

**AUTORES**  
AUTHORS

✉ **Janai Cristiane Santos Nascimento PAZ**  
**Flavia Maria NETTO\***

Departamento de Alimentos e Nutrição,  
Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP,  
Rua Monteiro Lobato, 80, Cx. Postal 6121,  
CEP 13083-862, Campinas, SP, Brasil  
\*e-mail: flavia@fea.unicamp.br

**RESUMO**

Neste trabalho foram estudadas as propriedades estruturais e funcionais de géis simples e mistos de isolados protéicos comerciais de soja (IPS) e de soro de leite (IPSL), pHs 3,5 e 7,0; temperatura de aquecimento 95°C; concentração de proteína 14% e proporções de IPS:IPSL: 100:0; 80:20; 60:40; 40:60; 20:80; 0:100. Foram avaliadas a capacidade de retenção de água (CRA); perfil de textura (dureza, coesividade e elasticidade) e microestrutura por microscopia eletrônica de varredura. Os géis firmes e elásticos, e de estrutura compacta, obtidos em pH 7,0, apresentaram maior CRA que os géis do tipo coágulo, opacos e de estrutura grosseira obtidos em pH 3,5. A substituição parcial de IPS por IPSL na obtenção de géis com pH 3,5 favoreceu a formação de uma microestrutura mais compacta, menos porosa, que a do gel simples de IPS. Houve aumento na dureza dos géis com o aumento da proporção de IPSL na mistura em ambos pH estudados e em pH 7,0, géis com dureza igual, a do gel de IPSL foi obtido quando a substituição foi de 20%. A mistura IPS:IPSL também favoreceu o aumento da coesividade dos géis de pH 7,0 e da elasticidade dos géis de pH 3,5, quando comparados ao gel simples de IPS. A substituição parcial de IPS por IPSL melhorou as propriedades estruturais e funcionais dos géis comparadas aos géis simples de IPS.

**ABSTRACT**

Structural and functional properties of simple and mixed gels of commercial soy protein isolates (SPI) and whey protein isolates (WPI) were studied at pH values of 3.5 and 7.0; heating temperature of 95°C; protein concentration of 14% and the following SPI:WPI proportions: 100:0; 80:20; 60:40; 40:60; 20:80; 0:100. The water holding capacity (WHC), texture profile (hardness, cohesiveness and elasticity) and microstructure by scanning electronic microscopy, were evaluated. The firm, elastic gels obtained at pH 7.0, showed a compact structure and greater WHC than the coagulum type gels obtained at pH 3.5, which were opaque and showed a coarse structure. The partial substitution of SPI by WPI to obtain gels at pH 3.5, favoured the formation of a more compact, less porous microstructure than that obtained in the simple SPI gel. Gel hardness increased with increasing proportion of WPI at both the pH values studied, and at pH 7.0, gels with hardness equal to that of the simple WPI were obtained with the substitution of 20% of the SPI. The SPI:WPI mixture also favoured an increase in cohesiveness of the gels formed at pH 7.0, and of elasticity of the gels formed at pH 3.5, when compared to the simple SPI gel. The partial substitution of SPI by WPI improved the structural and functional properties of the mixed gels as compared to the simple SPI gels.

**PALAVRAS-CHAVE**  
KEY WORDS

gel misto, soja, soro de leite, proteína, gelificação.  
mixed gel; soy; whey; protein, gelation.

## 1. INTRODUÇÃO

A soja é uma excelente fonte de proteína, apresentando alta concentração de aminoácidos essenciais, particularmente lisina, leucina e aminoácidos aromáticos (CHEFTEL et al., 1989) e de fitoestrógenos, aos quais são atribuídos efeitos benéficos à saúde humana, como redução de incidência de câncer no seio e sintomas da menopausa (MAZUR; ADLERCREUTZ, 1998). As proteínas do soro de leite são uma fonte excepcionalmente rica e balanceada de aminoácidos e apresentam efeitos fisiológicos e biológicos como hipocolesterolêmico e anti-carcinogênico (BEZAULT et al., 1994), entre outros.

Uma das propriedades funcionais mais importantes dos isolados protéicos de soja e de soro de leite é a capacidade de formar gel ao serem aquecidos. Entre os fatores que influenciam o tipo de estrutura do gel formado estão a compatibilidade termodinâmica dos componentes, sua reatividade mútua ou o potencial para interação, e, para a combinação de dois ou mais gelificantes, seus respectivos mecanismos de gelificação (KINSELLA, 1990).

