

CARACTERIZAÇÃO TEXTURAL E FÍSICO-QUÍMICA DO GEL DE SURIMI DE JUNDIÁ (*Rhamdia quelen*)

CLÁUDIO RAFAEL KUHN*
RENATA SCHMIDT FILGUERAS**
LISIANE MENDES TORRES***
JOÃO LUÍS SILVA VENDRUSCOLO****
GERMANO JORGE DORNELLES SOARES*****

Neste trabalho foram avaliadas as características texturais e físico-químicas do gel de surimi de Jundiá (*Rhamdia quelen*), propondo a elucidação do mecanismo termo-induzido da estrutura do gel formado. Determinou-se o comportamento da proteína do surimi a partir do estudo de quatro sistemas de tratamentos térmicos (pré-aquecimento a 60°C durante 30, 45 e 60 min + 90°C, 15 min e aquecimento direto a 90°C, 15 min) e da influência de diferentes aditivos protéicos (soroalbumina bovina (BSA) + α_2 -macroglobulina e clara de ovo) nas características do gel. A utilização de aditivos protéicos em géis submetidos a 90°C, 15 min, proporcionou maior força de gel ($p < 0,05$) e coesividade em relação ao pré-aquecimento. O mesmo comportamento foi observado em relação ao controle, mesmo sob a temperatura de 60°C durante 60 min, demonstrando sua contribuição para a estabilidade térmica da proteína. As alterações no conteúdo sulfidrílico dos géis sugerem que a geleificação térmica do surimi de Jundiá está associada com a quantidade e formação de pontes dissulfeto, pois os tratamentos com menor conteúdo SH (aquecimento a 90°C, 15 min) mostraram maior força de gel. Já as amostras pré-aquecidas a 60°C apresentaram maior conteúdo SH e menor força de gel, característica dos géis com o fenômeno modori.

PALAVRAS-CHAVE: SURIMI; FORÇA DE GEL; GRUPO SULFIDRÍLICO; *Rhamdia Quelen*.

- * Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Professor, Centro Federal de Educação Tecnológica de Bento Gonçalves (CEFET-BG), Universidade Federal de Pelotas (UFPeL), Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial (DCTA), Faculdade de Agronomia 'Eliseu Maciel' (FAEM), Pelotas, RS (e-mail: claudiorafael_kuhn@yahoo.com.br).
- ** Médica Veterinária, MsC, Doutoranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos, DCTA/FAEM/UFPeL, Pelotas, RS (e-mail: refilgueras@yahoo.com.br).
- *** Engenheira de Alimentos, MsC, Doutoranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos, DCTA/FAEM/UFPeL, Pelotas, RS (e-mail: lisianemt@yahoo.com.br).
- **** Doutor em Ciência dos Alimentos, Pesquisador, EMBRAPA – Clima Temperado, Pelotas, RS (e-mail: vendrusc@cpact.embrapa.br).
- ***** Doutor em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Professor Titular, DCTA/FAEM/UFPeL, Pelotas, RS (e-mail: germojds@ufpel.edu.br).

1 INTRODUÇÃO

A formação de gel termoestável no surimi constitui etapa crítica na obtenção de produtos análogos aos frutos do mar, geralmente comercializados na forma de pré-cozidos. A formação da rede protéica tridimensional torna-se fundamental na manutenção e incremento das propriedades funcionais desses produtos, visando propiciar adequada simulação da aparência e textura da carne (VISESSANGUAN, OGAWA e NAKAI, 2000; KUHN, 2003; KUHN et al., 2004).

A formação do gel termoestável no surimi, processo físico-químico complexo, inclui alterações estruturais e funcionais da proteína miofibrilar e pode ser representada pelos estágios de dissociação, desnaturação térmica e agregação (ZIEGLER e FOEGEDING, 1990; MONTERO e GOMEZ-GUILLEN, 1996; TOTOSAUS et al., 2002).

