

Influência de Íons de Potássio e Cálcio nos Géis de Carragenas *Kappa* e *Iota*

Valeriana Silveira Andrade

Universidade Severino Sombra, CECETEN,
Curso de Química Industrial,
Valeriana90@gmail.com

Imar Oliveira de Araújo

Universidade Severino Sombra, CECETEN,
Curso de Química Industrial,
imar1957@gmail.com

Silvia Ainara Cardoso Agibert

Centro de Tecnologia SENAI-RJ Alimentos e Bebidas,
sagibert@firjan.org.br

Paulo Henrique Simões Fernandes

Universidade Severino Sombra, CECETEN,
Curso de Química Industrial,
ph_fernandes@globo.com

Resumo: No presente estudo avaliou-se a influência da concentração de diferentes sais (KCl , $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, K_2SO_4 e $CaSO_4 \cdot 2H_2O$) sobre as carragenas *Kappa* e *Iota* (polissacarídeos sulfatados utilizados principalmente na indústria alimentícia, de cosméticos e têxteis, como géis, estabilizantes, espessantes e emulsificantes) em dispersões aquosas deionizadas, suas propriedades gelificantes, sinérese e pH. Para análise de textura foi utilizado o analisador de textura TAXT/2i Stable Micro Systems. O método de penetração mostrou que em todas as provas, acima de certo limite, ocasionou-se impacto negativo sobre o sistema investigado. As parcelas de força de compressão para a *k*-carragena variaram consideravelmente, com resultados satisfatórios em relação à interação dos íons Ca^{2+} para os dois sais utilizados. Os melhores resultados de força de compressão em concentrações maiores foram obtidos com KCl . Já utilizando-se o sal K_2SO_4 não houve significativas variações. Quanto a *i*-carragena, a pequena variação obtida, provavelmente é decorrente de impurezas de *k*-carragena.

Palavras-chave: *Kappa*-Carragena. *Iota*-carragena. Íons. Gel.

Influence of Potassium and Calcium Ions in the Gels of *Kappa* and *Iota* Carrageenans

Abstract: In this study, we evaluated the influence of the concentration of different salts (KCl , $CaCl_2 \cdot 2H_2O$, K_2SO_4 and $CaSO_4 \cdot 2H_2O$) on *Kappa* and *Iota* carrageenans (sulfated polysaccharides used mainly in textile, food and cosmetics industries such as gels, stabilizers, thickeners and emulsifiers) in deionized aqueous dispersions, their gelling properties, syneresis and pH. For texture analysis, Stable Micro Systems TAXT/2i texture analyzer was used. The

penetration method showed that, in all tests above a particular level, a negative impact on the investigated system was manifested. The plots of compressive strength for the k-carrageenan varied considerably, presenting satisfactory results regarding the interaction of Ca^{2+} ions for the two salts used. The best results of compressive strength at higher concentrations with KCl were obtained, when the use of salt K_2SO_4 demonstrated no significant variations. As for the i-carrageenan, the small variation observed was probably caused by impurities of the k-carrageenan.

Keywords: Kappa carrageenan. Iota carrageenan. Ions. Gel.

Introdução

As carragenas são polissacarídeos sulfatados utilizados principalmente na indústria alimentícia, de cosméticos e têxteis como agentes estabilizantes, gelatinizantes, espessantes e emulsificantes (Glicksman, 1987 apud Hayashi, 2001).

Quimicamente, as carragenas são poligalactanos, polímeros sulfatados de moléculas alternadas de D-galactose e 3-6 anidro-D-galactose (3,6-AG) unidas por ligações glicosídicas α (1-3) e β (1-4). As moléculas de galactose e 3,6-AG encontram-se parcialmente substituídas por grupos sulfato e piruvato, razão pela qual as carragenas apresentam-se geralmente como sais de sódio, potássio ou cálcio (Aditivos e Ingredientes, 2009).