A substituição parcial das proteínas de soja pelas proteínas soro de leite poderia produzir uma mistura de excepcional valor nutricional, combinar o baixo custo dos IPS e a ampla aceitação dos produtos lácteos, além de poder ser utilizada em produtos tipo iogurtes e sobremesas. Este trabalho teve o objetivo de estudar o efeito de diferentes pH, temperaturas, concentração protéica e proporção entre o IPS e o IPSL no tipo de gel formado.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O isolado protéico de soja (IPS) utilizado foi Samprosoy HI 90 (lote 174041) gentilmente fornecido pela BUNGE do Brasil S/A (Esteio, RS, Brasil). O isolado protéico de soro de leite (IPSL) utilizado foi BiPRO (lote JE 109-2-420), cedido pela Davisco Foods International, Inc. (Le Sueur, MN, USA).

### 2.1 Caracterização dos isolados protéicos

A proteína nos isolados protéicos foi determinada pelo método semi-micro Kjeldahl (AOAC, 1990). O teor de nitrogênio foi multiplicado pelo fator 6,25 e 6,38, para a conversão de nitrogênio em proteína de soja e proteína de soro de leite, respectivamente. A umidade e cinzas foram determinadas segundo a AOAC (1990). A análise de lipídios para o IPSL foi realizada segundo o método de Mojonnier (AOAC, 1990) e para o IPS, segundo o método de BLIGH; DYER (1959). As determinações foram realizadas em triplicata.

### 2.2 Obtenção dos géis:

Dispersões protéicas dos isolados foram preparadas em concentrações que variaram de 8 a 14% de proteína e misturadas nas proporções: 100:0; 80:20; 60:40; 40:60; 80:20 e 0:100, mantendo-se a concentração de proteína igual à da

dispersão simples. O pH foi ajustado com HCl ou NaOH 2N para 3,5 e 7,0 e alíquotas de 10g foram transferidas para tubos cilíndricos de vidro (20mm de diâmetro e 60mm de altura) e vedados. As dispersões foram aquecidas a temperaturas de 80°C ou 95°C por 30 minutos e resfriadas em banho de gelo por 10 min. Após 20 horas a 9°C, foi feita avaliação visual do gel formado. Os géis auto-sustentáveis foram avaliados quanto à microestrutura, capacidade de retenção de água e textura.

### 2.3 Microestrutura

Para observação em microscópio eletrônico de varredura (MEV), os géis foram cortados (1 x 2 x 5,0mm) e fixados em glutaraldeído 2,5% em tampão fosfato de sódio 0,1M com ácido tânico 1%, pH 7,2. Após 90min, as amostras foram lavadas em tampão fosfato de sódio (0,1M pH 7,2) por 2 vezes, 15min cada. A pós-fixação foi realizada em tetróxido de ósmio (OsO<sub>4</sub>) 1% em tampão fosfato de sódio 0,1M, pH 7,2, a 4°C (geladeira)/120min, seguida por duas lavagens em tampão fosfato de sódio 0,1M, pH 7,2, 15min cada lavagem. O processo de desidratação das amostras foi iniciado por lavagem em serie etanólica (30, 50, 70, 95%, 20 minutos cada e 100% por 3 vezes de 10min) e finalizado em Critical Point Dehydration (CPD) 030 marca Balzers. As amostras secas foram fraturadas e os fragmentos foram fixados em suportes. A metalização das amostras foi realizada com ouro (200seg/40mA) no aparelho SCD 050 marca Balzers e realizou-se a observação ao MEV (JEOL JSM 5880LV - Japan).

### 2.4 Capacidade de retenção de água

A CRA foi determinada segundo o método descrito por JAUREGUI et al. (1981) e modificado por BEUSCHEL et al. (1992). Amostras dos géis (0,8 a 1,2g) foram pesadas em papel de filtro Whatman nº2 e centrifugadas a 746 x g/10min a 6°C em centrífuga SORVAL (Wilmington, Delaware, USA). A capacidade de retenção de água dos géis foi calculada pela relação:

$$\text{capacidade de retenção de água (\%)} = 100 \left( \frac{\text{umidade (\%)} - \text{umidade (\%)}_{\text{retirada por centrifugação}}}{\text{umidade (\%)}_{\text{retirada por centrifugação}}} \right)$$

Para cada tratamento, três diferentes géis foram analisados em triplicata.

### 2.5 Perfil de Textura

A análise do perfil de textura dos géis foi realizada segundo método descrito por JU; KILARA (1998), em texturômetro modelo TAXT-2 (Stable Microsystems SMS, Surrey, UK). Os parâmetros avaliados foram: dureza, elasticidade e coesividade, de acordo com o definido por BOURNE (1982). Os géis foram cortados em cilindros (2,0 cm de diâmetro x 1,0 cm de altura). As medidas foram realizadas nos géis equilibrados a temperatura ambiente e utilizando probe cilíndrico de acrílico com 5 cm de diâmetro (SMS P/55), lubrificado com silicone de baixa viscosidade. Utilizou-se força de compressão de 5 g e 50% de compressão, velocidade pré-teste de 3mm/s, velocidade no teste e pós-teste de 1mm/s. Foram analisados pelo menos cinco géis de cada condição estudada e a análise de cada um desses cinco géis foi feita em duplicata.

