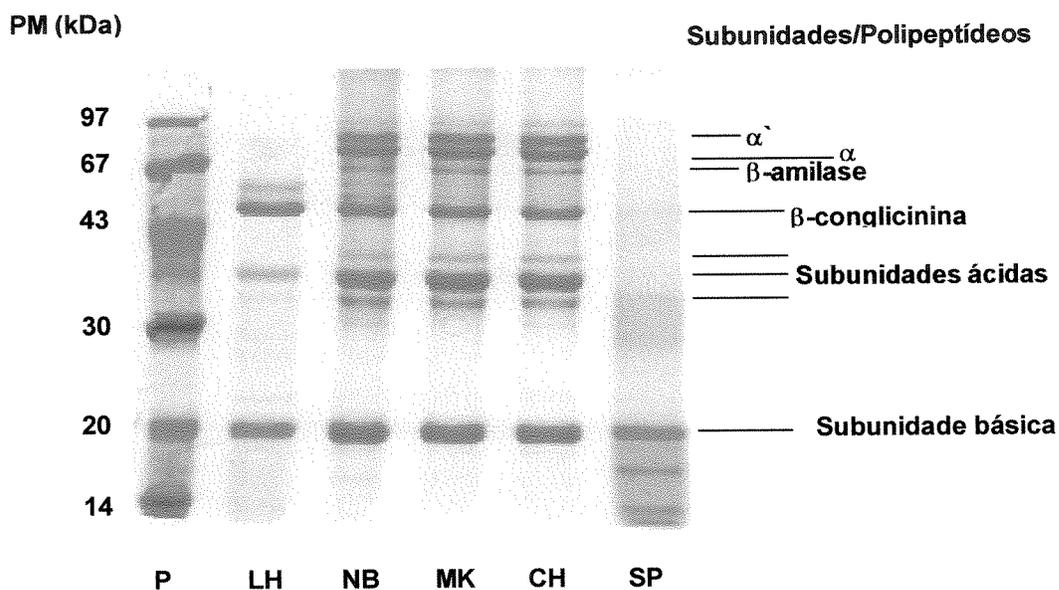
<sup>1</sup>Valores médios de três determinações ± desvio padrão.

<sup>2</sup>Valores expressos em base seca.

## 4.2. Caracterização dos isolados protéicos de soja

### 4.2.1. Eletroforese em gel de poliacrilamida (SDS-PAGE) das proteínas totais

Os perfis eletroforéticos das proteínas dos isolados protéicos de soja comerciais são apresentados na Figura 5 e as composições relativas das subunidades/polipeptídeos estão na Tabela 4.



**Figura 5.** Eletroforese em gel de poliacrilamida, na presença de dodecil sulfato de sódio (SDS-PAGE) dos isolados protéicos de soja comerciais. P – padrão; LH; NB; MK; CH e SP - isolados protéicos de soja comerciais.

Os IPSs NB, MK e CH mostraram perfil eletroforético semelhante, com bandas correspondentes às subunidades  $\alpha'$  (57-83 kDa),  $\alpha$  ( 57-76 kDa),  $\beta$  (42-53 kDa) da fração 7S e aos polipeptídeos ácidos (37-45 kDa) e básicos (18-20 kDa) da fração 11S, valores que estão de acordo com Arrese et al. (1991), Fukushima (2000), Kinsella (1979) e Petrucelli e Anón (1995).

O IPS LH apresentou bandas muito claras para a  $\alpha'$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ -amilase, mas valores de aproximadamente 67% nas composições relativas da  $\beta$ -conglucina e do polipeptídeo básico da fração 11S (Tabela 4). O IPS SP apresentou apenas uma banda correspondente ao polipeptídeo básico da fração 11S e polipeptídeos de peso molecular abaixo de 20 kDa, o que sugere que este IPS foi hidrolisado. Henn e Netto (1997) também observaram polipeptídeos de peso molecular abaixo de 20 kDa no isolado protéico SP (Supro Plus, Protein Technologies International).

**Tabela 4.** Composição relativa das subunidades/polipeptídeos das globulinas 7S e 11S presentes nos isolados protéicos de soja totais<sup>1</sup>.

IPSs	7S				11S	
	$\alpha'$	$\alpha$	$\beta$ -amilase	$\beta$ -conglucina	Ácida	Básica
LH	-	-	-	67,63	32,71	67,29
NB	27,28	24,63	15,90	32,19	50,18	49,81
MK	25,36	27,37	14,00	33,27	62,49	37,50
CH	24,30	30,50	18,70	26,50	59,44	40,55
SP	-	-	-	-	-	100

<sup>1</sup> Os valores representam a porcentagem da área das subunidades em relação à área total da globulina 7S e a porcentagem dos polipeptídeos em relação à área total da globulina 11S, calculadas a partir da densitometria do gel de eletroforese.

#### 4.2.2. Hidrofobicidade superficial, grupos sulfidrilas livres, capacidade de absorção de água e índice de dispersibilidade de proteína

Os resultados obtidos para hidrofobicidade superficial, grupos sulfidrilas livres, capacidade de absorção de água e índice de dispersibilidade de proteína dos isolados protéicos de soja estão apresentados na Tabela 5.

De acordo com Kato et al. (1984), a capacidade de ligação com o SDS aumenta conforme aumenta a hidrofobicidade superficial das proteínas. Com base nesta relação, pode-se observar que os IPSs formam três grupos com valores de hidrofobicidade superficial distintos. O primeiro grupo formado pelos IPSs MK e SP com 49,90  $\mu$ g de SDS/500  $\mu$ g de proteína e 54,44  $\mu$ g de SDS/500  $\mu$ g de proteína; o segundo grupo

formado pelos IPSs LH e CH com hidrofobicidades superficiais de 75,14  $\mu\text{g}$  de SDS/500  $\mu\text{g}$  de proteína e 74,04  $\mu\text{g}$  de SDS/500  $\mu\text{g}$  de proteína e o terceiro formado pelo IPS NB com hidrofobicidade superficial de 88,60  $\mu\text{g}$  de SDS/500  $\mu\text{g}$  de proteína.

Molina, Papadopoulou e Ledward (2001) estudaram o efeito de tratamentos com diferentes pressões (0,1 MPa, 200 MPa, 400 MPa e 600 MPa) em isolado protéico de soja produzido em laboratório e suas frações 7S e 11S, nos pHs 6,5 e 7,5. Os autores atribuíram a hidrofobicidade superficial das frações tratadas com baixas pressões (0,1 MPa e 200 MPa) à possível desnaturação parcial e exposição dos grupos hidrofóbicos. No entanto, conforme as frações eram submetidas a maiores pressões, tornavam-se altamente desnaturadas até que houvesse agregação devido à oxidação dos grupos sulfidrílicos, levando à formação de pontes dissulfídicas, à perda de solubilidade e à diminuição da hidrofobicidade superficial.

Os valores de grupos sulfidrilas livres encontrados para os IPSs variaram de 8,04  $\mu\text{MSH/g}$  proteína a 12,52  $\mu\text{MSH/g}$  proteína e estão de acordo com os valores reportados por Boatright e Hettiarachchy (1995a,b) (8,32  $\mu\text{MSH/g}$  para IPS nativo e 10,12 a 12,21  $\mu\text{MSH/g}$  para IPSs adicionados de antioxidantes), mas superiores aos valores reportados por Genovese e Lajolo (1993) (2,05  $\mu\text{MSH/g}$  para IPSs produzidos a partir de grãos normais e 2,42  $\mu\text{MSH/g}$  e 2,85  $\mu\text{MSH/g}$  para IPSs produzidos a partir de grãos fungados e quebrados, respectivamente) e por Wagner e Añon (1990) (0,036 a 5,935  $\mu\text{MSH/g}$  para IPSs comerciais com variados graus de desnaturação).

Diferenças entre os valores encontrados para os grupos sulfidrilas livres dos IPSs estudados podem ser atribuídas aos diferentes graus de desnaturação e exposição dos grupos SH que, desta forma, se tornam susceptíveis à oxidação, podendo formar pontes dissulfídicas e diminuir a solubilidade (FUKUSHIMA, 1980; KALAPATHY; HETTIARACHCHY; RHEE, 1997; MOLINA; PAPADOPOULOU; LEDWARD, 2001).

**Tabela 5.** Hidrofobicidade superficial, grupos sulfidrilas livres, capacidade de absorção de água e índice de dispersibilidade de proteína dos isolados protéicos de soja.

Análises	LH	NB	MK	CH	SP
<b>Hidrofob.</b> <sup>1,2</sup> ( $\mu\text{g SDS}/500\mu\text{g proteína}$ )	75,14 $\pm$ 1,36 <sup>b</sup>	88,60 $\pm$ 2,84 <sup>a</sup>	49,90 $\pm$ 1,77 <sup>c</sup>	74,04 $\pm$ 2,07 <sup>b</sup>	54,44 $\pm$ 1,20 <sup>c</sup>
<b>Sulf. Livre</b> <sup>1,2</sup> ( $\mu\text{MSH}/\text{g proteína}$ )	10,62 $\pm$ 0,10 <sup>b</sup>	12,52 $\pm$ 0,48 <sup>a</sup>	11,19 $\pm$ 0,18 <sup>b</sup>	8,04 $\pm$ 0,11 <sup>c</sup>	11,19 $\pm$ 0,14 <sup>b</sup>
<b>CAA</b> <sup>1,2</sup> (mL água absorvida/g proteína)	4,40 $\pm$ 0,01 <sup>c</sup>	7,50 $\pm$ 0,01 <sup>a</sup>	6,20 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>	6,20 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>	2,70 $\pm$ 0,06 <sup>d</sup>
<b>IDP</b> <sup>1,2</sup> (%)	76,75 $\pm$ 0,81 <sup>a</sup>	67,60 $\pm$ 1,61 <sup>b</sup>	27,32 $\pm$ 0,06 <sup>d</sup>	34,50 $\pm$ 0,26 <sup>c</sup>	66,69 $\pm$ 0,00 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Valores médios de três determinações  $\pm$  desvio padrão.