As carragenas são conhecidas desde o século XIX quando eram extraídas da alga vermelha *Chondrus crispus* e utilizadas pela população da cidade irlandesa de Carrageen, como agente emulsificante e gelificante em alimentos caseiros (Nosedá, 1994). Hoje, outras algas vermelhas dominam em importância como matéria-prima para fabricação de carragena, o que amplia o espectro das propriedades que podem ser alcançadas. Essas espécies importantes são as *Euchema cottonii* e *Euchema spinosum*, ambas da família das *Solieriaceae*. São algas de águas mais quentes que podem ser encontradas na costa das Filipinas e da Indonésia. Servem para produzir as carragenas de tipo *Kappa* (κ) e *Iota* (i) (Aditivos e Ingredientes, 2009).

Dentre as carragenas, as mais usadas e que possuem importância comercial se dividem em *Kappa* (k), *Iota* (i) e *Lambda* (λ) e estão ilustradas na Figura 1. A posição e o número de grupos de éster sulfato, bem como o conteúdo de 3,6-anidridogalactose determinam as diferenças primárias entre os tipos de carragenas. Maiores níveis de éster sulfato implicam menor força de gelificação e baixa temperatura de solubilização. A carragena tipo *Kappa* contém de 25-30% de éster sulfato e de 28-35% de 3,6-AG. Devido a esse alto teor de 3,6-AG, essas carragenas formam géis firmes e quebradiços em água e em leite, com certa sinérese e oferecem boa retenção de água. A carragena tipo *Iota* contém de 28-35% de éster sulfato e de 25-30% de 3,6-AG. Forma géis elásticos em água e leite, com baixa sinérese e apresenta boa estabilidade aos ciclos congelamento-descongelamento. O tipo *Lambda* apresenta o maior conteúdo de éster sulfato, aproximadamente 32-39%, e 0% de 3,6-AG. Pela ausência de 3,6-AG não gelifica e, devido ao seu alto grau de sulfatação é a carragena mais solúvel em água e leite frio, propiciando assim uma alta viscosidade (Food Ingredients Brasil, 2010).

As carragenas podem ser usadas como géis espessantes ou em suspensão. Estabilizam emulsões e controlam a sinérese, o que proporciona dispersão, ligação e corpo ao produto final. Os principais usos das carragenas atualmente estão em produtos lácteos, doces e confeitaria, produtos cárneos, bebidas, panificação, molhos e sopas, entre outras aplicações industriais (Doce, Aroma, Aditivos e Ingredientes, 2012). Incluem-se ainda os mais diversos produtos com baixo teor calórico (análogos de queijos, geleia de baixo teor de sólidos, chocolates, pudins) e em número ilimitado de alimentos convencionais (Marine, 1991 apud Dias, 2007). Estão listadas pelo FDA (Food and Drug Administration) como GRAS (Generally Recognized as Safe), sendo considerados aditivos alimentares permitidos para adição direta em alimentos para consumo humano (Aditivos e Ingredientes, 2009).