### 2.6 Análise estatística

As médias foram comparadas por análise de variância e quando diferentes, pelo teste de Tukey (COCKRAN; COX, 1957). Utilizou-se o programa STATISTICA para Windows, versão 5.0 (StaSoft, Inc.).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os isolados apresentaram a seguinte composição: (1) IPLS: 97,4% de proteína (N x 6,38) em base seca, 5,1% de umidade, 1,9% de cinzas e 0,6% de lipídios (2) IPS: 90,7% de proteína (N x 6,25), 3,14% de umidade, 3,21% de cinzas e 3,43% de lipídios, em base seca.

### 3.1 Avaliação visual dos géis

As características da formação de géis de sistemas simples e mistos de IPS e IPLS são mostradas na Figura 1.

As dispersões com 8 e 10% de proteína e pH 3,5, aquecidas a 80°C/30min não formaram gel em todas as proporções testadas, apenas uma dispersão viscosa (Figura 1

a). Com o aumento da concentração de proteína, para 12 e 14%, obteve-se um coágulo pastoso e esbranquiçado (Figura 1 a). O aumento da temperatura de aquecimento das dispersões com 8 e 10% de proteína e pH 3,5 de 80 para 95°C, também resultou na formação de um coágulo pastoso e esbranquiçado (Figura 1 c). Este tipo de gel é formado em pH próximo do pI, pois as interações proteína-água diminuem e géis de estrutura frágil são formados (LUPANO et al., 1992; LUPANO et al., 1996; PUPPO; AÑÓN, 1998). Com concentração de proteína 12 e 14% e aquecimento a 95°C, os géis formados foram firmes (duros), quebradiços, esbranquiçados e com sinerese (Figura 1 c). Puppo; Añón (1998) também observaram que ao se aumentar a concentração protéica de dispersões de IPS com pH ácido de 10 para 14%, aquecidas a 90°C/30min, passa-se de uma dispersão viscosa a materiais que comportam-se como géis.

O tipo de gel formado em pH 3,5 não variou com a proporção de IPS:IPLS, exceto nas proporções 40:60 e 20:80, onde foi observada separação de fases, com formação de três camadas de gel: com um topo e base de IPS e uma camada média predominantemente de IPLS. Howell (1995) também verificou que quando quantidades superiores a 20% de IPLS eram misturadas ao IPS havia separação de fases, explicada pelo autor como incompatibilidade entre as proteínas devido às diferenças de tamanho molecular e configuração e também