O incremento na temperatura constitui a força motriz para o desdobramento da cadeia protéica, o que enfraquece as ligações que mantêm as estruturas secundárias e terciárias. Com a ocorrência da desnaturação térmica, as moléculas começam a se desdobrar e aumentam a quantidade de água ligada à proteína. Na etapa seguinte, as reações de associação e agregação resultam num sistema de gel pela agregação molecular para a formação de rede protéica tridimensional (VISESSANGUAN, OGAWA e NAKAI, 2000; TOTOSAUS et al., 2002). Em temperaturas entre 50 e 65°C pode ocorrer o fenômeno denominado modori, com perdas na textura do gel associadas à ação de proteases endógenas ativadas termicamente (catepsinas e proteases alcalinas). Outra hipótese baseia-se na coagulação térmica da proteína miofibrilar pelo excessivo incremento de interações hidrofóbicas, produzindo intenso encolhimento das cadeias, liberação excessiva de água e a dispersão da cadeia de modo heterogêneo (NIWA, 1992; AN, PETERS e SEYMOUR, 1996; GARCIA-CARRENO, 1996; VISESSANGUAN et al., 2001). Acima de 70°C ocorre incremento de interações proteína-proteína, possivelmente na porção globular das moléculas de miosina pelas ligações cruzadas covalentes dissulfeto. As ligações dissulfeto (SS) são formadas pela oxidação de grupos sulfidrílicos (SH) adjacentes na matriz protéica. Com o desdobramento da cadeia polipeptídica devido à ação do calor e à exposição dos grupos reativos, as interações hidrofóbicas proteína-proteína são favorecidas. A formação de rede compacta (pela oxidação de grupos SH internos que originam as ligações dissulfeto) conduz a formação de géis termicamente irreversíveis (REPPOND e BABBIT, 1993; MONTERO e GOMEZ-GUILLEN, 1996; GERRARD, 2002; HAMSAKUTTY, 2003). Contudo, as interações protéicas envolvidas na geleificação do surimi têm se mostrado dependentes da espécie de pescado empregada. Diferenças na composição e estrutura da molécula de diversas espécies podem ser responsáveis pela variação na capacidade de geleificação e, conseqüentemente, pelas propriedades texturais do gel kamaboko (VISESSANGUAN, OGAWA e NAKAI, 2000; 2001; KUHN e SOARES, 2002).

O Jundiá, espécie do gênero *Rhamdia* e família Siluridae, é encontrado facilmente no Estado do Rio Grande do Sul e demonstra potencial para a aqüicultura. A espécie apresenta rápido crescimento, rusticidade e altas taxas de fecundação, tornando-a própria para aqüicultura e exploração, sem alteração nos estoques nativos (LUCHINI e SALAS, 1985).

Este trabalho teve como objetivos investigar as características da geleificação do surimi de Jundiá, sob diferentes condições de processamento, bem como o mecanismo pelo qual o gel é formado para complementar as informações necessárias à futura utilização dessa espécie como matéria-prima para alimentos análogos de alto valor comercial.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATÉRIA-PRIMA

O Jundiá (*Rhamdia quelen*), criado em cativeiro, foi fornecido pelo Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Pelotas. O pescado, processado e filetado manualmente (em até 6h pós-captura), foi embalado a vácuo em sacos de polietileno e estocado a -30°C até o momento de seu processamento.

2.2 PROCESSAMENTO DE SURIMI

Os filés previamente descongelados foram submetidos ao processo de separação mecânica (Baader mod. 694, num cilindro com perfurações de 5 mm de diâmetro) para a obtenção da polpa de pescado. Submeteu-se a polpa a lavagens em tanques de polietileno (água fria a $t < 10^{\circ}\text{C}$, razão 3:1 água/polpa), sob leve agitação durante 5 min, com drenagem entre as lavagens (LIN e PARK, 1996). Após o ciclo de lavagens, realizou-se o refino da polpa por compressão (cilindro de aço inox com perfurações de 2 mm de diâmetro) e a operação de drenagem por centrifugação (retirando o excesso de água da polpa) para atingir níveis de umidade entre 70-75% (AOAC, 1995). Os crioprotetores (4% sorbitol, 0,3% tripolifosfato de sódio – Synth Laboratórios) foram misturados à polpa com a pasta dividida para a adição de dois inibidores: a mistura de BSA 1% (soro albumina bovina, Sigma Chemical Co.) e globulinas (α_2 -M, 0,1%); e clara de ovo 3% (Fisher Scientific), além do controle (sem inibidores). O produto, surimi, foi congelado (-30°C) e estocado até o momento da preparação do gel (KUHN e PRENTICE, 1999).

2.3 PREPARAÇÃO DO GEL KAMABOKO

As amostras de surimi (200 g) foram descongeladas, adicionadas de cloreto de sódio – NaCl (3%) e amido (5%) e misturadas por até 2 min para a obtenção de pasta homogênea. Acondicionou-se a pasta em envoltórios de colágeno (20 mm de diâmetro) que foi submetida aos diferentes tratamentos térmicos (KUHN, 2003).

2.3.1 Aquecimento direto

As amostras foram submetidas a uma única etapa de aquecimento a 90°C , durante 15 minutos. Esgotado o tempo de aquecimento, as amostras foram imediatamente resfriadas em água gelada, durante 30 min e mantidas sob refrigeração para as determinações físico-químicas.

2.3.2 Pré-aquecimentos

As amostras foram incubadas a temperatura de 60°C , durante 30, 45 e 60 minutos e, após, submetidas ao aquecimento a 90°C por 15 min.

2.4 ANÁLISES DE TEXTURA

As propriedades texturais de força de compressão e coesividade foram avaliadas em Máquina Universal de Testes – Instron (mod. 1130), utilizando-se célula de carga de 50 Kg, velocidades de carta e cabeça de $10\text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$, com célula plana de pistão chato (35 mm de diâmetro) com no mínimo três repetições para cada tratamento.