<sup>2</sup>Valores com letras diferentes na mesma linha diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

A capacidade de absorção de água dos IPSs variaram de 2,70 mL água absorvida/g proteína a 7,50 mL água absorvida/g proteína ( $p < 0,05$ ), sendo que os IPSs MK e CH apresentaram a mesma CAA, como pode ser observado na Tabela 5. Os valores encontrados estão de acordo com a faixa de valores encontrados por Elizalde et al. (1988) para IPSs comerciais (2,48 mL água absorvida/g proteína a 19,9 mL água absorvida/g proteína), por Remondetto, Añon e González (2001) para IPSs produzidos em planta piloto (3,5 mL água absorvida/g proteína a 10,1 mL água absorvida/g proteína) e por Pilosof, Boquet e Bartholomai (1985) para IPS comercial (7,81 mL água absorvida/g proteína).

Através da Tabela 6 e Figura 6 verifica-se que os IPSs apresentaram perfil semelhante para as curvas de absorção de água, com CAAs do equilíbrio atingidas entre 1 e 5 minutos.

Tabela 6. Capacidade de absorção de água dos isolados protéicos de soja.

IPSS	Tempo <sup>1,2</sup> (minutos)	CAA <sup>1,2</sup> (mL água absorvida/g proteína)
LH	4 ± 0,00	4,40 ± 0,01 <sup>c</sup>
NB	5 ± 0,00	7,50 ± 0,01 <sup>a</sup>
MK	2 ± 0,00	6,20 ± 0,01 <sup>b</sup>
CH	1 ± 0,00	6,20 ± 0,01 <sup>b</sup>
SP	3 ± 0,00	2,70 ± 0,01 <sup>d</sup>

<sup>1</sup>Valores médios de três determinações ± desvio padrão.

<sup>2</sup>Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

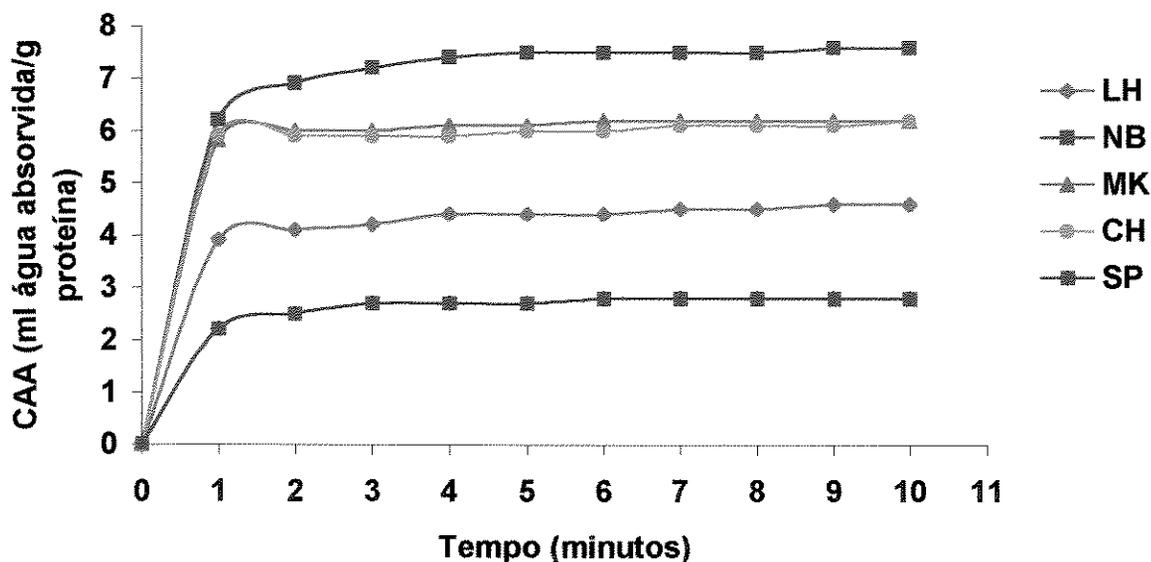


Figura 6. Curvas de absorção de água dos isolados protéicos de soja.

Diferenças entre as CAAs dos IPSS comerciais têm sido atribuídas à desnaturação de suas proteínas. Isolados protéicos que contém mais proteínas desnaturadas e apresentam menor solubilidade exibem maior CAA (ARRESE et al., 1991; ELIZALDE et al., 1988; KINSELLA, 1979; REMONDETTO; AÑÓN; GONZÁLEZ, 2001; WAGNER; ANÓN, 1990).

Os IPSs apresentaram diferentes índices de dispersibilidade de proteína, valores entre 27,32% e 76,75%. Resultados similares foram obtidos por Henn e Netto (1998) em estudo com 13 IPSs comerciais (11,7% a 88,7%). Isolados protéicos de soja comerciais apresentam variações na solubilidade devido aos diferentes processos de obtenção, que levam a diferentes graus de desnaturação (WOLF, 1972).

Moléculas desnaturadas sofrem alterações na estrutura, tais como desenrolamento e dissociação, hidrólise e quebra das pontes dissulfeto, favorecendo a exposição de sítios hidrofóbicos e de grupos sulfidrílicos, anteriormente localizados no interior da molécula enovelada, aumentando a hidrofobicidade superficial e o conteúdo de SH livres das proteínas (AOKI et al., 1981; KINSELLA; FOX, 1986; NIR et al., 1994). O desenrolamento da molécula protéica também pode levar ao aumento da CAA, devido à exposição de cadeias laterais hidrofílicas de aminoácidos (HETTIARACHCHY; KALAPATHY, 1997; VOUSINAS; CHEUNG; NAKAI, 1983).

Isolados protéicos de soja hidrolisados, como o isolado SP, exibem menor capacidade de absorção de água por possuírem peptídeos de baixo peso molecular devido à hidrólise e maior índice de dispersibilidade de proteína. De acordo com Elizalde et al. (1988) e Wu, Hettiarachchy e Qi, (1988), proteínas hidrolisadas têm sua solubilidade aumentada pela exposição de aminoácidos polares que interagem com moléculas de água através de pontes de hidrogênio e interações eletrostáticas.

Visto que os IPSs comerciais estudados não sofreram nenhum tratamento adicional ao processo de obtenção para a determinação da hidrofobicidade superficial, os diferentes valores encontrados poderiam ser atribuídos aos diferentes processos de obtenção e isolamento, que levaram a diferentes graus de desnaturação e agregação.

### 4.3. Caracterização dos produtos aglomerados

#### 4.3.1. Composição química aproximada dos produtos aglomerados e rendimentos do processo de aglomeração

A composição química dos aglomerados das formulações 1 e 2 está apresentada nas Tabelas 7 e 8, respectivamente. Valores de conteúdo protéico, lipídios, umidade e cinzas estão de acordo com o esperado, já que a formulação 1 era composta por 70% de IPS, 20% de maltodextrina e 10% de açúcar e a formulação 2 de 35% de IPS, 35% de soro de leite, 20% de maltodextrina e 10% de açúcar. Variações entre os aglomerados de uma mesma formulação, foram resultado das diferenças entre a composição química dos IPSs e/ou às pequenas perdas de material ocorridas durante o processo de aglomeração. Nota-se o alto valor de carboidratos da formulação 2 devido à adição de soro de leite com alto teor de lactose.

Na formulação 2, o soro de leite (13% de proteína em base seca) contribuiu com cerca de 4,55% para o conteúdo protéico e os IPSs com valores de 28,80% a 31,80%.

**Tabela 7.** Composição química aproximada dos produtos aglomerados da formulação 1.

Aglom.	Proteína (%) <sup>1,2,3</sup>	Lipídios (%) <sup>1,2,3</sup>	Umidade (%) <sup>1,3</sup>	Cinzas (%) <sup>1,2,3</sup>	Carboidratos (%) <sup>2,4</sup>
LH <sub>1</sub>	65,21 ± 0,33 <sup>a</sup>	2,17 ± 0,10 <sup>b</sup>	2,88 ± 0,04 <sup>b</sup>	3,24 ± 0,05 <sup>c</sup>	26,42
NB <sub>1</sub>	57,51 ± 1,07 <sup>b</sup>	2,33 ± 0,08 <sup>b</sup>	3,04 ± 0,11 <sup>b</sup>	2,67 ± 0,05 <sup>d</sup>	34,35
MK <sub>1</sub>	65,35 ± 1,02 <sup>a</sup>	2,31 ± 0,02 <sup>b</sup>	4,00 ± 0,12 <sup>a</sup>	3,67 ± 0,03 <sup>b</sup>	24,50
CH <sub>1</sub>	66,19 ± 0,03 <sup>a</sup>	2,23 ± 0,03 <sup>b</sup>	3,85 ± 0,09 <sup>a</sup>	2,55 ± 0,02 <sup>e</sup>	25,02
SP <sub>1</sub>	56,40 ± 0,05 <sup>b</sup>	2,75 ± 0,06 <sup>a</sup>	3,07 ± 0,10 <sup>b</sup>	8,33 ± 0,09 <sup>a</sup>	29,35

<sup>1</sup>Valores médios de três determinações ± desvio padrão.

<sup>2</sup>Valores expressos em base seca.

<sup>3</sup>Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

<sup>4</sup>Carboidratos obtidos por diferença.

**Tabela 8.** Composição química aproximada dos produtos aglomerados da formulação 2.

Aglom.	Proteína (%) <sup>1,2,3</sup>	Lipídios (%) <sup>1,2,3</sup>	Umidade (%) <sup>1,3</sup>	Cinzas (%) <sup>1,2,3</sup>	Carboidratos(%) <sup>2,4</sup>
LH <sub>2</sub>	36,01 ± 0,12 <sup>a</sup>	1,81 ± 0,07 <sup>c</sup>	2,39 ± 0,05 <sup>e</sup>	3,45 ± 0,09 <sup>c</sup>	56,28
NB <sub>2</sub>	36,34 ± 0,04 <sup>a</sup>	2,14 ± 0,06 <sup>a,b</sup>	2,81 ± 0,08 <sup>d</sup>	3,46 ± 0,01 <sup>c</sup>	55,17
MK <sub>2</sub>	34,69 ± 0,02 <sup>b</sup>	2,19 ± 0,01 <sup>a</sup>	3,47 ± 0,05 <sup>b</sup>	3,98 ± 0,04 <sup>b</sup>	55,54
CH <sub>2</sub>	34,80 ± 0,03 <sup>b</sup>	2,18 ± 0,03 <sup>a,b</sup>	3,69 ± 0,01 <sup>a</sup>	3,49 ± 0,06 <sup>c</sup>	55,70
SP <sub>2</sub>	33,34 ± 0,10 <sup>c</sup>	2,04 ± 0,03 <sup>b</sup>	3,00 ± 0,03 <sup>c</sup>	6,82 ± 0,07 <sup>a</sup>	54,71

<sup>1</sup>Valores médios de três determinações ± desvio padrão.