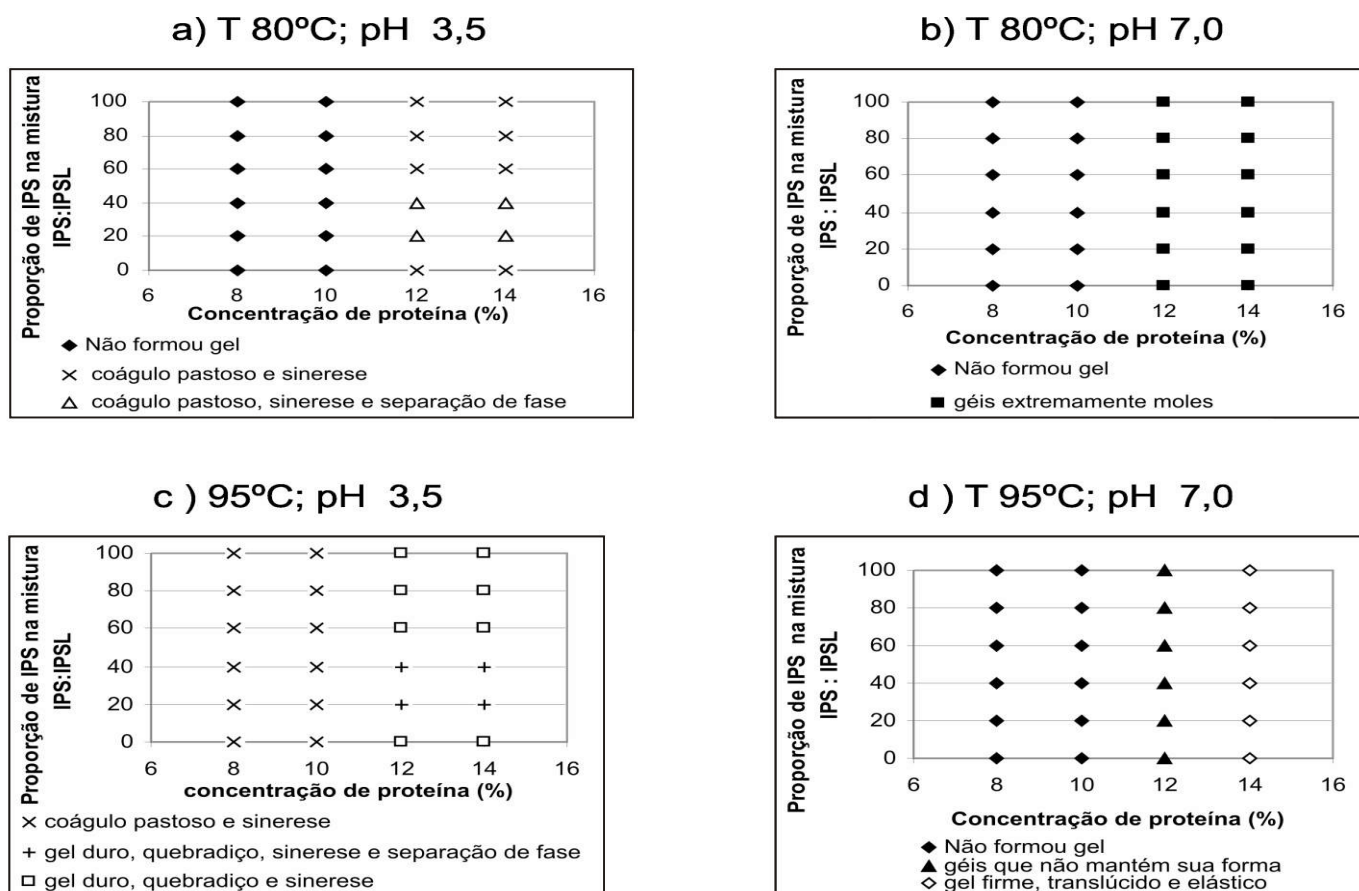


Figura 1 Avaliação da formação de gel em diferentes condições de pH, temperatura, concentração protéica e proporção entre IPS : IPLS.



pelo movimento físico do material mais denso para a base e do material leve para o topo do tubo.

As características dos géis com pH 7,0, nas mesmas condições de temperatura e concentração de proteína, não variaram com a proporção de IPS e IPSL utilizadas. O aquecimento de dispersões protéicas com 8 e 10%, tanto a 80°C quanto a 95°C, resultaram em dispersões viscosas (Figura 1 b e d). O aumento da concentração de proteína para 12 e 14% com aquecimento a 80°C resultou na formação de géis extremamente moles (Figura 1 b). O aquecimento a 95°C das dispersões com 12% de proteína resultou em géis que não mantiveram a forma ao serem retirados dos tubos onde foram formados (Figura 1 d), porém, quando a concentração era 14%, géis formados se mostraram firmes e elásticos.

Nos dois pH estudados só houve formação de gel com concentração protéica acima de 12%. Possivelmente, nas concentrações mais baixas, as interações protéicas intramoleculares foram insuficientes para a formação da estrutura protéica do gel (MORR; FOEGEDING, 1990; PHILLIPS et al., 1994).

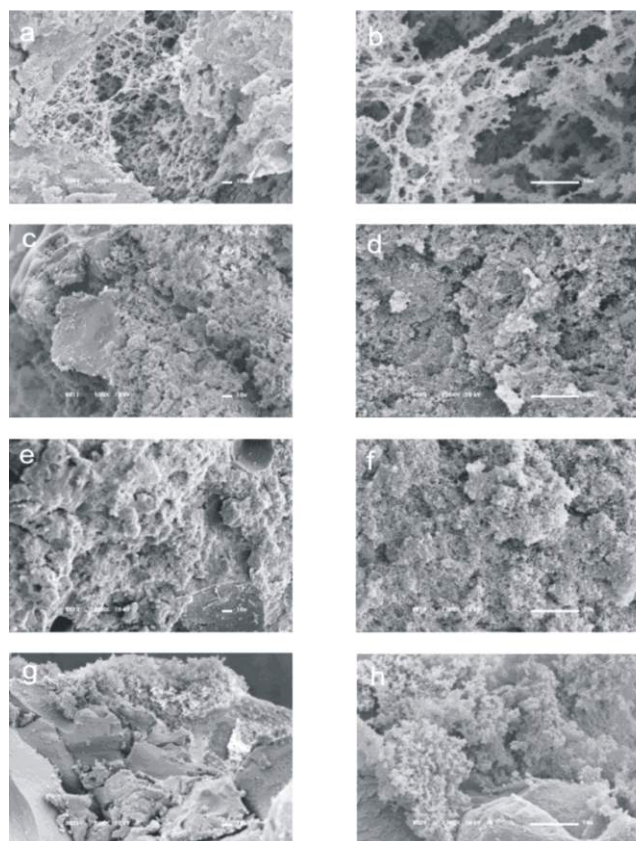
A temperatura de gelificação de proteínas globulares é definida pela sua temperatura de desnaturação

(DAMODARAN, 1994). A temperatura de desnaturação do conjunto das proteínas da soja é 92°C (RENKEMA et al., 2000) e a da -Lg, principal proteína do IPSL, em torno de 85°C. COMFORT; HOWELL (2002) verificaram que para o sistema misto IPS:IPSL com pH 7,0, a desnaturação da -Lg é o principal determinante da temperatura de gelificação, com rápida formação de gel a 90°C. Nas condições estudadas, a obtenção de géis firmes ocorreu a 95°C.