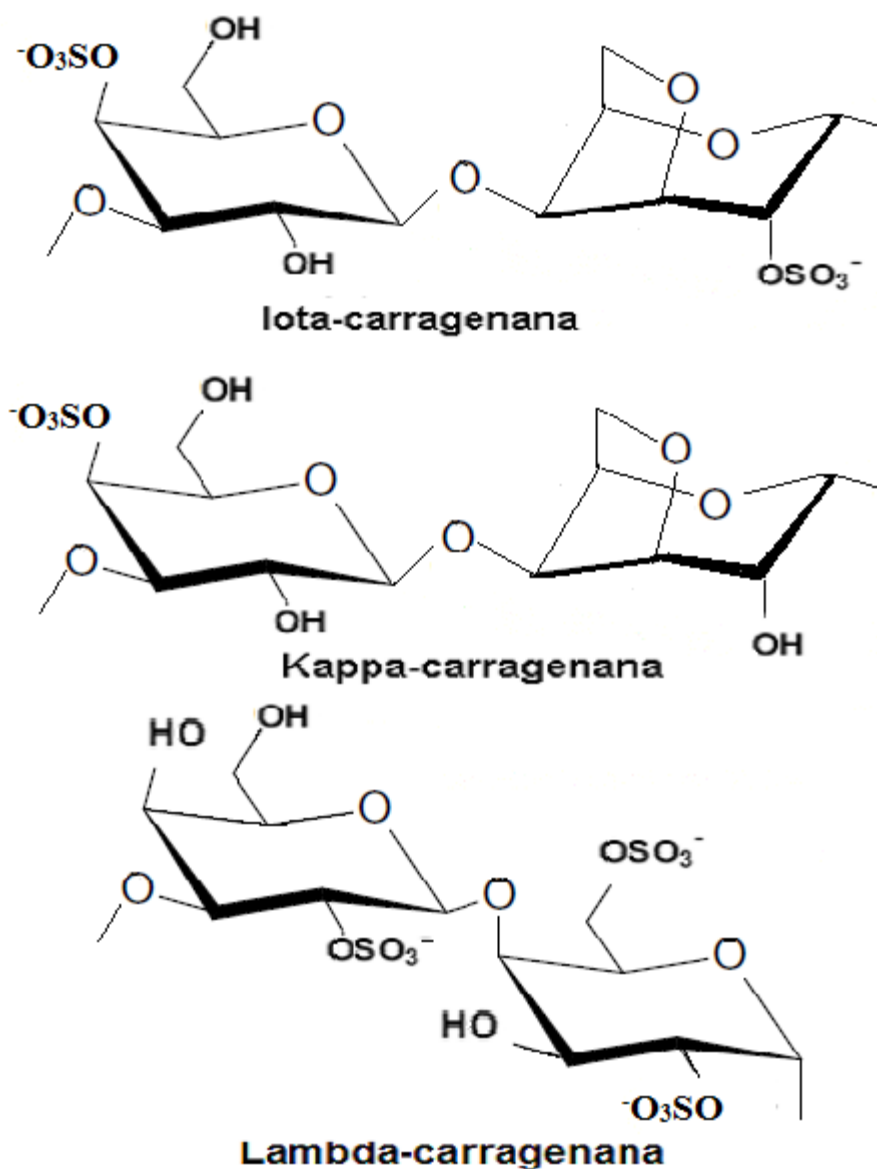


Figura 1. Estrutura das unidades dissacarídicas repetitivas dos três principais tipos de carragenas: *Iota*, *Kappa* e *Lambda* (Dyrby et al 2004)

A diferença na textura dos géis de *Kappa*- e *Iota*-carragena é reflexo das diferenças nas suas estruturas: os géis de *Iota*-carragena consistem da união das duplas hélices com pouca ou nenhuma agregação, o que proporciona flexibilidade e suavidade aos géis. Em contraste, géis de *Kappa*-carragena são originados de hélices agregadas, uma vez que estas moléculas não gelificam sob condições em que não há agregação, o que faz com que sejam relativamente duros e quebradiços (Stanley, 1987). Uma das mais notáveis características das carragenas está na sua pronunciada sensibilidade ao ambiente iônico que se reflete em quase todas as suas propriedades geleificantes. Não somente a quantidade ou a valência dos íons, mas também a identidade dos íons presentes pode ser importante (Picullel et al 1997). Em geral, a adição de sal aumenta a estabilidade das hélices ordenadas e promove a gelificação como apresentado na figura 2. Outra característica importante, de acordo com (Bobbio e Bobbio, 2001), é que a carragena combina-se com algumas proteínas, especialmente a caseína do leite, produzindo géis fortes com concentrações menores do que em sistemas aquosos.

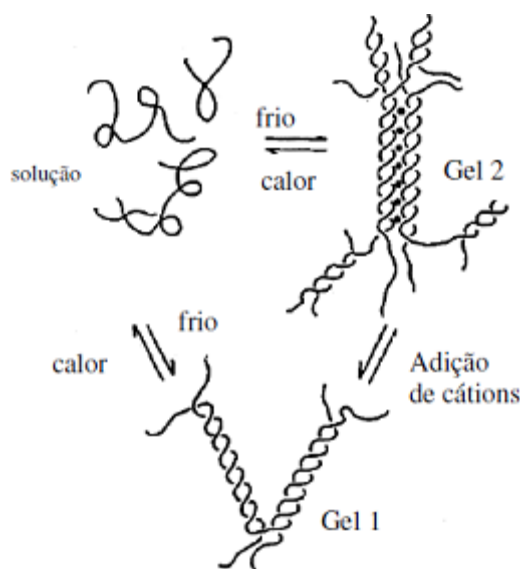


Figura 2. Formação de gel em carragenas (FAO-Food and Agriculture Organization, 2003)