Obteve-se a força de compressão (sentido axial) avaliando a força máxima (g) suportada pela amostra cilíndrica (2,0 cm de altura e diâmetro) antes do seu rompimento, sem perder sua estrutura. A mesma amostra sofreu nova compressão de modo separado e consecutivo, registrando-se a força máxima (g) nesse momento (coesividade). As razões entre as áreas ou picos de força obtidos foram transformadas em coesividade (SOARES e ARÊAS, 1995; KUHN et al., 2004).

2.5 QUANTIFICAÇÃO DE GRUPAMENTOS SULFIDRÍLICOS (SH)

As amostras (0,1 g) foram homogeneizadas com 20 mL de uréia 8 M – SDS 2% - EDTA 10 mM em tampão fosfato 0,1 M (pH 6,8), utilizando-se homogeneizador Teflon. Misturou-se alíquota de 4 mL do homogeneizado com 0,4 mL de solução 0,1% de DTNB (5,5-dithio-bis-2-nitrobenzoic acid, Sigma Chemical Co), efetuando-se incubação a 40°C durante 15 min. Determinou-se a

absorbância utilizando comprimento de onda de 412 nm (espectrofotômetro Ultrospec 2000, Pharmacia). Calculou-se o conteúdo sulfidrílico usando o coeficiente de extinção molar de $13.600 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ (TUNHUN et al., 2002).

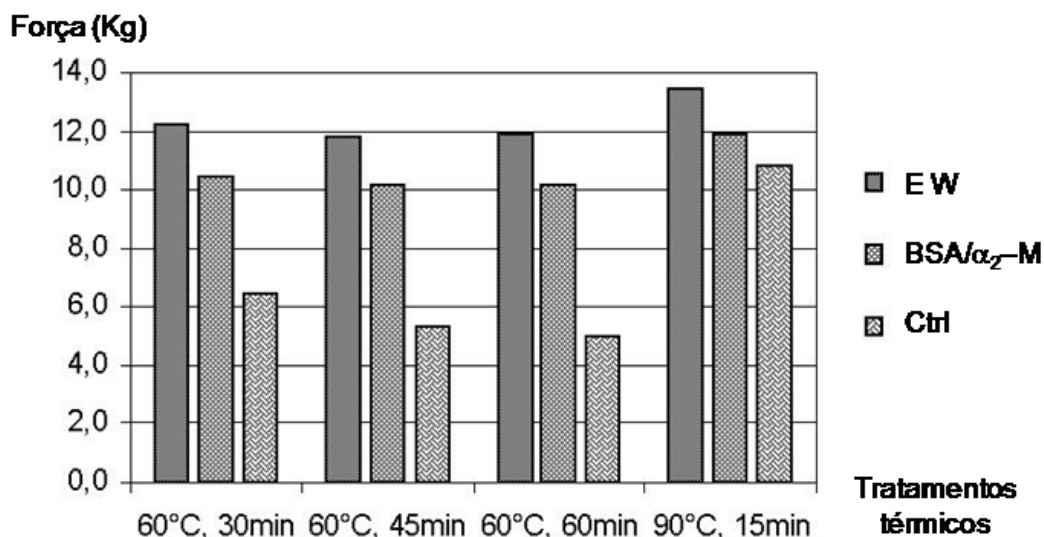
2.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram avaliados pela análise de variância (ANOVA) e a diferença de médias calculada pelo teste de Tuckey (HSD, all pairwise comparisons), com nível de significância estabelecido a $p < 0,05$, utilizando-se o software Statistix for Windows (STATISTIX®, 2003).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A força de gel do surimi sem inibidores (controle) na fase de duplo estágio de aquecimento mostrou-se dependente do tempo (Figura 1). Maior tempo de aquecimento a 60°C diminuiu significativamente a força de gel, possivelmente, pela maior ação proteolítica. O uso de aditivos protéicos (BSA/ α_2 -M, e EW) aumentou a força de compressão ($p < 0,05$), que se manteve praticamente constante até o final do tempo de pré-aquecimento (60 min) para ambos os compostos (embora em magnitudes distintas), confirmando o aumento da resistência térmica dos géis kamaboko.

FIGURA 1 – FORÇA DE COMPRESSÃO DOS GÉIS DE SURIMI DE JUNDIÁ



Pré-aquecimentos a 60°C (30, 45 e 60 min) + aquecimento a 90°C , 15 min. Etapa única de aquecimento: 90°C , 15 min. EW = clara de ovo; BSA/ α_2 -M = soro albumina bovina e α_2 -Macroglobulina; Ctrl = controle.

O mesmo comportamento da força de gel do surimi de Jundiá em relação ao uso de inibidores e ao tempo de aquecimento foi observado com outras espécies, como Tilápia (*Oreochromis sp*), Alabote-dente-curvo (*Atheresthes stomias*) e Merluza (*Merluccius sp*) (AN, PETERS e SEYMOUR, 1996; YONGSAWATDIGUL et al., 2000; VISESSANGUAN et al., 2001). Em géis de Carapau-do-

Japão (*Trachurus japonicus*) houve incremento inicial na força de gel em presença de inibidores, mas essa propriedade diminuiu com o prolongamento do tempo de cocção. Nas amostras controle, a mesma não foi detectável após trinta minutos (CHEN, 2000), contrariamente ao observado neste experimento.