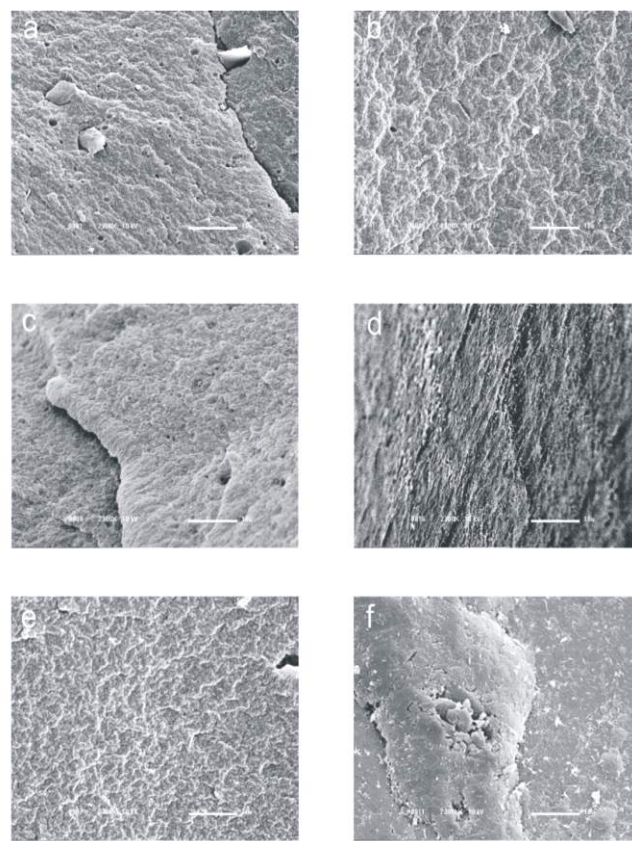
As condições para obtenção de gel auto-sustentável, 14% de proteína e aquecimento a 95°C, foram semelhantes às reportadas por Comfort; Howell (2002): 14-15% de proteína para IPS comercial e 13% para o IPSL comercial BiPRO, o mesmo utilizado no presente trabalho.

### 3.2 Avaliação estrutural dos géis

Os géis auto-sustentáveis (14% de proteína, pH 3,5 e 7,0, obtidos por aquecimento a 95°C/30min) foram avaliados, com exceção dos géis pH 3,5 com proporção de IPSL maior que a de IPS, onde houve separação de fases. As Figuras 2 e 3 mostram as microscopias eletrônicas de varredura dos géis com pH 3,5 e 7,0, respectivamente. Todos os géis com pH 3,5



**Figura 2** Microscopia eletrônica de varredura, com aumento de 2300x (a,c,e,g) e 500x (b,d,f,h), de géis simples e mistos de IPS:IPSL, pH 3,5. (a,b) 100:0; (c,d) 80:20; (e,f) 60:40; (g,h) 0:100.



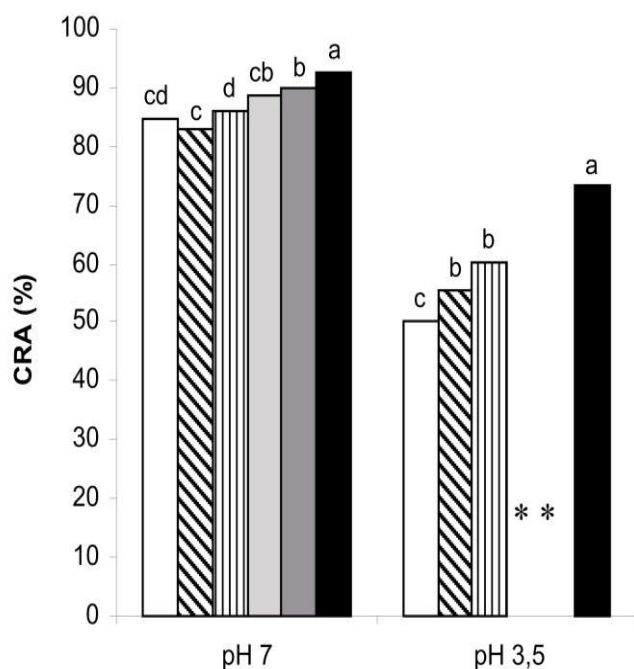
**Figura 3** Microscopia eletrônica de varredura, com aumento de 2300x de géis simples e mistos de IPS:IPSL, pH 7,0. a) 100:0; b) 80:20; c) 60:40; d) 40:60; e) 20:80; f) 0:100.

apresentaram estrutura heterogênea com formação de aglomerados (Figura 2) que variou com a proporção IPS:IPSL: muito porosas, para os géis simples de IPS (Figura 2 a, b); diminuição gradativa da porosidade com aumento da

proporção de IPSL (Figura 2 c, d, e, f), até a estrutura menos porosa, mais ordenada e compacta dos géis simples de IPSL (Figura 2 g, h). Estruturas semelhantes foram observadas para géis ácidos de IPS (RENKEMA, 2004) e de concentrado protéico de soro de leite (CPS) (YAMUL; LUPANO, 2003).