<sup>2</sup>Valores expressos em base seca.

<sup>3</sup>Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

<sup>4</sup>Carboidratos obtidos por diferença.

Os rendimentos do processo de aglomeração para as formulações 1 e 2 podem ser visualizados na Tabela 9. Os rendimentos de ambas formulações foram altos, entretanto, para a formulação 1 observou-se valores um pouco inferiores à formulação 2.

**Tabela 9.** Rendimentos do processo de aglomeração das formulações 1 e 2.

Aglomerados	Formulação 1 <sup>1</sup> (%)	Formulação 2 <sup>1</sup> (%)
LH	96,91	97,52
NB	95,82	98,66
MK	92,77	96,41
CH	94,28	96,39
SP	91,92	96,88

<sup>1</sup>Valores em base seca.

### **4.3.2. Propriedades físicas dos produtos aglomerados**

#### **4.3.2.1. Densidade aparente, densidade de partículas e porosidade**

Para que a massa total de partículas se disperse, inicialmente é necessário que a superfície de cada partícula seja umedecida, que o líquido penetre no interior da estrutura porosa, disperse as partículas e dissolva as partículas solúveis (MASTERS, 1972; SCHMITT, 1995). Para isso, é necessário que os produtos aglomerados tenham maior densidade de partículas, menor densidade aparente e alta porosidade (KINSELLA, 1984). Quanto menor a densidade aparente, maior será a porosidade do grânulo e maior a área de superfície das partículas exposta e susceptível ao umedecimento.

Os aglomerados da formulação 2 apresentaram maiores valores de densidade aparente e de partículas, o que levou a valores de porosidade ligeiramente menores do que os aglomerados da formulação 1 (Tabelas 10 e 11). Observou-se altos valores de porosidade para os aglomerados de ambas as formulações (74% a 78%). No entanto, apesar de diferirem estatisticamente ( $p < 0,05$ ), os valores de densidade aparente, densidade de partículas e porosidade dos aglomerados das duas formulações foram muito próximos.

**Tabela 10.** Densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ), densidade de partículas ( $\rho_{part}$ ) e porosidade (P) dos produtos aglomerados da formulação 1.

Aglomerados	$\rho_{ap}$ (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>1,2</sup>	$\rho_{part}$ (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>1,3</sup>	P (%) <sup>1,2</sup>
LH <sub>1</sub>	0,25 ± 0,00 <sup>b</sup>	1,03 ± 0,01 <sup>e</sup>	76 <sup>a,b</sup>
NB <sub>1</sub>	0,25 ± 0,01 <sup>b</sup>	1,12 ± 0,01 <sup>c</sup>	78 <sup>a</sup>
MK <sub>1</sub>	0,29 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,17 ± 0,00 <sup>b</sup>	75 <sup>b</sup>
CH <sub>1</sub>	0,28 ± 0,00 <sup>a</sup>	1,20 ± 0,02 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>
SP <sub>1</sub>	0,28 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,09 ± 0,01 <sup>d</sup>	74 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Valores médios de três determinações ± desvio padrão.

<sup>2</sup>Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

**Tabela 11.** Densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ), densidade de partículas ( $\rho_{part}$ ) e porosidade (P) dos produtos aglomerados da formulação 2.

Aglomerados	$\rho_{ap}$ (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>1,2</sup>	$\rho_{part}$ (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>1,3</sup>	P (%) <sup>1,2</sup>
LH <sub>2</sub>	0,29 ± 0,01 <sup>b</sup>	1,16 ± 0,01 <sup>c</sup>	75 <sup>b</sup>
NB <sub>2</sub>	0,28 ± 0,00 <sup>b</sup>	1,21 ± 0,01 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>
MK <sub>2</sub>	0,31 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,22 ± 0,01 <sup>a</sup>	74 <sup>b</sup>
CH <sub>2</sub>	0,31 ± 0,00 <sup>a</sup>	1,18 ± 0,01 <sup>b</sup>	74 <sup>b</sup>
SP <sub>2</sub>	0,28 ± 0,00 <sup>b</sup>	1,21 ± 0,01 <sup>a</sup>	77 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Valores médios de três determinações ± desvio padrão.

<sup>2</sup>Valores com letras diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

#### 4.3.2.2. Distribuição granulométrica

Os isolados protéicos de soja, o soro de leite e a maltodextrina apresentaram mais de 85% de suas partículas com tamanho menor do que 125  $\mu\text{m}$ , tamanho característico de produtos secos em “spray dryer” (Tabela 12).

**Tabela 12.** Percentual dos componentes das formulações retido em peneira de 125  $\mu\text{m}$ .

Componentes	< 125 $\mu\text{m}$ <sup>1,2</sup>	125 $\mu\text{m}$ <sup>1,2</sup>
LH	92,17 $\pm$ 0,30 <sup>c</sup>	7,83 $\pm$ 0,30 <sup>b</sup>
NB	94,53 $\pm$ 0,32 <sup>b</sup>	5,47 $\pm$ 0,32 <sup>c</sup>
MK	97,17 $\pm$ 0,11 <sup>a</sup>	2,83 $\pm$ 0,11 <sup>d</sup>
CH	85,17 $\pm$ 0,02 <sup>d</sup>	14,83 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>
SP	ND	ND
Soro de leite	94,70 $\pm$ 0,01	5,30 $\pm$ 0,01
Maltodextrina	92,99 $\pm$ 0,11	7,01 $\pm$ 0,11

<sup>1</sup> Valores médios de três determinações  $\pm$  desvio padrão.

<sup>2</sup> Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

ND – Não determinado.

A distribuição granulométrica dos produtos aglomerados está apresentada nas Tabelas 13 e 14. Os aglomerados da formulação 1 (IPS, maltodextrina e açúcar) apresentaram comportamentos diferentes: dois deles, MK<sub>1</sub> e SP<sub>1</sub>, apresentaram majoritariamente partículas menores do que 250  $\mu\text{m}$  (85% e 77%, respectivamente), enquanto que para o aglomerado LH<sub>1</sub>, 87,5% de suas partículas apresentaram diâmetro maior ou igual a 500  $\mu\text{m}$ . O aglomerado NB<sub>1</sub> mostrou igual proporção (33 e 38%) de partículas com diâmetro maior do que 350  $\mu\text{m}$  e menor do que 250  $\mu\text{m}$  e o aglomerado CH<sub>1</sub> teve 63% de suas partículas com tamanho maior ou igual a 350  $\mu\text{m}$ .

**Tabela 13.** Distribuição granulométrica (%) dos produtos aglomerados da formulação 1.

Aglomerados	< 250 $\mu\text{m}$ <sup>1,2</sup>	250 $\mu\text{m}$ <sup>1,2</sup>	350 $\mu\text{m}$ <sup>1,2</sup>	500 $\mu\text{m}$ <sup>1,2</sup>
LH <sub>1</sub>	0,80 $\pm$ 0,26 <sup>e</sup>	0,23 $\pm$ 0,23 <sup>c</sup>	11,97 $\pm$ 1,53 <sup>c</sup>	87,53 $\pm$ 1,40 <sup>a</sup>
NB <sub>1</sub>	38,67 $\pm$ 0,38 <sup>c</sup>	10,60 $\pm$ 1,50 <sup>a</sup>	33,17 $\pm$ 0,49 <sup>b</sup>	17,77 $\pm$ 1,95 <sup>c</sup>
MK <sub>1</sub>	85,37 $\pm$ 0,32 <sup>a</sup>	6,03 $\pm$ 0,06 <sup>b</sup>	4,87 $\pm$ 0,25 <sup>e</sup>	3,73 $\pm$ 0,06 <sup>e</sup>
CH <sub>1</sub>	2,17 $\pm$ 0,06 <sup>d</sup>	0,80 $\pm$ 0,26 <sup>c</sup>	62,97 $\pm$ 2,00 <sup>a</sup>	34,17 $\pm$ 1,95 <sup>b</sup>
SP <sub>1</sub>	76,73 $\pm$ 0,66 <sup>b</sup>	6,87 $\pm$ 0,30 <sup>b</sup>	8,20 $\pm$ 0,36 <sup>d</sup>	8,90 $\pm$ 0,70 <sup>d</sup>

<sup>1</sup> Valores médios de três determinações  $\pm$  desvio padrão.

<sup>2</sup> Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

Os aglomerados com a formulação 2, independente do tipo de IPS utilizado, apresentaram a mesma distribuição granulométrica: 32-48% de partículas maiores do que 500  $\mu\text{m}$  e 40-54% menores do que 250  $\mu\text{m}$ , possivelmente devido à quebra dos grânulos durante o transporte e manuseio.

**Tabela 14.** Distribuição granulométrica (%) dos produtos aglomerados da formulação 2.

Aglomerados	< 250 $\mu\text{m}$ <sup>1,2</sup>	250 $\mu\text{m}$ <sup>1,2</sup>	350 $\mu\text{m}$ <sup>1,2</sup>	500 $\mu\text{m}$ <sup>1,2</sup>
LH <sub>2</sub>	47,67 $\pm$ 1,02 <sup>b</sup>	4,47 $\pm$ 0,29 <sup>c</sup>	5,07 $\pm$ 0,42 <sup>c</sup>	43,33 $\pm$ 0,61 <sup>b</sup>
NB <sub>2</sub>	54,33 $\pm$ 1,36 <sup>a</sup>	6,30 $\pm$ 0,17 <sup>a</sup>	7,13 $\pm$ 0,25 <sup>a</sup>	32,87 $\pm$ 1,85 <sup>c</sup>
MK <sub>2</sub>	44,27 $\pm$ 0,29 <sup>c</sup>	4,63 $\pm$ 0,15 <sup>c</sup>	5,93 $\pm$ 0,35 <sup>c</sup>	45,50 $\pm$ 1,08 <sup>a,b</sup>
CH <sub>2</sub>	46,50 $\pm$ 0,35 <sup>b,c</sup>	4,87 $\pm$ 0,06 <sup>c</sup>	6,17 $\pm$ 0,06 <sup>b,c</sup>	42,63 $\pm$ 0,23 <sup>b</sup>
SP <sub>2</sub>	40,03 $\pm$ 0,94 <sup>d</sup>	4,30 $\pm$ 0,61 <sup>b</sup>	6,90 $\pm$ 0,53 <sup>a,b</sup>	47,77 $\pm$ 0,70 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Valores médios de três determinações  $\pm$  desvio padrão.