Ambas *Kappa* e *Iota*-carragenas formam géis com sais de potássio e cálcio (Picullel, 1995). A *Iota*-carragena forma géis suaves resistentes e termorreversíveis com íons de Ca^{2+} em maiores proporções do que K^+ , e a *Kappa*-carragena com íons de K^+ em maiores proporções do que Ca^{2+} forma géis rígidos, frágeis e termorreversíveis (Fenema, 2001).

A dependência de sal na transição conformacional da *Iota*-carragena tem sido muito estudada e para esse tipo de carragena, efeitos de cátions específicos também foram relatados. Esta especificidade relata o efeito muito forte na estabilização da hélice dos íons divalentes, como o Ca^{2+} . No entanto, a sensibilidade à presença de íons monovalentes específicos também foi identificada de maneira similar à da *Kappa*-carragena. Porém, foi observado que estes efeitos eram decorrentes da presença de impurezas de *Kappa*-carragena em amostras de *Iota*-carragena nativa, estando a primeira presente em blocos e/ou em polímeros separados com comprimento suficiente que dão origem a um passo de transição distinto em um intervalo de temperatura típico para *Kappa*-carragena (Picullel et al 1987).

Nas amostras nativas mais puras, como a *Iota*-carragena de *Eucheuma spinosum*, a amplitude deste passo de transição separado é frequentemente tão pequena que pode não ser detectável nos experimentos de rotação óptica. Devido à pequena variação nas temperaturas de transição de diferentes formas de íons (possivelmente resultado das diferenças nos tamanhos dos íons hidratados), não há nenhuma indicação de qualquer especificidade de cátion na transição conformacional da *Iota*-carragena pura (Picullel et al 1987).

Em uma investigação de *Kappa*-carragena, Morris e Chilvers (1983) determinaram a eficiência de cátions específicos na gelificação do polissacarídeo, encontrando que os íons Ca^{2+} resultam em géis mais fortes do que os íons K^+ . Mas a oposta conclusão foi atingida em estudos realizados por Hermansson et al (1991). Em outro estudo realizado por Doyle et al (2002), foi concluído que em concentrações baixas de cátions Ca^{2+} em *Kappa*-carragena, obtêm-se géis mais fortes do que utilizando K^+ . Entretanto, em concentrações elevadas o inverso é verdadeiro, explicando parcialmente as conclusões conflitantes anteriores.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da concentração de diferentes sais (KCl , $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, K_2SO_4 , e $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) investigando o efeito causado pelos seus contra-íons sobre as carragenas *Kappa* e *Iota* em dispersões aquosas deionizadas, suas características de gelificação, sinérese e pH.

Metodologia

As amostras de carragenas puras (*Kappa* e *Iota*- extraídas das algas *Euchema cottonii* e *Euchema spinosum*) são oriundas da Indonésia. Estas foram gentilmente cedidas pela empresa Soluções em Ingredientes.

Os íons de cálcio e potássio utilizados foram de amostras de sais: Cloreto de potássio (KCl P.A. LABSYNTH), Sulfato de potássio (K_2SO_4 P.A. MERCK), Cloreto de cálcio dihidratado ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ VETEC) e Sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ VETEC) (reagentes de grau analítico). Todos os sais foram secos em estufa antes da adição em carragena.