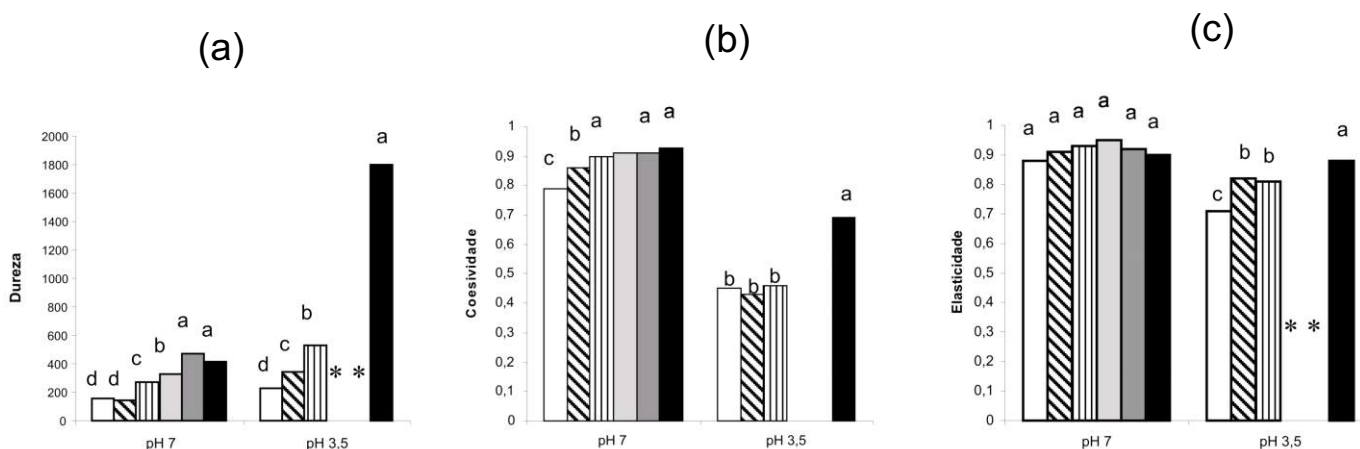
A microestrutura dos géis simples e mistos de IPS e IPSL com pH 7,0 mostrou-se fina e homogênea (Figura 3), característica de géis formados em pH afastado do pI, onde as interações proteína-proteína diminuem e a repulsão eletrostática aumenta (COMFORT; HOWELL, 2002; STADING; HERMANSSON, 1990; van KLEEF, 1986; YAMUL; LUPANO, 2003). Os géis com pH 7,0 apresentaram altos valores de CRA, que variaram de 85% para o gel de IPS a 93% para o gel de IPSL, valores superiores aos dos géis ácidos, 50% e 73%, respectivamente (Figura 4). Para os dois pH estudados, foi verificado um aumento gradativo e significativo ( $p < 0,05$ ) da CRA com o aumento da proporção de IPSL. O aumento da CRA (Figura 4) dos géis com pH 3,5 refletiu as modificações de estrutura, de mais porosa dos géis de IPS a menos porosa dos géis de IPSL (Figura 2). Os poros observados na estrutura destes géis podem interferir na capacidade de imobilizar o solvente via forças capilares (ZIEGLER; FOEGEDING, 1990, apud VARDHANABHUTI, et al., 2001) e por isto levar à maior liberação de água. LUPANO (2000) e YAMUL; LUPANO (2003) também verificaram que os géis de IPSL obtidos em pH próximo ao pI das proteínas e de estrutura particulada apresentavam baixa CRA.

Os parâmetros de textura dos géis estão apresentados na Figura 5. Os géis mistos com pH 7,0 apresentaram valores de dureza intermediários aos dos géis simples de IPS e IPSL (Figura 5 a). Observou-se aumento da dureza com aumento da proporção de IPSL na mistura. O aumento da dureza dos géis com a adição de IPSL pode indicar a importância das ligações dissulfídicas na manutenção da rede do gel (ALTING et al., 2003; SHIMADA; CHEFTEL, 1988). A dureza dos géis 20:80 (IPS:IPSL) foi ligeiramente superior, mas estatisticamente igual à do gel simples de IPSL (Figura 5 a). COMFORT; HOWELL (2002) observaram que ao substituir de 1 a 2% (p/p) de IPSL por IPS houve aumento no módulo elástico



\* - IPS:IPSL 40:60 e 20:80, pH 3,5 Condições em que foram verificadas separação de fase.