A força de gel durante o tratamento térmico direto (90°C, 15 min) foi maior ($p < 0,05$) do que nos tratamentos com duplo estágio (Figura 1), indicando a ocorrência de geleificação protéica miofibrilar em altas temperaturas e efeito térmico inibitório sobre a proteólise. A adição de compostos inibidores aumentou a força de gel, diferenciando-se ($p < 0,05$) da amostra controle. Efeitos similares também foram observados em outras espécies de pescado (TABILO-MUNIZAGA e BARBOSA-CANOVAS, 2005; GARCIA-CARRENO, 1996; RAEKER e JOHNSON, 1995) submetidas aos mesmos compostos protéicos como inibidores.

A força de compressão média do gel de Jundiá mostrou-se superior a observada para Pescada-foguete (*Macrodon ancylodon*) (KUHN et al., 2004; 2003) e Castanha (*Umbrina canosa*) (LEMPEK et al., 2004) sem uso de inibidores. Constatou-se ainda maior diferença para géis de Tilápia (*Oreochromis* sp), espécie de água doce amplamente utilizada na aquicultura. Seu perfil textural para o mesmo ensaio instrumental evidenciou valores três vezes menor, mesmo com a utilização de diferentes hidrocolóides em substituição à fécula de mandioca (BARRETO e BEIRÃO, 1999).

Os dados do experimento confirmaram a contribuição da clara de ovo (EW) na concentração utilizada para o acréscimo da textura. Tal efeito deve-se às propriedades do conjunto de suas proteínas, visto que em concentrações superiores à utilizada pode ocorrer a formação de gel brando que interfere negativamente na textura dos produtos (LEE, WU e OKADA, 1992).

A ação do complexo inibidor EW no gel de Jundiá não encontrou limitações devido ao tamanho da molécula, indicando que o processo de elaboração do surimi facilitou a penetração e difusão do inibidor no tecido muscular. Tal fato reforça observações anteriores em géis de Merluza do pacífico (MORRISSEY et al., 1993; RAEKER e JOHNSON, 1995; ASHIE, SIMPSON e RAMASWAMY, 1996), Pescada (KUHN e SOARES, 2002) e Carapau-do-Japão (CHEN, 2000).

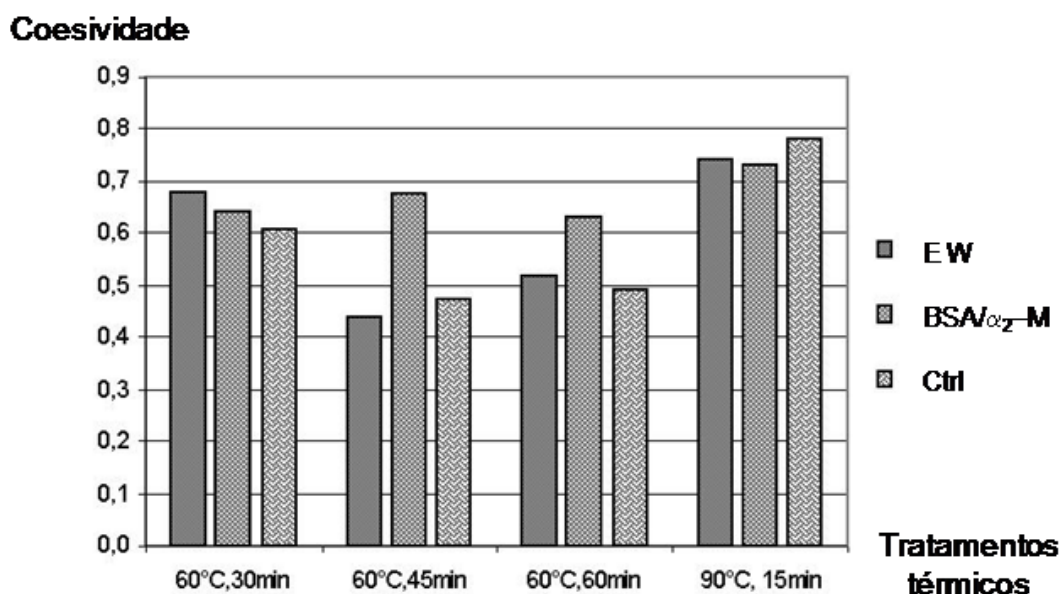
A combinação de proteínas do plasma, soro albumina bovina (BSA) e α_2 -macroglobulina (α_2 -M) contribuiu para melhorar a textura do gel de surimi de Jundiá, embora em nível inferior ($p < 0,05$) ao gel tratado com EW (Figura 1). Esse efeito sinérgico propiciou textura de gel superior à de pescada adicionada de BSA como inibidor (KUHN et al., 2003), ou similar ao uso de BSA em concentrações acima de 3% (SEYMOUR et al., 1997). Na ampliação desse efeito sinérgico já foi utilizado o conjunto de proteínas do plasma bovino (PPB), cuja presença de moléculas de fibrinogênio propicia interação entre BSA, α_2 -m e a miosina (MORRISSEY et al., 1993; SEYMOUR et al., 1997; CHEN, 2000).