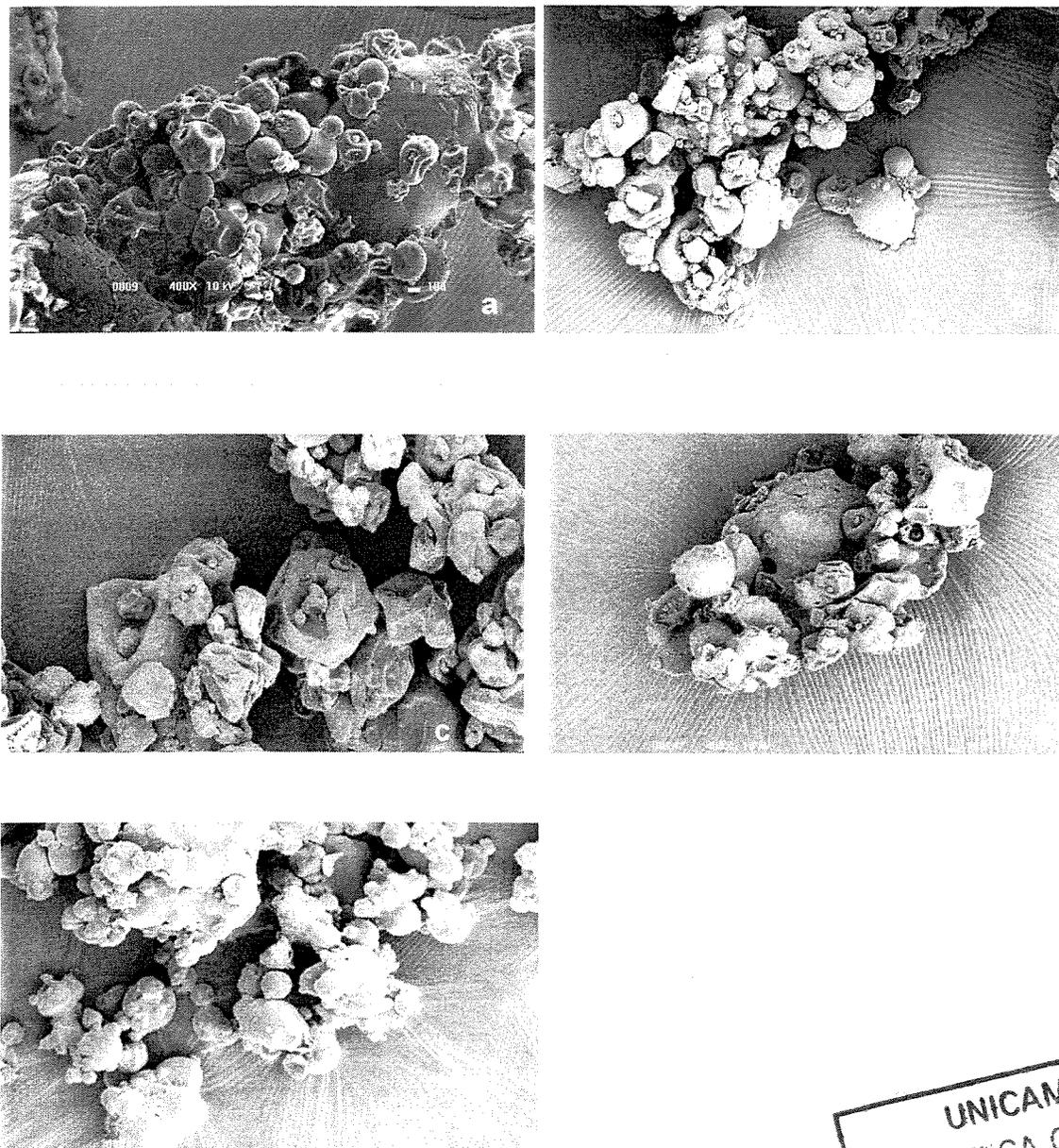
<sup>2</sup> Letras iguais na mesma coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.3.2.3. Microscopia eletrônica de varredura

As micrografias dos produtos aglomerados da formulação 1 podem ser visualizadas na Figura 7 (a-e). Observa-se que partículas de açúcar, proteína e maltodextrina se uniram, formando uma estrutura individual, bem definida, porosa, irregular, com partículas muito unidas, formando grânulos resultantes da formação de

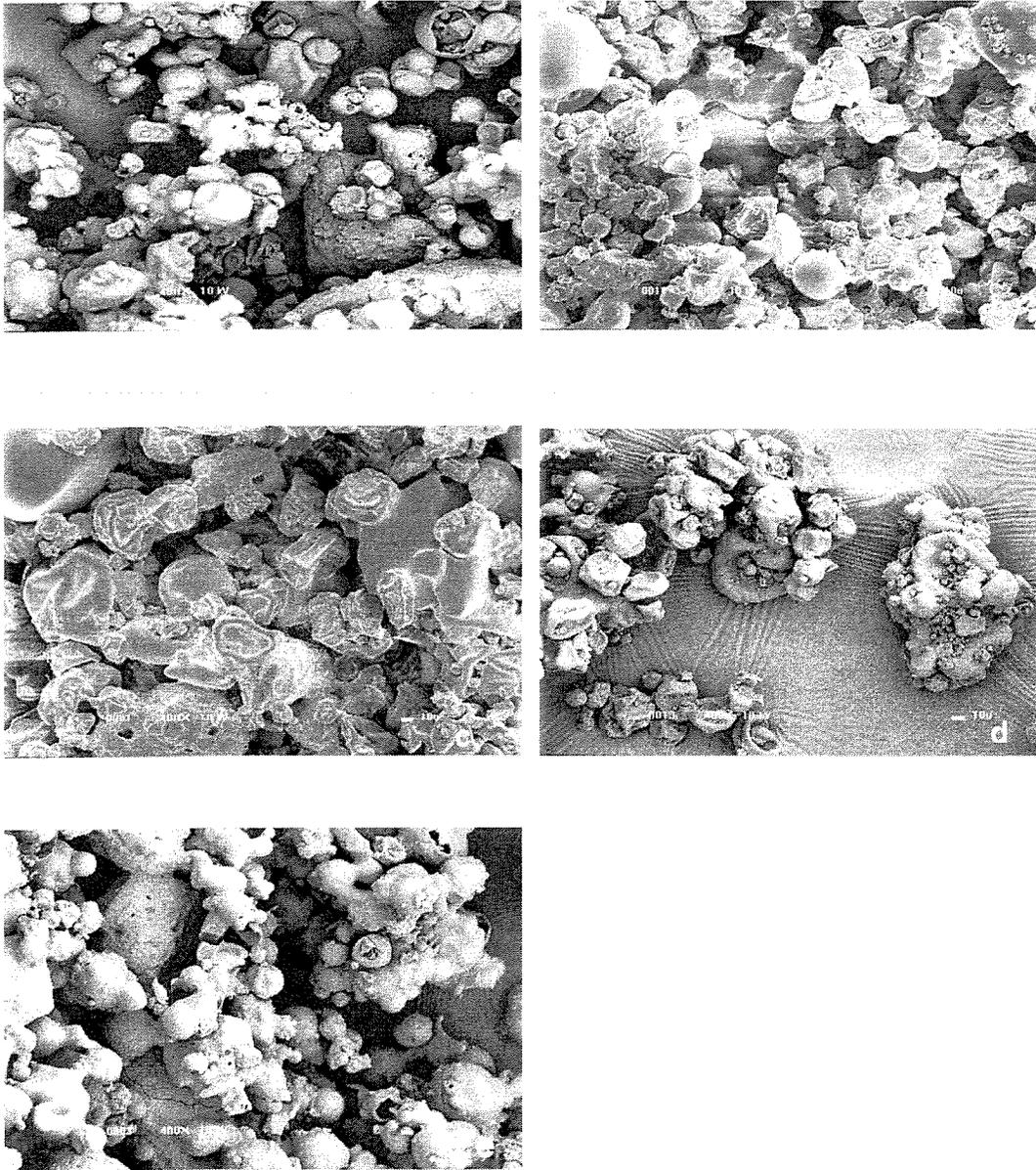
pontes líquidas dos componentes solúveis da formulação que se solidificaram pela secagem após a aglomeração.

As micrografias dos aglomerados da formulação 2 estão apresentadas na Figura 8 (a-e). Os aglomerados apresentam-se como inúmeros grânulos unidos, formando uma grande estrutura porosa, com pouca definição de grânulos individuais. Isto pode ter ocorrido pelo fato desses aglomerados ter em sua composição um maior teor de carboidratos solúveis (incluindo a lactose do soro de leite), o que favoreceu a formação de mais pontes de ligação e de uma estrutura mais unida.



UNICAMP  
BIBLIOTECA CENTRAL  
SEÇÃO CIRCULANTE

**Figura 7.** Micrografias dos produtos aglomerados da formulação 1 em 10 kV e aumento de 400 vezes. a - Micrografia do aglomerado LH<sub>1</sub>; b - Micrografia do aglomerado NB<sub>1</sub>; c - Micrografia do aglomerado MK<sub>1</sub>; d - Micrografia do aglomerado CH<sub>1</sub>; e - Micrografia do aglomerado SP<sub>1</sub>.