**Figura 4** CRA de géis de IPS:IPSL, 14% de proteína, 95° C, nas proporções entre as frações protéicas IPS: IPSL 100:0 □; 80:20 ▨; 60:40 ▩; 40:60 ◻; 20:80 ◼; 0:100 ◼. Valores com sobrescritos diferentes no mesmo pH, indicam diferença significativamente ( $P < 0,05$ ), pelo teste de Tukey.



**Figura 5** Propriedades de textura de géis de IPS:IPSL, 14% de proteína, 95° C, nas proporções entre as frações protéicas IPS: IPSL 100:0 □; 80:20 ▨; 60:40 ▩; 40:60 ◻; 20:80 ◼; 0:100 ◼. (a) Dureza; (b) Elasticidade; (c) Coesividade. Em todos os gráficos, valores com sobrescritos diferentes no mesmo pH, indicam diferença significativamente ( $P < 0,05$ ), pelo teste de Tukey.

do sistema, quando comparado com os géis simples de IPS e de IPSL, indicando que nessa proporção a estrutura protéica foi mais fortemente ligada que a rede formada apenas pelo IPSL. Ao avaliar a dureza de géis mistos com 13% de proteína, MATSUDOMI et al. (2003) verificaram efeito sinérgico, quando a clara de ovo foi substituída por 0,5 a 3% de á-caseína. Porém, quando a substituição foi de 5%, houve diminuição na dureza do gel comparado ao gel simples de clara de ovo.

A substituição parcial de IPS por IPSL nos géis com pH 3,5 resultou em aumento significativo ( $p < 0,05$ ) da dureza, atingindo valores intermediários aos obtidos para os géis simples de IPS e IPSL. A interação proteína-proteína mais forte nos géis de pH 3,5 pode ter favorecido a formação de géis mais duros e com baixa CRA (MOLINA; LEDWARD, 2003).

A coesividade dos géis obtidos em pH 7,0 foi significativamente mais alta ( $p = 0,05$ ) quando a substituição de IPS por IPSL foi 40%. A menor dureza e coesividade dos géis simples de IPS (Figura 5 a, b) indicam uma estrutura mais frágil que a dos géis mistos IPS:IPSL e que dos simples de IPSL. A substituição parcial de IPS por IPSL nos géis com pH 3,5 não modificou a coesividade dos géis (Figura 5 b). A estrutura agregada observada para estes géis pode explicar a sua reduzida coesividade.

A elasticidade dos géis com pH 7,0 não apresentou diferença significativa ( $p > 0,05$ ). Os géis mistos com pH 3,5 apresentaram elasticidade intermediária às dos géis simples de IPS e de IPSL (Figura 5 c). A maior elasticidade e dureza dos géis com pH alcalino e neutro em relação aos de pH ácido pode ser resultado de ligações S-S intermoleculares, que são favorecidas nestes valores de pH (SHIMADA; CHEFTEL, 1988).

#### 4. CONCLUSÃO

A concentração mínima (14%) e temperatura necessária (95°C) para obtenção de géis auto-sustentáveis foram semelhantes, tanto para os sistemas simples de IPS e IPSL como para os mistos, independente da proporção utilizada de cada um dos isolados para a obtenção do gel, nos dois pH estudados.

A mistura IPS:IPSL, nas condições estudadas, levou a formação de géis com melhores propriedades de textura e CRA comparados aos géis simples de IPS.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALTING, A. C.; HAMER, R. J.; de KRUIF, D. G.; PAQUES, M.; VISSCHERS, R. W. Number of thiol groups rather than the size of the aggregates determines the hardness of cold set whey protein gels. *Food Hydrocolloids*, v. 17, 469-479, 2003a.

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL METHODS ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis of the Association Chemistry. 15. ed., Washington, 1990.

BEUSCHEL, B. C.; CULBERTSON, J. D.; PARTRIDGE, P. A.; SMITH, D. M. Gelation and emulsification properties of partially

insolubilized whey protein concentrates. *Journal of Food Science*, v.57, n. 3, p. 605-609, 1992.

BEZAULT, J.; BHIMANI, R.; WIPROVNICK, J.; FURMANSKI, P. Human lactoferrin inhibits growth of solid tumors and development of experimental metastases in mice. *Cancer Research*, v. 54, p. 2310-2312, 1994.

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

BOURNE, M. C. Food texture and viscosity: concept and measurement. New York: Academic Press, 1982, 325p.

CHEFTEL, J. C.; LORIENT, D.; CUO, J. L. Proteínas Alimentárias: bioquímica, propriedades funcionales, valor nutritivo, modificaciones químicas. Editora Acribia, S/A., 1989, cap. 4, p. 196-198.