A coesividade dos géis diminuiu (Figura 2) nos tratamentos térmicos com duplo estágio de aquecimento, principalmente após 45 min. Esse decréscimo pode ser atribuído à desnaturação protéica, que altera as interações intermoleculares das cadeias protéicas durante longo período de exposição ao aquecimento (LANIER, 1986), podendo estar associado também com ação proteolítica (AN, PETERS e SEYMOUR, 1996).

Controlou-se melhor o efeito da ação proteolítica a partir dos 45 min de aquecimento, constatando-se adequada resposta da combinação das proteínas do plasma (BSA e α_2 -M) em relação à EW. Isto porque a fração γ -globulina presente na BSA confere estabilidade térmica ao inibidor, exigindo maior temperatura de desnaturação (RAEKER e JOHNSON, 1995).

Os valores de coesividade no aquecimento direto não diferiram entre os tratamentos (Figura 2), indicando a integridade da matriz protéica e, conseqüentemente, a manutenção da textura elástica do gel kamaboko. Géis de surimi de Merluza do Atlântico (*Merluccius spp*) apresentaram o mesmo comportamento em condições similares de aquecimento (MURPHY et al., 2005). Além disso, a estabilidade térmica da miosina (fator dependente da espécie e condições de habitat) influi nas propriedades do gel. As proteínas provenientes de espécies de águas frias utilizadas na elaboração de gel são mais instáveis quando submetidas ao tratamento térmico (MORÁLEZ et al., 2001).

FIGURA 2 – EFEITO DOS TRATAMENTOS NA COESIVIDADE DOS GÉIS DE SURIMI DE JUNDIÁ



Pré-aquecimentos a 60°C (30, 45 e 60 min) + aquecimento a 90°C, 15 min. Etapa única de aquecimento = 90°C, 15 min. EW = clara de ovo, BSA/ α_2 -M = soro albumina bovina e α_2 -Macroglobulina; Ctrl = controle.

A quantificação dos grupamentos sulfidrílicos (SH) nos géis de surimi de Jundiá revelou decréscimo desses grupos em relação ao surimi após os tratamentos térmicos (Tabela 1), especialmente no sistema de aquecimento direto ($p < 0,05$).

TABELA 1 – QUANTIFICAÇÃO DE GRUPOS SULFIDRÍLICOS PARA GÉIS DE SURIMI DE JUNDIÁ

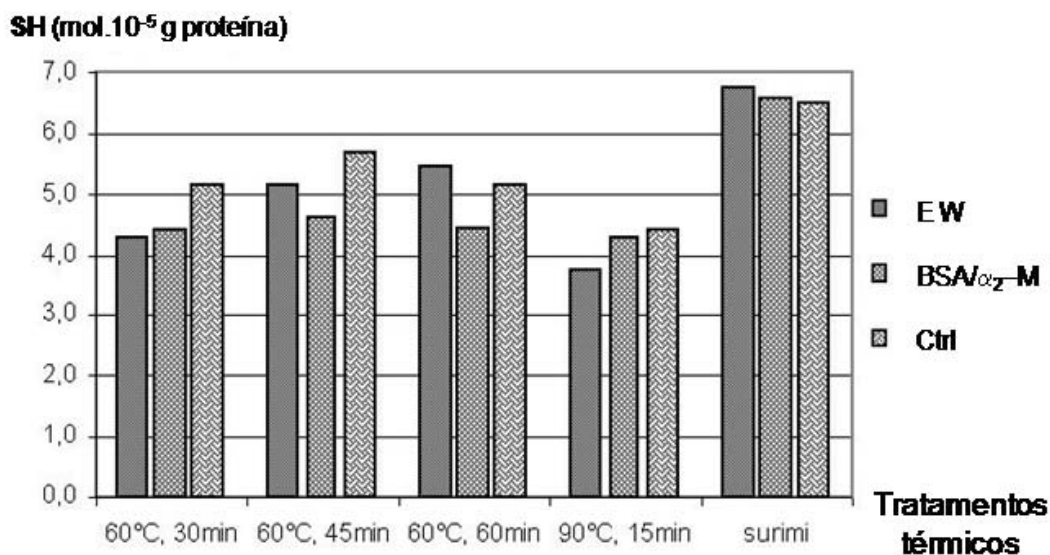
| Tratamento térmico | | SH (mol.10 ⁻⁵ g proteína) | | |
|--------------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------|-----------|
| | | EW | BSA/ α_2 -M | Ctrl |
| 60°C | 30 min+90°C, 15 min | 4,3021 Ba | 4,4105 Aa | 5,1553 Bb |
| | 45 min+90°C, 15 min | 5,1538 Cb | 4,6120 Aa | 5,6856 Bc |
| | 60 min+90°C, 15 min | 5,4423 Cb | 4,4615 Aa | 5,1392 Bb |
| 90°C, 15 min | | 3,7433 Aa | 4,2859 Ab | 4,4065 Ab |
| Surimi (sem aquecimento) | | 6,7678 Da | 6,5707 Bb | 6,4966 Db |

Letras distintas, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tuckey ($p < 0,05$).