Todas as massas necessárias para o preparo das formulações foram pesadas em balança analítica. Foram conduzidos 16 tratamentos, constituídos de quatro concentrações de cloreto de potássio, quatro concentrações de sulfato de potássio, quatro concentrações de cloreto de cálcio dihidratado, e quatro concentrações de sulfato de cálcio dihidratado: 5, 10, 15 e 30% em peso de carragena independentes uma das outras, aplicadas nas carragenas *Kappa* e *Iota* com três repetições. Esses teores foram avaliados em meio aquoso deionizado, tendo como tratamento-controle o meio de *Kappa* e *Iota* carragena puras, isentas de sais. Totalizaram-se então 102 parcelas para avaliação de gel, nas quais foram verificados o pH e a sinérese, além da firmeza do gel para compressão.

Firmeza do Gel-Compressão

As provas foram elaboradas com concentração de 1,5% do volume de água destilada, como descrito por Villanueva e colaboradores (2004), com algumas modificações. A solução de carragena (200 ml) foi aquecida a 75°C (em bquer de vidro de 250ml) e mantida em agitação por 30 minutos utilizando agitador magnético. Após realizou-se a transferência da solução para um bquer de vidro de 50ml (géis com altura de 4 cm e diâmetro de 4 cm) coberto, a seguir, por papel alumínio. Após 24 horas de resfriamento (5°C) procederam-se às análises.

A determinação dos resultados de textura foi obtida por meio de um analisador de textura (TAXT/2i-Stable Micro Systems), como ilustrado na Figura 3, de acordo com metodologia de Pan et al (2011) e Doyle et al (2002), com algumas modificações. A força de gel foi registrada em gramas, utilizando como corpo de prova P0.5R para perfuração da amostra. As curvas de forças foram analisadas tendo como parâmetros, velocidade pré-teste 2,0 mm s⁻¹; velocidade teste: 1,0 mm s⁻¹; velocidade pós-teste: 1,0 mm s⁻¹; Distância de penetração: 4mm (correspondente a 1/10 da altura da amostra); Força: 3,0g

Os resultados obtidos tratados mediante programa Microsoft Excel 2010 e apresentados sob a forma de gráficos.

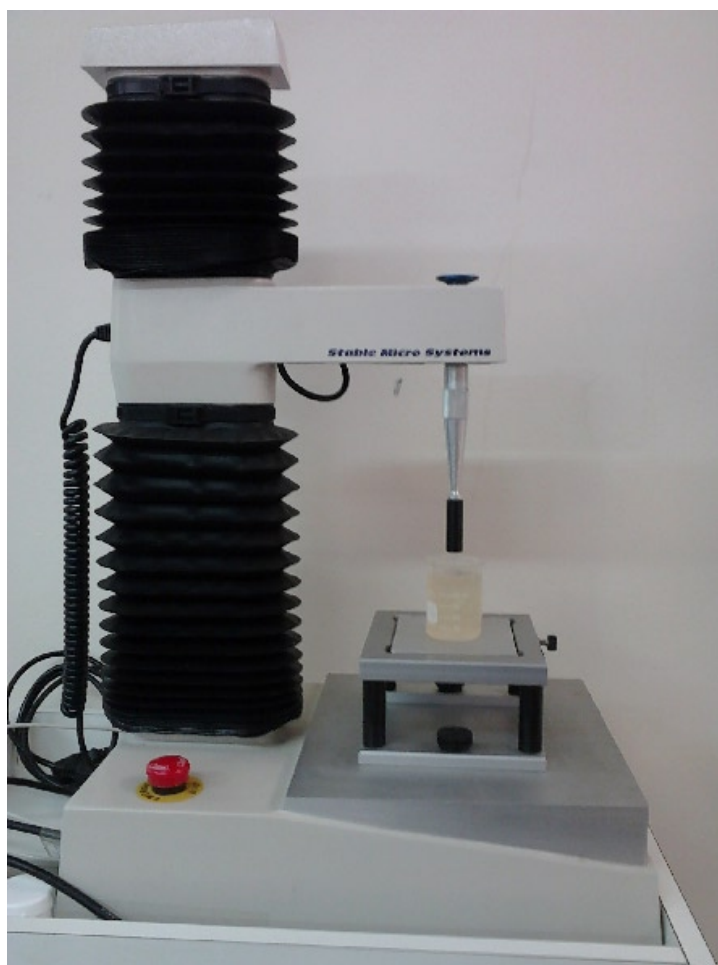


Figura 3. Texturômetro TAXT/2i-Stable Micro Systems

Sinérese

A sinérese, baseada na separação espontânea de um sistema coloidal homogêneo em duas fases (gel e líquido), foi avaliada por observação visual das provas elaboradas a 1,5% do volume de água destilada.