**Figura 8.** Micrografias dos produtos aglomerados da formulação 2 em 10 kV e aumento de 400 vezes. a - Micrografia do aglomerado LH<sub>2</sub>; b – Micrografia do aglomerado NB<sub>2</sub>; c – Micrografia do aglomerado MK<sub>2</sub>; d – Micrografia do aglomerado CH<sub>2</sub>; e – Micrografia do aglomerado SP<sub>2</sub>.

### 4.3.3. Propriedades funcionais dos produtos aglomerados

#### 4.3.3.1. Índice de dispersibilidade de proteína

Os valores do índice de dispersibilidade de proteína (IDP) obtidos para os isolados protéicos de soja e para os produtos aglomerados das formulações 1 e 2 estão apresentados na Tabela 15. O IDP dos produtos aglomerados da formulação 1 foram um pouco inferiores aos IPSs utilizados na formulação, com exceção dos aglomerados LH<sub>1</sub> e SP<sub>1</sub>. Os menores valores de IDP observados para os demais aglomerados, em especial para os da formulação 2, podem possivelmente ser atribuídos à influência da adição de carboidratos. Em sistemas aquosos, polissacarídeos podem capturar moléculas de água, entumescer e sofrer parcial ou completa dissolução, o que modifica e controla a mobilidade da água e sua disponibilidade (WALSTRA, 1996). Diante da menor disponibilidade de água de hidratação para as proteínas, os índices de dispersibilidade de proteína diminuem, efeito observado para os aglomerados de ambas as formulações, em maior proporção para a formulação 2, já que a adição de açúcares foi muito maior devido a adição de soro de leite que contém grande quantidade de lactose (Tabelas 7 e 8). Nota-se valores de IDP inferiores aos dos IPSs e inferiores aos dos aglomerados da formulação 1 (Tabela 15).

**Tabela 15.** Índice de dispersibilidade de proteína (%) dos isolados protéicos de soja e dos produtos aglomerados.

Amostras	LH <sup>3</sup>	NB <sup>3</sup>	MK <sup>3</sup>	CH <sup>3</sup>	SP <sup>3</sup>
IPS <sup>1,2</sup>	76,75 ± 0,81 <sup>a,B</sup>	67,60 ± 1,61 <sup>b,A</sup>	27,32 ± 0,06 <sup>d,A</sup>	34,50 ± 0,26 <sup>c,A</sup>	66,69 ± 0,00 <sup>b,B</sup>
Aglom. 1 <sup>1,2</sup>	84,64 ± 0,10 <sup>a,A</sup>	43,23 ± 0,76 <sup>c,B</sup>	21,31 ± 0,15 <sup>d,B</sup>	13,00 ± 0,04 <sup>e,C</sup>	73,63 ± 0,28 <sup>b,A</sup>
Aglom. 2 <sup>1,2</sup>	33,90 ± 0,33 <sup>b,C</sup>	15,81 ± 0,10 <sup>c,C</sup>	13,82 ± 0,03 <sup>e,C</sup>	14,83 ± 0,04 <sup>d,B</sup>	53,27 ± 0,63 <sup>a,C</sup>

<sup>1</sup>Valores médios de três determinações ± desvio padrão.

<sup>2</sup>Valores com letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

<sup>3</sup>Valores com letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

4.3.3.2. Índice de separação

Os índices de separação das formulações não aglomeradas e dos produtos aglomerados estão apresentados na Tabela 16. Observa-se que os índices de separação da formulação 2 foram entre 3 e 17 vezes superiores aos da formulação 1 para os produtos aglomerados e entre 3 e 43 vezes superiores para as formulações não aglomeradas. O maior conteúdo de carboidratos da formulação 2 possivelmente, pode ser a causa de seus maiores índices de separação (Tabelas 7 e 8). A única exceção refere-se aos produtos que contém o IPS SP, cujas proteínas foram previamente hidrolisadas. Soluções de proteína e polissacarídeos altamente solúveis podem separar em duas fases, uma rica em proteína e outra rica em polissacarídeo, devido à incompatibilidade termodinâmica entre os polímeros (WALSTRA, 1996).

Os isolados protéicos influenciaram os índices de separação dos produtos aglomerados da formulação 1, resultando em três grupos de valores, NB com o valor mais baixo entre os isolados (4%), LH, MK e CH com valores intermediários (17,67 a 24,33%) e SP com o valor mais alto (67%). Para a formulação 2, os valores de índice de separação, apesar de diferentes estatisticamente, foram próximos, não sofrendo influência do tipo de isolado protéico utilizado.

**Tabela 16.** Índice de separação (%) das formulações não aglomeradas e produtos aglomerados.

Amostras	LH <sup>3</sup>	NB <sup>3</sup>	MK <sup>3</sup>	CH <sup>3</sup>	SP <sup>3</sup>
Formul. 1 <sup>1,2</sup>	14,33 ± 0,58 <sup>c,D</sup>	2,00 ± 0,00 <sup>d,D</sup>	13,70 ± 1,15 <sup>c,D</sup>	29,67 ± 0,58 <sup>b,B</sup>	67,00 ± 2,00 <sup>a,B</sup>
Formul. 2 <sup>1,2</sup>	79,00 ± 1,53 <sup>c,d,A</sup>	87,00 ± 1,53 <sup>a,A</sup>	81,33 ± 0,58 <sup>b,c,A</sup>	77,33 ± 0,58 <sup>d,A</sup>	83,67 ± 1,15 <sup>b,A</sup>
Aglom. 1 <sup>1,2</sup>	17,67 ± 0,58 <sup>c,C</sup>	4,00 ± 0,00 <sup>d,C</sup>	17,67 ± 0,58 <sup>c,C</sup>	24,33 ± 1,53 <sup>b,C</sup>	67,00 ± 1,00 <sup>a,B</sup>
Aglom. 2 <sup>1,2</sup>	74,33 ± 0,58 <sup>c,B</sup>	68,00 ± 1,00 <sup>d,B</sup>	74,00 ± 1,73 <sup>c,B</sup>	77,33 ± 1,53 <sup>b,A</sup>	83,67 ± 0,58 <sup>a,A</sup>

<sup>1</sup>Valores médios de três determinações ± desvio padrão.

<sup>2</sup>Valores com letras minúsculas diferentes na mesma linha diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

<sup>3</sup>Valores com letras maiúsculas diferentes na mesma coluna diferem significativamente pelo teste de Tukey (p<0,05).

#### **4.3.3.3. Tempo de dissolução**

Tempo de dissolução é o tempo necessário para que os fenômenos do processo de reconstituição ou reidratação de um pó em água, molhabilidade, imersibilidade, dispersibilidade e solubilidade, ocorram. No caso de produtos instantâneos, esses fenômenos ocorrem em apenas 30 segundos (MAIA; GOLGHER, 1983).

Os tempos obtidos para a dissolução dos isolados protéicos, formulações não aglomeradas e produtos aglomerados estão apresentados na Tabela 17. Observa-se que os isolados protéicos de soja exibiram maiores tempos de dissolução em relação às formulações não aglomeradas e produtos aglomerados, exceto o IPS CH.

Os isolados NB e SP apresentaram maior tempo de dissolução em relação aos demais IPSs. Observou-se que para estes isolados não houve completa dispersão em água, mas sim a formação de grumos, que por volta de 24 minutos, passaram pelo feixe de luz do espectrofotômetro. Segundo Salazar (1979), a formação de grumos deve-se à formação de uma solução muito concentrada e viscosa ao redor das partículas, que impede que a água penetre e molhe todas as partículas, levando a um maior tempo de imersão e dispersão. Pós com partículas menores do que 100-150  $\mu\text{m}$ , como é o caso dos IPSs, formam uma camada hidrofóbica que impede a penetração da água, prejudicando a molhabilidade. Para Maurel (1994) e Schuchmann, Hoge Kamp e Schubert (1993), um pó constituído de partículas finas provoca a formação de uma camada hidrofóbica que impede a penetração da água e diminui a habilidade de escoar e dispersar, piorando as propriedades instantâneas.

Os demais isolados apresentaram dispersão em água em tempos menores, 6 minutos para os IPSs LH e MK e 2 minutos para o IPS CH. A adição dos demais componentes das formulações fez com que o tempo de dissolução diminuísse, com exceção das formulações contendo o IPS CH. O tempo de dissolução dos produtos aglomerados foi menor do que 2 minutos para todas as formulações e isolados utilizados, adequado à produtos instantâneos e indicando que a reidratação dos pós aconteceu quase imediatamente. Observa-se que em geral, os aglomerados apresentaram tamanho de partículas maiores do que os componentes utilizados em

suas formulações. Entretanto, os aglomerados produzidos apresentaram a maioria das partículas com mais de 250 µm de tamanho, característica que pode resultar em melhor reidratação (Tabelas 13 e 14). Teunou, Fitzpatrick e Synnott (1999) consideram que pós com partículas maiores do que 200 µm são de livre escoamento e fácil dispersão, enquanto pós finos, com 100 µm, são sujeitos à coesão e tem escoamento mais difícil.

**Tabela 17.** Tempos de dissolução (minutos) dos isolados protéicos de soja, formulações não aglomeradas e produtos aglomerados.

<b>Amostras</b>	<b>LH</b>	<b>NB</b>	<b>MK</b>	<b>CH</b>	<b>SP</b>
<b>IPSS<sup>1,2</sup></b>	6,20 ± 0,40	24,63 ± 0,55	6,00 ± 0,00	2,00 ± 0,00	24,67 ± 1,53
<b>Formul. 1<sup>1,2</sup></b>	6,00 ± 0,00	6,00 ± 0,00	2,00 ± 0,00	2,00 ± 0,00	8,00 ± 0,00
<b>Formul. 2<sup>1,2</sup></b>	2,00 ± 0,00	7,00 ± 0,00	3,00 ± 0,00	7,00 ± 0,00	2,00 ± 0,00
<b>Aglom. 1<sup>1,2</sup></b>	0 ± 0,00	0 ± 0,00	2,00 ± 0,00	2,00 ± 0,00	0 ± 0,00
<b>Aglom. 2<sup>1,2</sup></b>	2,00 ± 0,00	2,00 ± 0,00	0 ± 0,00	0 ± 0,00	0 ± 0,00

<sup>1</sup>Valores médios de três determinações ± desvio padrão.