O conteúdo sulfidrílico de 6,49 mol.10⁻⁵g de proteína do surimi de Jundiá sem adição de inibidores (Tabela 1) foi semelhante ao de outras espécies de pescados, como o Salmão (LIN e PARK, 1998) e Carapau-do-Japão (VISESSANGUAN et al., 2000). Já em géis de Carpa (*Cyprinus carpio*) e de Peixe-voador do Japão (*Cypselurus hiraii*), os teores de grupos SH atingiram valores na ordem de 8,0 e 7,0 mol.10⁻⁵g da proteína, respectivamente (RUNGLERDKRIANGKRAI et al., 1999).

As diferenças no conteúdo sulfidrílico dos géis de Jundiá mostraram-se dependentes dos sistemas de aquecimento (Figura 3). O aquecimento por duplo estágio propiciou níveis maiores ($p < 0,05$) de sulfidrilas, correspondendo aos menores valores de força de gel (observado no ensaio de compressão). No aquecimento direto houve decréscimo ($p < 0,05$) de grupamentos sulfidrílicos do gel kamaboko de Jundiá, que pela oxidação possibilitaram a formação de ligações cruzadas dissulfeto (SS) intermoleculares, aumentando a força de gel (GERRARD, 2002; BENJAKUL et al., 2001; BENJAKUL, VISESSANGUAN e CHANTARASUWAN, 2004). O fenômeno ocorreu principalmente na porção globular da molécula de miosina, que contém a maior parte dos grupos SH (VISESSANGUAN et al., 2000), como decorrência do seu desdobramento e a formação do polímero responsável pela rede protéica tridimensional característica do gel kamaboko (MONTERO e GOMEZ-GUILLÉN, 1996).

FIGURA 3 – CONTEÚDO SULFIDRÍLICO DE GÉIS KAMABOKO E DO SURIMI DE JUNDIÁ



Pré-aquecimentos a 60°C (30, 45 e 60 min) + aquecimento a 90°C, 15 min. Etapa única de aquecimento = 90°C, 15 min. EW = clara de ovo, BSA/α₂-M = soro albumina bovina e α₂-Macroglobulina; Ctrl = controle.

O decréscimo significativo de grupos SH, observado no gel de Jundiá no aquecimento direto, foi constatado nas espécies Escamudo-do-alasca (*Theragra chalcogramma*) (HOSSAIN et al., 2001), Carpa e Peixe-voador do Japão (RUNGLERDKRIANGKRAI et al., 1999; TUNHUN et al., 2002) em temperaturas superiores a 80°C. Espécies como a Catalufa pintada (*Priacanthus* spp) demonstraram decréscimo efetivo no conteúdo sulfidrílico em intervalo de temperatura menor, entre 50-70°C, sendo termicamente mais suscetíveis à formação de pontes dissulfeto (BENJAKUL et al., 2001).

Os géis kamaboko de Jundiá expostos a 60°C apresentaram maior conteúdo sulfidrílico e reduzida força de gel, possivelmente pela ausência das ligações dissulfeto. Isso indica a ocorrência do 'modori', associado à presença de proteases termoestáveis ativadas na faixa de temperatura entre 50-70°C (KUHN e SOARES, 2002). Excessiva interação hidrofóbica, provocada pela associação da temperatura e longo tempo de aquecimento, pode levar à formação inadequada do gel que caracteriza o 'modori não-proteolítico' (LEE, WU e OKADA, 1992). Esse fenômeno produz encolhimento na estrutura, perda de água e dispersão das cadeias de forma heterogênea (MONTERO e GOMEZ-GUILLÉN, 1996).

4 CONCLUSÃO

Os resultados indicaram que a maior textura do gel ocorre com o decréscimo do conteúdo sulfidrílico da proteína, comprovando sua influência no mecanismo de formação do gel de surimi de Jundiá. Demonstrou-se que o duplo estágio de aquecimento mantém maiores níveis de sulfidrilas em relação ao sistema de aquecimento direto, o que caracteriza o fenômeno modori. A presença de aditivos protéicos também contribui para a redução dos grupos SH, melhorando significativamente a textura do gel de surimi de Jundiá.