Análise de pH

A determinação do pH foi realizada em pHmetro (Micronal-B474) segundo metodologia descrita nas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008), verificando as variações em todas as provas elaboradas de géis.

Resultados e Discussão

Na tabela 1 e 2, estão expressos os resultados de força de compressão e das variações de pH das provas elaboradas, respectivamente.

Tabela 1. Resultados da força de compressão (g) para as provas elaboradas de géis.

| Carragenas | Concentração de Sais (g/100g de carragena) % | KCl | CaCl ₂ .2H ₂ O | K ₂ SO ₄ | CaSO ₄ .2H ₂ O |
|-------------|--|-------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| k-carragena | 0 | 287,43±5,58 | | | |
| | 5 | 449,17±0,59 | 540,83±8,25 | 372,87±2,04 | 444,90±4,08 |
| | 10 | 513,93±2,76 | 556,97±4,43 | 380,50±4,14 | 508,20±8,11 |
| | 15 | 559,17±3,07 | 558,67±6,60 | 381,77±3,23 | 500,37±4,12 |
| | 30 | 524,40±1,31 | 379,40±3,33 | 335,13±4,09 | 377,83±9,31 |
| i-carragena | 0 | 10,57±0,05 | | | |
| | 5 | 12,73±0,12 | 13,13±0,34 | 13,20±0,14 | 12,90±0,08 |
| | 10 | 12,97±0,12 | 10,33±0,31 | 14,17±0,17 | 12,77±0,05 |
| | 15 | 10,77±0,21 | 7,87±0,26 | 13,10±0,14 | 11,63±0,29 |
| | 30 | 10,25±0,35 | 4,93±0,33 | 10,67±0,31 | 7,97±0,05 |

Tabela 2. Resultados das variações de pH para as provas elaboradas de géis

| Carragenas | Concentração de sais (g/100g de carragena) % | KCl | CaCl ₂ .2H ₂ O | K ₂ SO ₄ | CaSO ₄ .2H ₂ O |
|---------------------|--|------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| <i>k</i> -carragena | 0 | 9,73±0,01 | | | |
| | 5 | 9,67±0,02 | 8,93±0,04 | 9,56±0,02 | 8,24±0,04 |
| | 10 | 9,52±0,02 | 8,43±0,02 | 9,47±0,03 | 8,00±0,01 |
| | 15 | 9,58±0,01 | 8,33±0,05 | 9,33±0,02 | 7,67±0,03 |
| | 30 | 8,95±0,04 | 7,95±0,03 | 9,14±0,03 | 7,48±0,03 |
| <i>i</i> -carragena | 0 | 10,18±0,01 | | | |
| | 5 | 9,68±0,01 | 9,84±0,05 | 10,08±0,01 | 10,01±0,03 |
| | 10 | 9,64±0,02 | 9,68±0,02 | 9,90±0,02 | 9,76±0,04 |
| | 15 | 9,57±0,03 | 9,52±0,01 | 9,76±0,02 | 9,60±0,02 |
| | 30 | 9,16±0,23 | 8,89±0,03 | 9,46±0,03 | 8,73±0,03 |

Os resultados apresentados nos gráficos da Figura 4 mostram que as resistências máximas de gel atingidas com K⁺ e Ca²⁺ (KCl e CaCl₂.2H₂O) na *Kappa*-carragena apresentaram valores máximos bem próximos, mas com o aumento de concentração o decréscimo de força de compressão com íons de Ca²⁺ foi notável. Em concentrações baixas de Ca²⁺ a *Kappa*-carragena atingiu uma força de compressão alta, mas K⁺ em maiores concentrações foi o que apresentou maior influência em relação à força de compressão.