#### **4.3.3.4. Dispersibilidade**

A dispersibilidade é um dos fenômenos que ocorrem quando pós são reconstituídos, é uma característica de qualidade essencial para alimentos em pó. É definida como a habilidade do pó de se distribuir uniformemente em água. A dispersibilidade de proteínas em pó depende da atividade de superfície, da proporção de grupos hidrofílicos, do tamanho e da superfície das partículas (KINSELLA, 1982).

Os resultados obtidos para a dispersibilidade dos aglomerados estão apresentados na Tabela 18. Todos os aglomerados foram muito dispersíveis, sendo que os aglomerados NB<sub>2</sub> e MK<sub>2</sub> apresentaram 4,80% e 11,67% de aumento na dispersibilidade em relação aos respectivos aglomerados da formulação 1. O aglomerado MK<sub>1</sub> foi o único produto que apresentou dispersibilidade abaixo de 90%. Este resultado, no entanto, não se deveu à formação de grumos, mas possivelmente à

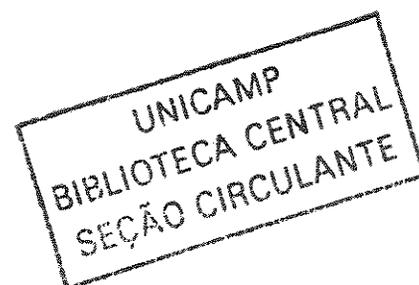
formação de uma dispersão extremamente viscosa que escoou mais vagarosamente pela peneira utilizada na determinação.

**Tabela 18.** Dispersibilidade (%) dos produtos aglomerados.

Amostras	LH	NB	MK	CH	SP
<b>Aglom. 1</b> <sup>1,2</sup>	98,67 ± 0,08 <sup>a</sup>	92,36 ± 0,25 <sup>c</sup>	81,86 ± 0,38 <sup>d</sup>	98,04 ± 0,07 <sup>b</sup>	98,66 ± 0,02 <sup>a</sup>
<b>Aglom. 2</b> <sup>1,2</sup>	98,31 ± 0,10 <sup>b</sup>	97,16 ± 0,17 <sup>c</sup>	93,53 ± 0,25 <sup>d</sup>	98,42 ± 0,05 <sup>a,b</sup>	98,75 ± 0,09 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Valores médios de três determinações ± desvio padrão.

<sup>2</sup>Valores com letras diferentes na mesma linha diferem significativamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).



## **5. CONCLUSÕES**

- Os isolados protéicos de soja apresentaram-se diferentes quanto à composição química e características estruturais e funcionais de suas proteínas evidenciadas pelas diferenças observadas na hidrofobicidade superficial, conteúdo de grupos sulfidrila livres, capacidade de absorção de água, índice de dispersibilidade de proteína e tempo de dissolução. O perfil eletroforético das proteínas dos IPSs LH, NB, MK e CH foi semelhante, sendo o IPS SP a exceção, apresentando somente a banda correspondente ao polipeptídeo básico da fração 11S e polipeptídeos de peso molecular abaixo de 20 kDa, sugerindo prévia hidrólise de suas proteínas.

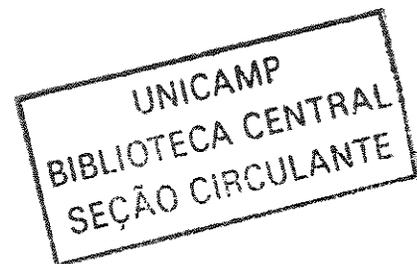
- Os índices de separação obtidos para os isolados protéicos de soja foram semelhantes, embora um pouco superiores, aos dos respectivos produtos aglomerados da formulação 1. Para a formulação 2, os valores de índice de separação, apesar de diferentes estatisticamente, foram próximos, não sofrendo influência do tipo de isolado protéico utilizado. A formulação 2 apresentou maiores índices de separação em relação à formulação 1, possivelmente devido ao seu maior conteúdo em carboidratos. A adição de carboidratos auxilia o processo de aglomeração quanto às propriedades físicas, mas diminui o índice de separação e o IDP. As únicas exceções foram os aglomerados produzidos com o IPS SP, que apresentaram para as duas formulações estudadas, altos valores de índice de dispersibilidade de proteína e de índice de separação.

- A aglomeração da formulação 1, nas condições estudadas, resultou em grânulos de porosidade ligeiramente superior a formulação 2, com diferentes distribuições granulométricas, estruturas bem definidas e irregulares, diferentes valores de índice de dispersibilidade de proteína e valores de índice de separação muito menores do que os obtidos para a formulação 2. A aglomeração da formulação 2 resultou em grânulos de porosidade inferior, distribuição granulométrica semelhante, estruturas muito unidas e sem definição de grânulos individuais, além de valores de índice de dispersibilidade de proteína menores do que os da formulação 1 e índices de separação estatisticamente diferentes, mas muito próximos. Ambas as formulações apresentaram porosidade acima de 74%, aglomerados com partículas maiores do que

os componentes utilizados em suas formulações, maioria das partículas com tamanho de 250  $\mu\text{m}$ , tempo de dissolução em menos de 2 minutos e dispersibilidade acima de 80%.

- O conjunto de propriedades estudadas: distribuição granulométrica; formação dos produtos aglomerados observada por microscopia; alta dispersibilidade e baixo tempo de dissolução permite concluir que, para a condição de processo utilizada, a partir das duas formulações estudadas e independentemente do tipo de IPS utilizado, foram obtidos produtos com as características necessárias para que um alimento em pó tenha boas propriedades de reidratação.

- O processo de aglomeração pode ser aplicado principalmente em alimentos, bebidas e produtos dietéticos que se apresentam na forma de pós de baixa granulometria, podendo ser uma ótima opção na busca por produtos que atendam aos requisitos de qualidade dos alimentos em pó, principalmente no momento do consumo.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILERA, J. M.; VALLE, J. M.; KAREL, M. Caking phenomena in amorphous food powders. **Trends in Food Science & Technology**, New York, v. 6, n. 5, p. 149-155, may, 1995.

AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS (A.A.C.C.). **Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists**. 8.ed. St. Paul: AACC, 1983. 1 and 2v.

ANDRES, C. Instantized ingredients have excellent wettability. **Food Processing**, Chicago, v. 42, n. 5, p. 73, may, 1981.

AOKI, H.; TANEYAMA, O.; ORIMO, N.; KITAGAWA, I. Effect of lipophilization of soy protein on its emulsion stabilizing properties. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 46, n. 4, p. 1192-1195, 1981.

ARRESE, E. L.; SORGENTINI, D. A.; WAGNER, J. R.; AÑON, M. C. Eletrophoretic, solubility, and functional properties of commercial soy protein isolates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 39, n. 6, p. 1029-1032, 1991.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (A.O.A.C.). **Official Methods of Analysis**. 16 ed. Washington, D.C.: AOAC, 1995. In: Cunniff, P. A. v. 2, p. 1-2, 15-16, 21-22.

BADLEY, R. A.; ATKINSON, D.; HAUSER, H.; OLDANI, D.; GREEN, J. P.; STUBBS, J. M. Structure, physical and chemical properties of the soybean protein glycinin. **Biochimica et Biophysica Acta**, Amsterdam, v. 412, n. 2, p. 214-228, dec., 1975.

BAUMANN, H. Apparatur nach Baumann zur Bestimmung der flüssigkeitsaufnahme von pulvrigen substanzen. **Fette, Seifen, Anstrichm**, v. 68, p. 741, 1966.

BE MILLER, J. N.; WHISTLER, R. L. Carbohydrates. In: FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**, 3 ed., New York: Marcel Dekker , 1996, cap. 4, p. 157-224.

BEVERIDGE, T. TOMA, S. J.; NAKAI, S. Determination of SH- and SS-groups in some food proteins using Ellman`s reagent. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 39, n. 1, p. 49-51, jan./feb., 1974.

BLIGH, E. G.; DYER, W. J. A rapid method of total lipid extration and purification. **Canadian Journal of Biochemistry and Physiology**, Ottawa, v. 37, n. 8, p. 911-917, 1959.

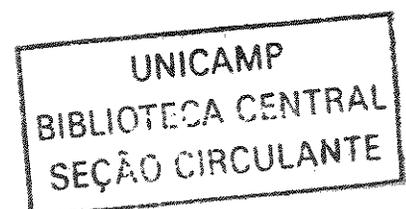
BOATRRIGHT, W. L.; HETTIARACHCHY, N. S. Effect of lipids on soy protein isolate solubility. **Journal of American Oil Chemistry Society**, Champaign, v. 72, n. 12, 1995a.

BOATRRIGHT, W. L.; HETTIARACHCHY, N. S. Soy protein isolate solubility and surface hydrophobicity as affected by antioxidants. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 60, n. 4, p. 798-800, 1995b.

CAL-VIDAL, J.; FALCONE, M. Autoaglomeração de suco de maracujá liofilizado em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 82-96, jan-jun, 1987.

CHAMPION, D.; LE MESTE, M.; SIMATOS, D. Toward na improved understanding of glass transition and relaxation in foods: molecular mobility in the glass transition range. **Trends in Food Science and Technology**, v. 11, p. 41-55, 2000.

CHEN, H. Functional properties and applications of edible films made of milk proteins. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 78, n. 11, p. 2563-2583, 1995.



CHEN, X. D.; LLOYD, R. J. Some aspects of measuring the size and rate of dispersion of milk powder agglomerates using the Malvern Particle Sizer 2600 c. **Journal of Dairy Research**, Cambridge, v. 61, n. 2, p. 201-208, jan./feb., 1994.

COCKRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental Design**. 2 ed. New York: John Wiley, 1957, 611 p.

DUBING, S. T.; SMITH, D. E. Relation of chemistry and processing procedures to whey protein functionality: A review. **Cultured Dairy Products Journal**, Washington, p. 4-12, 1991.