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

COMFORT, S.; HOWELL, N.K. Gelation properties of soya and whey protein isolate mixtures. *Food Hydrocolloids*, v.16, p.661-672, 2002.

DAMODARAN, S. Structure-function relationship of food protein. In: HETTIARACHCHY, N. S. and ZIGLIER, G. R. (Eds.), Protein Functionality in Food Systems, Marcel Dekker, New York, p.1-38, 1994.

HOWELL, N.K. Synergism and interactions in mixed protein systems. In: Harding, S. E.; Hill, S. E. and Mitchell, J.R. *Biopolymer Mixtures*. Nottingham: N. V. Press. 1995. Cap 16, p 335-336.

JAUREGUI, C. A.; REGENSTEIN, J. M.; BARKER, R. C. A simulated method for measuring expressible moisture, a water-binding property of muscle foods. *Journal of Food Science*, v. 46, n. 4, p. 1271-1273, 1981.

JU, Z. Y.; KILARA, A. Aggregation induced by calcium chloride and subsequent thermal gelation of whey protein isolate. *Journal of Dairy Science*, v. 81, n. 4, p. 925-931, 1998.

KINSELLA, J. E. Advances in Food and Nutrition Research, v.34, p. 261-264, 1990.

van KLEEF, F. S. M. Thermally induced protein gelation: gelation and rheological characterization of highly concentrated ovalbumin and soybean protein gels. *Biopolymers*, v. 25, p. 31-59, 1986.

LUPANO, C. E. Gelation of mixed systems whey protein concentrate-gluten in acidic conditions. *Food Research International*, v. 33, p. 691-696, 2000.

LUPANO, C. E.; DUMAY, E.; CHEFTEL, J. C. Gelling properties of whey protein isolate: influence of calcium removal by dialysis or diafiltration at acid or neutral pH. *International Journal of Food Science and Technology*, v. 27, p. 615-628, 1992.

LUPANO, C. E.; RENZI, L. A.; ROMERA, V. Gelation of whey protein concentrate in acidic conditions: effect of pH. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 44, n. 10, p. 3010-3014, 1996.

MATSUDOMI, N.; KANDA, Y.; MORIWAKI, H. á-Casein improves the gel properties of dried egg white. *Journal of*



*Agricultural and Food Chemistry*, v. 51, p. 7140-7145, 2003.

MAZUR, W.; ADLERCREUTZ, H. Natural and anthropogenic environmental fitoestrogens: the scientific basis for risk assessment. *Pure and Applied Chemistry*, Helsinki, v. 70, n. 9, p. 1759-1776, 1998.

MOLINA, E.; LEDWARD, D. A. Effects of combined high-pressure and heat treatment on the textural properties of soya gels. *Food Chemistry*, v.80, p.367-370, 2003.

MORR, 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, 1990.

PHILLIPS, L. G., WHITEHEAD, D. M.; KINSELLA, J. E. Structure-function properties of food proteins. *Food Science and Technology*, p. 179-204, 1994.

PUPPO, M. C. ; AÑÓN, M. C. Structural properties of heat-induced soy protein gels as affected by ionic strength and pH. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.46, p. 3583-3589, 1998.

RENKEMA, J. M. S.; LAKEMON, C. M. M.; de JONGH, H. H. J.; GRUPPEN, H.; van VLIET, T. V. The effect of pH on heat denaturation and gel forming properties of soy proteins. *Journal of Biotecnology*, v. 79, p. 223-230, 2000.

RENKEMA, J.M.S. Relations between rheological properties and network structure os soy protein gels. *Food Hydrocolloids*, v. 18, p. 39-47, 2004.

SHIMADA, K.; CHEFTEL, J. C. Texture characteristics, protein solubility and sulphhydryl group/disulfide bond contents of heat-induced gels of whey protein. *Journal of agricultural and Food Chemistry*, v. 36, n. 5, p. 1018-1025, 1988.

STADING, M.; HERMANSSON, A. M. Viscoelastic behavior of -Lactoglobulin gel structures. *Food Hydrocolloids*, Oxford, v. 4, p. 121-135, 1990.

VARDHANABHUTI, B.; FOEGEDING, E. A.; MCGUFFEY, M. K.; DAUBERT, C. R.; SWAISGOOD, H. E. Gelation properties of dispersions containing polymerized and native whey protein isolate. *Food Hydrocolloids*, Oxford, v. 15, p. 165-175, 2001.

YAMUL, D. K.; LUPANO, C. E. Properties of gels from whey protein concentrate and honey at different pHs. *Food Research International*, Great Britain, v. 36, p. 25-33, 2003.

ZIEGLER, G.R.; FOEGEDING, E.A. The gelation of proteins. *Adv. Food Nutrition Research*, v.34, p.203-298, 1990.