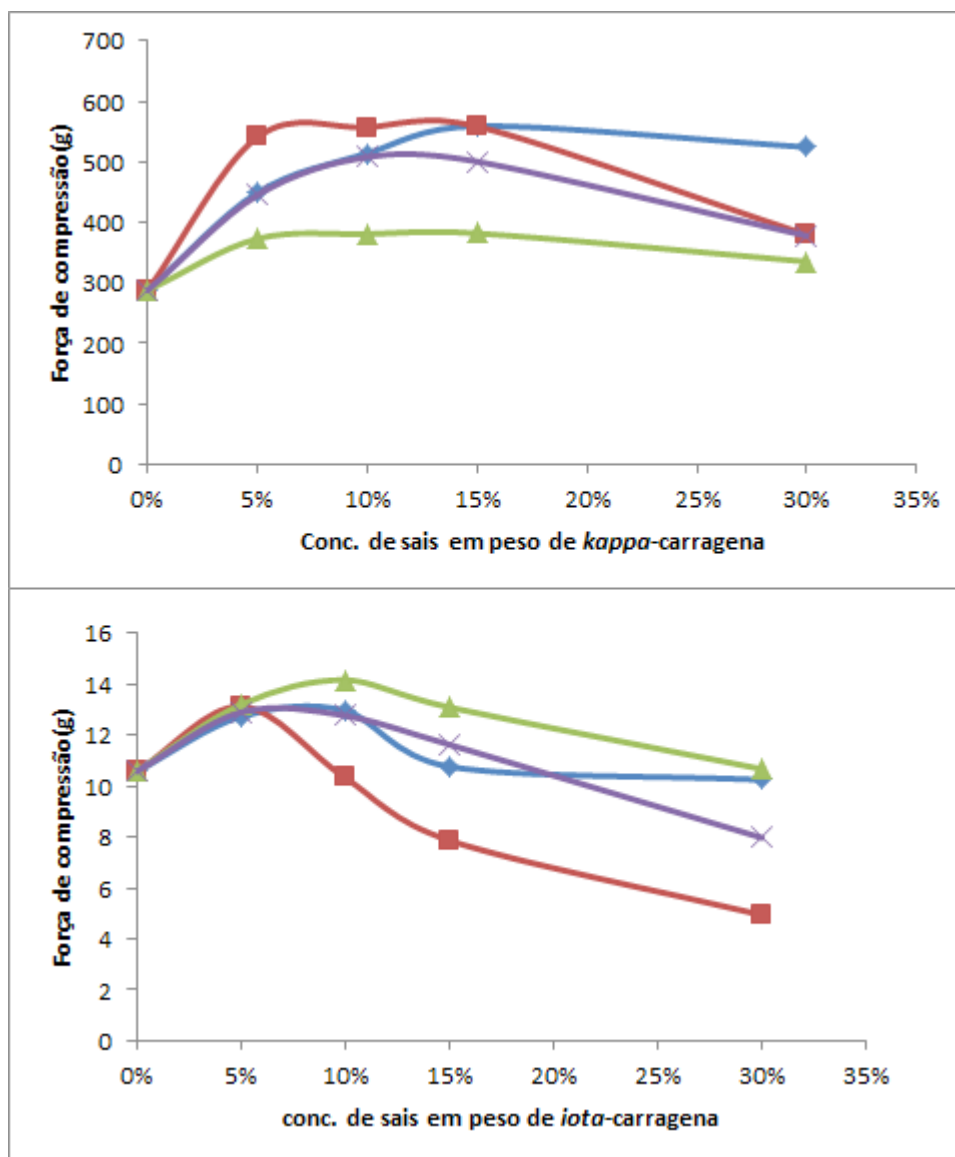


Figura 4. Efeito de sais na força de compressão dos géis de kappa e iota carragena

(KCl (\blacklozenge) CaCl₂.2H₂O (\blacksquare) K₂SO₄ (\blacktriangle) CaSO₄.2H₂O (\blackcross))

As parcelas de força de compressão da *Kappa*-carragena que mostram a interação do íon Ca²⁺ do sal CaSO₄.2H₂O também apresentaram resultados satisfatórios como o sal CaCl₂.2H₂O mencionado anteriormente. A explicação mais provável, segundo Doyle et al (2002), é a de que os íons de Ca²⁺ atuam de forma direta entre ligações de hélices adjacentes, já os íons de K⁺ parecem atuar por ligações de hélices individuais suprimindo a barreira eletrostática para agregação. Os melhores resultados de força de compressão em concentrações maiores foram obtidos com KCl para todo sistema investigado.