EIGEL, W. N.; BUTLER, J. E.; ERNSTROM, C. A.; FARREL JR, H. M.; HARWALKAR, V. R.; JENNESS, R.; WHITNEY, R. M. Nomenclature of proteins of cow's milk. **Journal of Dairy Research**, Cambridge, v. 67, n. 8, p. 1599-1631, 1984.

ELIZALDE, B. E.; DE KANTEREWICZ, R. J.; PILOSOFF, A. M. R.; BARTHOLOMAI, G. B. Physicochemical properties of food proteins related to their ability to stabilize oil-in-water emulsions. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 53, n. 3, p. 845- 848, 1988.

FUKUSHIMA, D. Deteriorative changes of proteins during soybean processing and their use in foods. In: WHITAKER, J. R.; FUJIMAKI, D. In: **Chemical Deterioration of Proteins**. ACS Symposium Series, Washington, D. C., n. 123, p. 213-240, 1980.

FUKUSHIMA, D. Recent progress in research and technology for processing and utilization of soybeans. In: The Japanese Society for Food Science and Technology. **Proceedings: The Third International Soybean Processing and Utilization Conference**. Ibaraki (Japan): Korin Publishing Co., Ltd., 2000. p. 11-16.

GARCÍA, M. C.; TORRE, M.; MARINA, M. L.; LABORDA, F. Composition and characterization of soybean and related products. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 37, n. 4, p. 361-391, 1997.

GENOVESE, M. I.; LAJOLO, F. M. Composition and structural characteristics of isolated soy proteins from broken and damaged seeds. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 58, n. 1, p. 148-152, 1993.

GIESE, J. Proteins as ingredients: types, functions, applications. **Food Technology**, Chicago, v. 48, n. 10, p. 50-60, 1994.

HAYASHI, K. A rapid determination of sodium dodecyl sulfate with methylene blue. **Analytical Biochemistry**, San Diego, v. 67, n. 2, p. 503-506, 1975.

HENN, R. L.; NETTO, F. M. Biochemical characterization and enzymatic hydrolysis of different commercial soybean protein isolates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 46, n. 8, p. 3009-3015, 1998.

HENN, R. L.; NETTO, F. M. **Caracterização bioquímica e hidrólise enzimática de diferentes isolados protéicos comerciais**. 1997. 128f. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

HERMANSSON, A. M. Soy protein gelation. **Journal of American Oil Chemistry Society**, Champaign, v. 63, n. 5, p. 658-666, may, 1986.

HETTIARACHCHY, N.; KALAPATHY, U. Soybean Protein Products. In: LIU, K. **Soybeans: Chemistry, Technology, and Utilization**, New York: Chapman & Hall, 1997, cap. 8, p. 378-411.

HOSENEY, R. C. **Principles of cereal: Science and Technology**, Saint Paul: AACC, 1986, p. 63-65.

HUFFMAN, L. M. Processing whey protein for use as a food ingredient. **Food Technology**, Chicago, v. 50, n. 2, p. 49-52, 1996.

ICF INDUSTRIE CIBEC S.P.A. – FOOD DIVISION. **Instantaneizzatore®: Tecnologia ICF per ottenere prodotti alimentari e dietetici, solubili all'istante**. Maranello, 2001. Especificações do equipamento.

JENSEN, J. D. Some recent advances in agglomerating, instantizing, and spray drying. **Food Technology**, Chicago, v. 29, n. 6, p. 60-71, june, 1975.

KALAPATHY, U.; HETTIARACHCHY, N. S.; RHEE, K. C. Effect of drying methods on molecular properties and functionalities of disulfide bond-cleaved soy proteins. **Journal of American Oil Chemistry Society**, Champaign, v. 74, n. 3, p. 195-199, 1997.

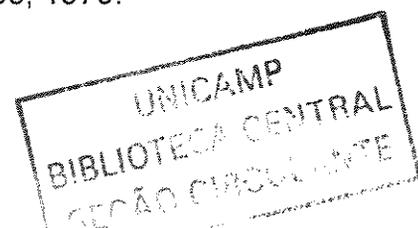
KATO, A.; MATSUDA, T.; MATSUDOMI, N.; KOBAYASHI, K. Determination of protein hydrophobicity using a sodium dodecyl sulfate binding method. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 32, n. 2, p. 284-288, march/april, 1984.

KENNEDY, J. F.; KNILL, C. J.; TAYLOR, D. W. Maltodextrins. In: KEARSLEY, M. W.; DZIEDZIC, S. Z. In: **Handbook of Starch Hydrolysis Products and their Derivatives**. London: Chapman & Hall, 1995. cap. 3, p. 65-82.

KILARA, A.; SHARKASI, T. Y. Effects of temperature on food proteins and its implications on functional properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 23, n. 4, p. 323-395, dec., 1986.

KINSELLA, J. E. Functional properties of proteins in foods: A survey. In: FURIA, T. E. Cleveland. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 7, n. 3, p. 219-280, 1976.

KINSELLA, J. E. Functional properties of soy proteins. **Journal of American Oil Chemistry Society**, Champaign, v. 56, n. 3, p. 242-258, 1979.



KINSELLA, J. E. Milk proteins: physicochemical and functional properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 21, n. 3, p. 197-287, 1984.

KINSELLA, J. E. Relationships between structure and functional properties of food proteins. In: FOX, P. F.; CONDON, J. J. In: **Food Proteins**. New York: Applied Science, 1982. cap. 3, p. 51-103.

KINSELLA, J. E.; FOX, P. F. Water sorption by proteins: milk and whey proteins. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 24, n. 2, p. 91-139, 1986.

KOSHIYAMA, I. Newer method for isolation of 7S globulin in soybean seeds. **Agricultural and Biological Chemistry**, Tokyo, v. 36, n. 12, p. 2255-2257, dec., 1972.

KULKARNI, K. D.; KULKARNI, D. N.; INGLE, U. M. Sorghum malt-based weaning food formulations: Preparation, functional properties, and nutritive value. **Food and Nutrition Bulletin**, v. 13, n. 4, p. 322-327, 1991.

KWON, T. W.; SONG, Y. S.; KIM, J. S. Strategic consideration on the traditional soybean products for global consumption. In: The Japanese Society for Food Science and Technology. **Proceedings: The Third International Soybean Processing and Utilization Conference**. Ibaraki: Korin Publishing, p. 300-301, 2000.

LAEMMLI, U. K. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. **Nature**, London, v. 227, n. 15, p. 680-685, 1970.

LANARA – SECRETARIA DE DEFESA AGROPECUÁRIA, M. A. Métodos analíticos oficiais de controle de produtos de origem animal e seus ingredientes. II – **Métodos Físicos e Químicos**, Brasília/DF, 1981.

LOURENÇO, E. J. Tópicos de proteínas de alimentos. Jaboticabal: **Fapesp**, p. 240-250, 2000.

LUSAS, E. W.; RIAZ, M. N. Soy protein products: Processing and use. **Journal of Nutrition**, Bethesda, v. 125, n. 3s, p. 573s-580s, 1995.

MAIA, A. B. R.; GOLGHER, M. Parâmetros para a avaliação da qualidade de reconstituição do leite em pó desidratado em secador de aspersão ("spray dryer"). **Boletim SBCTA**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 235-254, 1983.

MANDARINO, J. M. G.; KIKUCHI, A.; CARRAO-PANISSI, M. C. The promotion of soybean utilization as human food in Brazil. In: The Japanese Society for Food Science and Technology. **Proceedings: The Third International Soybean Processing and Utilization Conference**. Ibaraki (Japan): Korin Publishing Co., Ltd., 2000. p. 571-572.

MASTERS, K. **Spray Drying**. Chemical and Process Engineering Series. London: Leonard Hill Books, 1972. cap. 15, p. 545-572.

MATTEWS, M. E. Compositions of rennet, sulfuric and lactic casein wheys and sulfuric and lactic whey protein concentrate. **New Zealand Journal of Dairy Science and Technology**, New Zealand, v. 13, p. 149-156, 1978.

MAUREL, E. L. Granulation: tout un savoir-faire. **Process: Le Mensuel des Techniques Laitieres et Alimentaires**, Rennes, p. 62-65, june, 1994.

MILLQVIST-FUREBY, A.; ELOFSSON, V.; BERGENSTAHL, B. Surface composition of spray-dried milk protein-stabilised emulsions in relation to pre-heat treatment of proteins. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, Amsterdam, v. 21, p. 47-58, 2001.

MOLINA, E.; PAPADOULOU, A.; LEDWARD, D. A. Emulsifying properties of high pressure treated soy protein isolate and 7S and 11S globulins. **Food Hydrocolloids**, Ontario, v. 15, n. 1, p. 263-269, 2001.

MOOR, C. V.; FOEGEDING, E. A. Composition and functionality of commercial whey and milk protein concentrates and isolates: A status Report. **Food Technology**, Chicago, v. 44, n. 4, p. 100-112, april, 1990.

MOREYRA, R.; PELEG, M. Propiedades físicas relacionadas com el flujo de alimentos en polvo. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, Valencia, v. 21, n. 3, p. 323-330, sept., 1981.

MORI, T.; NAKAMURA, T.; UTSUMI, S. Behavior of intermolecular bond formation in the large stage of heat induced gelation of glycinin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 34, n. 1, p. 33-36, jan./feb., 1986.

MORR, C. V.; HÁ, Y. W. Whey protein concentrates and isolates: processing and functional properties. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 33, n. 6, p. 431-437, 1993.

MYERS, D. J. Industrial applications for soy protein and potencial for increased utilization. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 38, n. 5, p. 355-360, 1993.

NAKAI, S. Structure functional relationship of food proteins with emphasis on the importance of protein hydrophobicity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 31, n. 10, p. 376-683, 1983.

NIR, I.; FELDMAN, Y.; ASERIN, A.; GARTI, N. Surface properties and emulsification behavior of denatured soy proteins. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 59, n. 3, p. 606-610, May/June, 1994.

NOEL, T. R.; RING, S. G.; WHITTAM, M. A. Glass transitions in low-moisture foods. **Trends in Food Science and Technology**, New York, v. 1, n. 3, p. 62-67, 1990.

OHREN, J. A. Process and product characteristics for soya concentrates and isolates. **Journal of American Oil Chemistry Society**, Champaign, v. 58, n. 3, p. 333-335, 1981.