ABSTRACT

TEXTURAL AND PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SURIMI'S GEL FROM JUNDIÁ (*Rhamdia quelen*)

Textural and physicochemical properties of surimi's gel from Jundiá were investigated to elucidate its heat-induced gelation mechanism. The behavior of the surimi protein was determined through four different thermic treatments (pre-heating at 60°C for 30, 45 and 60 min + 90°C for 15 min) and the influence of protein additives (BSA+ α – macroglobulin an egg white) at the gel characteristics. The use of protein additive at gels submitted to 90°C for 15 min showed higher gel strength ($p < 0.05$) and cohesiveness related to the pre-heating. The same behavior was observed concerning the control, even under a 60°C temperature during 60 min, showing its contribution for the protein thermostability. Modification at the sulphidryl gel content suggests, that the Jundiá Surimi gelation mechanism is associated to the quantity of disulfide bonds formed, because the treatments with lower SH content (heating 90°C, 15 min) presented higher gel strength. The pre-heated samples (60°C) presented higher SH content and lower gel strength, characteristics of the gels with the "modori" phenomenon.

KEY-WORDS: SURIMI; GEL STRENGTH; SULPHYDRYL GROUPS; *Rhamdia quelen*.

REFERÊNCIAS

- 1 AN, H.; PETERS, M.Y.; SEYMOUR, T.A. Roles of endogenous enzymes in surimi gelation. **Trends in Food Science and Technology**, v.7, p. 321–326, 1996.
- 2 AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of the AOAC International**. 16th ed. Arlington, 1995.
- 3 ASHIE, I. N.A.; SIMPSON, B.K.; RAMASWAMY, H.S. Control of endogenous enzyme activity in fish muscle by inhibitors and hydrostatic pressure using RSM. **Journal of Food Science**, v. 61, p. 350-356, 1996.
- 4 BARRETO, P.L.M.; BEIRÃO, L.H. Influência do amido e carragena nas propriedades texturais do surimi de Tilápia (*Oreochromis sp.*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, p. 183-188, 1999.
- 5 BENJAKUL, S.; VISESSANGUAN, W.; CHANTARASUWAN, C. Effect of high temperature setting on gelling characteristic of surimi from some tropical fish. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 39, p. 671-680, 2004.
- 6 BENJAKUL, S.; VISESSANGUAN, W.; ISHIZAKI, S.; TANAKA, M. Differences in gelation characteristics of natural actomyosin from two species of Bigeye snapper, *Priacanthus tayenus* and *Priacanthus macracanthus*. **Journal of Food Science**, v. 66, p. 1311-1318, 2001.
- 7 CHEN, H.H. Effect of non-muscle protein on the thermogelation of horse mackerel surimi and the resultant cooking tolerance of kamaboko. **Fisheries Science**, v. 66, p. 783-788, 2000.
- 8 GARCÍA-CARREÑO, F.L. Proteinase inhibitors. **Trends in Food Science and Technology**, v. 7, p. 197-204, 1996.
- 9 GERRARD, J.A. Protein-protein crosslinking in food: methods, consequences, applications. **Trends in Food Science and Technology**, v. 13, p. 391-399, 2002.
- 10 HAMSAKUTTY, H. Cysteine: free radical and radiation biology. **Bulletin of University of Iowa**, Iowa City, v.1, p.1-10, 2003.
- 11 HOSSAIN, M.I.; ITOH, Y.; MORIOKA, K.; OBATAKE, A. Contribution of the polymerization of protein by disulfide bonding to increased gel strength of walleye Pollack surimi gel with preheating time. **Fisheries Science**, v. 67, p. 710-717, 2001.

- 12 KUHN, C.R. **Inibidores de proteases na qualidade do gel de surimi de sub-produtos do processamento de pescada-foguete (*Macrodon ancylodon*)**. Pelotas, 2003, 69 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial), Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Universidade Federal de Pelotas.
- 13 KUHN, C.R.; PRENTICE, C. Estudo tecnológico para obtenção de surimi utilizando resíduos do processamento de Pescada-foguete (*Macrodon ancylodon*). In: OCEANOS, fonte de alimentos. Prêmio Jovem Cientista. Rio de Janeiro: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1999. p.181-211.
- 14 KUHN, C.R.; SOARES, G.J.D. Proteases e inibidores no processamento de surimi. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 8, n. 1, p. 5-11, 2002.
- 15 KUHN, C.R.; FILGUERAS, R.S.; VENDRUSCOLO, J.L.; PRENTICE, C.; SOARES, G.J.D. Efecto de inibidores de proteasa y de transglutaminasa en el gel de surimi de pescada-foguete (*Macrodon ancylodon*). **Alimentaria**, Madrid, v. 41, n. 358, p. 53-60, nov. 2004.
- 16 KUHN, C.R.; SOARES, G.J.D.; PRENTICE, C.; VENDRUSCOLO, J.L. Avaliação da força de gel de surimi de resíduos de pescada-foguete (*Macrodon ancylodon*) enriquecido com aditivos protéicos. **Boletim do CEPPA**, v. 21, n. 2, p. 239-248, jul./dez, 2003.
- 17 LANIER, T.C. Functional properties of surimi. **Food Technology**, v. 40, p. 107-116, 1986.
- 18 LEE, C.M.; WU, M.C.; OKADA, M. Ingredient and formulation technology for surimi-based products. In: LANIER, T.C.; LEE, C.M. (Eds). **Surimi technology**. New York: Marcel Dekker, 1992. p. 273-302.
- 19 LEMPEK, T.S.; PRENTICE, C.H.; SILVA, A.G.; SILVA, R. Avaliação do gel de surimi de castanha (*Umbrina canosa*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19., Recife, 2004. **Anais...** Recife, PE: BCTA, 2004. p.198.
- 20 LIN, T.M.; PARK, J.W. Extraction of proteins from Pacific whiting mince at various washing conditions. **Journal of Food Science**, v. 61, p. 432-438, 1996.
- 21 LUCHINI, L.; SALAS, T. Primer alevinaje del bagre sudamericano (*Rhamdia sapo*) en condiciones controladas. **Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral**, v. 16, p. 137-147, 1985.
- 22 MONTERO, P.; GOMEZ-GUILLÉN, C. Thermal aggregation of sardine muscle proteins during processing. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, p. 3625-3630, 1996.
- 23 MORALES, O.G.; RAMÍREZ, J.A.; VIVANCO, D.I.; VÁZQUEZ, M. Surimi of fish species from the Gulf of Mexico: evaluation of the setting phenomenon. **Food Chemistry**, v. 75, p. 43-48, 2001.
- 24 MORRISSEY, M.T.; WU, J.W.; LIN, D.; AN, H. Protease inhibitor effects on torsion measurements and autolysis of Pacific whiting surimi. **Journal of Food Science**, v. 58, p. 1050-1054, 1993.
- 25 MURPHY, S.C.; GILROY, D.; KERRY, J.F.; KERRY, J.P. Assessment of added protein/starch on the functional properties on surimi gels manufactured from Atlantic whiting. **Journal of Food Science**, v. 70, p. 21-24, 2005.
- 26 NIWA, E. Chemistry of surimi gelation. In: LANIER, T. C.; LEE, C. M. (Eds). **Surimi technology**. New York: Marcel Dekker, 1992. p. 289-328.
- 27 RAEKER, M.Ö.; JOHNSON, L.A. Thermal and functional properties of bovine blood plasma and egg white proteins. **Journal of Food Science**, v. 60, p. 685-690, 1995.
- 28 REPPOND, K.D.; BABBITT, J.K. Protease inhibitors affect physical properties of arrowtooth flounder and Walleye Pollock surimi. **Journal of Food Science**, v. 58, p. 96-98, 1993.
- 29 RUNGLERDKRIANGKRAI, J.; ITOH, Y.; KISHI, A.; OBATAKE, A. Polymerization behavior of various actomyosin through disulfide bonding upon heating. **Fisheries Science**, v. 65, p. 304-309, 1999.
- 30 SEYMOUR, T.A.; PETERS, M.Y.; MORRISSEY, M.T.; AN, H. Surimi gel enhancement by bovine plasma proteins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, p. 2919-2923, 1997.
- 31 SOARES, G.J.D.; ARÊAS, J.A.G. Effect of electrical stimulation on *post mortem* biochemical characteristics and quality of *Longissimus dorsi thoracis* muscle from Buffalo (*Bubalus bubalis*). **Meat Science**, v. 41, n. 3, p. 369-379, 1995.
- 32 STATISTIX. **Analytical Software** (Statistix 8.0, data analysis software system, for windows©©), Cary, NC, 2003.
- 33 TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CANOVAS, G.V. Pressurized and heat-treated surimi gels as affected by potato starch and egg white: microstructure and water-holding capacity. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v. 38, p. 47-57, 2005.
- 34 TOTOSAUS, A.; MONTEJANO, J.G.; SALAZAR, J.A.; GUERRERO, I. A review of physical and chemical protein-gel induction. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 37, p. 589-601, 2002.

- 35 TUNHUN, D.; ITOH, Y.; MORIOKA, K.; KUBOTA, S.; OBATAKE, A. Gel forming ability of fish meat oxidized during washing. **Fisheries Science**, v. 68, p. 662-671, 2002.
- 36 VISENSSANGUAN, W.; MENINO, A.; KIM, S.M.; AN, H. Cathepsin L: a predominant heat-activated proteinase in Arrowtooth flounder muscle. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, p. 2633-2640, 2001.
- 37 VISENSSANGUAN, W.; OGAWA, M.; NAKAI, S.; AN, H. Physicochemical changes and mechanism of heat-induced gelation of Arrowtooth flounder myosin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 1016-1023, 2000.
- 38 YONGSAWATDIGUL, J.; PARK, J.W.; VIRULHAKUL, P.; VIRATCHAKUL, S. Proteolytic degradation of tropical tilapia surimi. **Journal of Food Science**, v. 65, p.129-133, 2000.
- 39 ZIEGLER, G.R.; FOEGEDING, E.A. The gelation of proteins. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 34, p. 203-298, 1990.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Pelotas pelo fornecimento de matéria-prima; a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA – Clima Temperado pelo suporte laboratorial; a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento – CNPq pela bolsa de estudo e suporte financeiro, respectivamente.