PELEG, M. Physical characteristics of food powders. In: PELEG, M.; BAGLEY, E. B. **Physical properties of foods**. Westport (USA): AVI – Publishing – Co. Inc., 1983. cap. 10, p. 293 – 323.

PELEG, M.; MANNHEIM, C. H.; PASSY, N. Flow properties of some food powders. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 38, n. 6, p. 959-964, sept./oct., 1973.

PETRUCELLI, S.; AÑON, M. C. Relationship between the method of obtention and the structural and functional properties of soy protein isolates. 2 Surface properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 42, n. 10, p. 2170-2176, 1994.

PETRUCELLI, S.; AÑON, M. C. Soy protein isolate components and their interactions. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 43, n. 7, p. 1762-1767, 1995.

PHILLIPS, L. G.; WHITEHEAD, D. M.; KINSELLA, J. E. Protein Stability. In: PHILLIPS, L. G.; WHITEHEAD, D. M.; KINSELLA, J. E. **Structure, Function and Properties of Food Proteins**. New York: Academic Press, 1994. cap. 2, p. 25-61.

PILOSOF, A. M. R.; BOQUET, R.; BARTHOLOMAI, G. B. Kinetics of water uptake by food powders. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 50, n. 1, p. 278- 279, 1985.

POMERANZ, Y.; MELOAN, C. E. **Food Analysis: Theory and practice: 3<sup>a</sup> ed.**, Chapman & Hall, New York, 1994. cap. 26, p. 419-429.

REMONDETTO, G.; AÑON, M. C.; GONZÁLEZ, R. J. Hydration properties of soybean protein isolates. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 44, n. 4, p. 425-431, 2001.

RENNER, E. Milk and dairy products in human nutrition. **Whey**, München: W-GmbH, Volkswirtschaftlicher Verlag, p. 379-380, 1983.

ROOS, Y. H. Food processing and storage. In: TAYLOR, S. L. Phase Transitions in Foods. **Food Science and Technology**, San Diego: Academic Press Inc., 1995. cap. 10, p. 326-327.

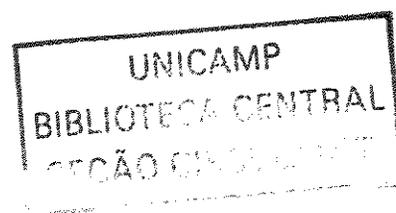
ROOS, Y.; KAREL, M. Applying state diagrams to food processing and development. **Food Technology**, v. 45, n. 12, p. 66-71, 1991.

ROSENBERG, M. & YOUNG, S. L. Whey proteins as microencapsulation agents. Microencapsulation of anhydrous milkfat-structure evaluation. **Food Structure**, Chicago, v. 12, n.1, p. 31-41, march, 1993.

SALAZAR, J. Aspectos gerais sobre a produção de leite em pó instantâneo. **Revista do ILCT**, p. 15-25, 1979.

SCHMITT, H. Agglomeration and lecithination. **Food Technology in New Zealand**, New Zealand, v. 30, n. 9, p. 6, sept., 1995.

SCHUCHMANN, H.; HOGEKAMP, S.; SCHUBERT, H. Jet agglomeration processes for instant foods. **Trends in Food Science & Technology**, New York, v. 4, n. 6, p. 179-183, june, 1993.



SLADE, L.; LEVINE, H. Beyond water activity: Recent advances based on an alternative approach to the assessment of food quality and safety. In: CLYDESDALE, F. M. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, New York: CRC Press, INC., v. 30, n. 2, 3, p. 115-360, 1991.

SLAVIN, J. Nutritional benefits of soy protein and soy fiber. **Journal of the American Dietetic Association**, Chicago, v. 91, n. 7, p. 816-819, July, 1991.

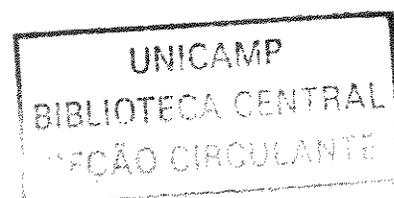
SMITH, A. K.; CIRCLE, S. J. **Soybeans: Chemistry and Technology**. Connecticut: The Avi Publishing Company, INC, 1972. 470p.

SMITHERS, G. W.; BALLARD, F. J.; ADAM, D. C.; SILVA, K. J.; DIONYSIUS, D. A.; FRANCIS, G. L.; GODDARD, C.; GRIEVE, P. A.; McINTOSH, G. H.; MITCHELL, I. R. PEARCE, R. J.; REGESTER, G. O. New opportunities from the isolation and utilization of whey proteins. In: Symposium: Advances in Dairy Foods Processing and Engineering. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 79, supplement 1, abstracts, p. 1454-1459, 1996.

STRAATSMA, J.; VAN HOUWELINGEN, G.; STEENBERGEN, A. E.; DE JONG, P. Spray drying of food products: 1. Simulation model. **Journal of Food Engineering**, Netherlands, v. 42, n. 2, p. 67-72, June, 1999.

TEUNOU, E.; FITZPATRICK, J. J.; SYNNOTT, E. C. Characterisation of food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, West Lafayette (USA), v. 39, n. 1, p. 31-37, Jan., 1999.

THANH, V. H.; SHIBASAKI, K. Major proteins of soybean seeds-straightforward fractionation and their characterization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 24, n. 6, p. 1117-1121, Nov./Dec., 1976.



TORGENSEN, H.; TOLEDO, R. T. Physical properties of protein preparations related to their functional characteristics in comminuted meat systems. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 42, n. 6, p. 1615-1618, 1977.

UTSUMI, S.; INABA, H.; MORI, T. Heterogeneity of soybean glycinin. **Phytochemistry**, Oxford, v. 20, n. 4, p. 585-589, 1981.

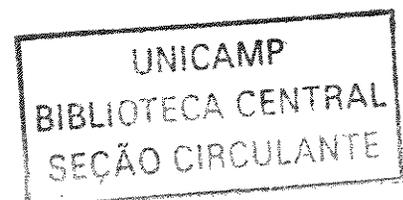
VIOTTO, W. H. **Ultrafiltração de soro doce de queijo minas frescal. Efeito de pré-tratamentos do soro no desempenho da membrana e na composição e solubilidade do concentrado protéico de soro.** 1993. 212f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

VOUTSINAS, L. P.; CHEUNG, E.; NAKAI, S. Relationships of hydrophobicity to emulsifying properties of heat denatured proteins. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 48, n. 1, p. 26-32, 1983.

WAGGLE, D. H.; KOLAR, C. W. Types of soy protein products. In: WILCKE, H. L.; HOPKINS, D. T.; WAGGLE, D. H. **Soy Protein and Human Nutrition**. New York: Academic Press, 1979. p. 19-51.

WAGNER, J. R.; SORGENTINI, D. A.; AÑON, M. C. Relation between solubility and surface hydrophobicity as an indicator of modifications during preparation processes of commercial and laboratory-prepared soy protein isolates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 48, n. 8, p. 3159-3165, aug., 2000.

WAGNER, J.R.; AÑON, M. C. Influence of denaturation, hydrophobicity and sulfhydryl content on solubility and water absorbing capacity of soy protein isolates. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 55, n. 3, p. 765-770, may/june, 1990.



WALSTRA, P. Dispersed systems: Basic considerations. In: FENNEMA, O. R. **Food Chemistry**, New York: Marcel Dekker, 1996. cap. 3, p. 95-156.

WANG, C.; PAGADALA, S.; MA, Q.; SHERRARD, M.S.; KRISHNAN, P.G. Changes of isoflavones during processing of soy protein isolates. **Journal of the American Oil Chemists Society**, Champaign, v. 75, n. 3, p. 337-341, march, 1998.

WANG, S. H.; FERNANDES, S. M.; CABRAL, L. C. Solubilidade de nitrogênio, dispersibilidade de proteína e propriedades emulsificantes dos extratos hidrossolúveis desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 1, p. 12-17, jan./abr., 2000.

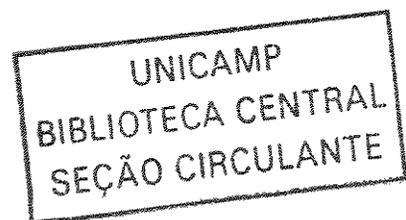
WANG, S. H.; MAIA, L. M.; da SILVA, L. F. M.; CABRAL, L. C. Estudo das propriedades reológicas e sensoriais após reconstituição dos mingaus desidratados de arroz e soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n.1, p. 68-73, jan./abr., 2000.

WOLF, W. J. Soybean proteins: their functional, chemical and physical properties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 18, n. 6, p. 969-976, nov./dec., 1970.

WOLF, W. J. What is soy protein? **Food Technology**, Chicago, v. 26, n. 5, p. 44-54, 1972.

WOLF, W. J.; COWAN, J. C. **Soybean as Food Source Food Uses of Soybean Proteins**. Ed. Revisada, Cleveland: CRC Press, INC, 1975. 101p.

WOLF, W. J.; NELSEN, T. C. Partial purification and characterization of the 15S globulin of soybeans, a dimmer of glycinin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 44, n. 3, p. 785-791, march, 1996.



WU, W. U.; HETTIARACHCHY, N. S.; QI, M. Hydrophobicity, solubility and emulsifying properties of soy protein peptides prepared by papain modification and ultrafiltration. **Journal of American Oil Chemistry Society**, Champaign, v. 75, n. 7, p. 845-850, 1988.

YAMAUCHI, F.; SATO, M.; SATO, W.; KAMATA, Y.; SHIBASAKI, K. Isolation and identification of new type of  $\beta$ -conglucinin in soybean globulins. *Agricultural and Biological Chemistry*, Tokyo, **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 45, n. 10, p. 2863-2869, oct., 1981.

YAN, H.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Size characterization of selected food powders by five particle size distribution functions. **Food Science and Technology International**, Londres, v. 3, n. 5, p. 361-369, oct., 1997 b.

YAN, H.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Compression characteristics of agglomerated food powders: effect of agglomerate size and water activity. **Food Science and Technology International**, Londres, v. 3, n. 5, p. 351-359, oct., 1997 a.