Quanto à influência do íon K⁺ em K₂SO₄ na *Kappa*-carragena, pode-se dizer que houve um salto na força de compressão com 5% de adição, e nas adições posteriores os resultados não foram tão satisfatórios, apesar de apresentar um teor de K⁺ considerável no sal mencionado, podendo-se dizer que parcela de ânion influenciou diretamente nestes

resultados, uma vez que os ânions, assim como os cátions afetam especificamente na transição conformacional da *Kappa*-carragena (Picullel, 1995).

As parcelas típicas de força de compressão da *Kappa*-carragena variaram substancialmente em comparação com a *Iota*-carragena, que apresentaram um gel macio, com pouquíssima variação em relação à força de compressão. As poucas variações foram obtidas com íons de K^+ mais do que com íons de Ca^{2+} . Esta pequena variação provavelmente é decorrente da presença de impurezas de *Kappa*-carragena, confirmando estudos de Picullel e colaboradores (1987).

Em geral, com o aumento da concentração de íons na *Kappa*-carragena pode-se perceber que com 30% de sal em peso de carragena ultrapassou-se uma concentração limite ocasionando impacto negativo sobre o sistema investigado.

Os efeitos sinérgicos foram observados nos géis de *Kappa*-carragena em todas as adições de sais, sendo em menores proporções com sais de cálcio em *Kappa*-carragena do que com sais de potássio. No entanto, não se observou sinergia nos géis de *Iota*-carragena. Quanto às variações de pH, estas não foram significativas em todas as provas elaboradas, o que não afetou a estabilidade dos géis. Portanto, o pH não foi um fator determinante para justificar uma possível perda na força de gelificação, já que em pH neutro ou alcalino as soluções de carragenas são bastante estáveis.

Conclusões

O presente experimento permitiu concluir que a adição de sais com íons de K^+ e Ca^{2+} melhoram significativamente a força de gel da *kappa*-carragena, em especial com os sais KCl e $CaCl_2 \cdot 2H_2O$. Em concentrações baixas de íon Ca^{2+} a *Kappa*-carragena apresenta uma força de compressão alta, mas o íon K^+ em maiores concentrações destaca-se com maior influência. Porém em contrapartida os efeitos sinérgicos com íon K^+ foram maiores do que com íon Ca^{2+} . Estas interações mostram que uma enorme variedade de formulações podem ser trabalhada a fim de melhorar as características de géis da carragena, visando conter também fatores que possam ter impacto negativo sobre o produto.

Agradecimentos

Os autores agradecem à colaboração da empresa Soluções em Ingredientes (Ingredientes Mil Ltda) e do Centro de Tecnologia SENAI-RJ Alimentos e Bebidas.

Referências

- Aditivos e Ingredientes. N.º 61 (2009) “CARRAGENAS: *Kappa, Iota, Lambda, MU, NU E THETA!*” Endereço: http://www.insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes Acesso: 03/01/2012.
- Bobbio, P. A. e Bobbio F. O. (2001). *Química do processamento e alimentos*. 3.ª Edição. Varela Livraria. 143p.
- Doce Aroma Aditivos e Ingredientes. FAQ: “O uso de hidrocolóides na indústria alimentícia.” Endereço: http://www.docearoma.com.br/pt/faq_det.asp?id_faq=17. Acesso: 01/04/2012
- Doyle, J.; Giannouli, P.; Philip K. & Morris E. R. (2002). *Effect of K⁺ and Ca²⁺ cations on gelation of k-carrageenan*. Taken from: *Gums and Stabilisers II* (ed. P.A. Williams, G. O. Phillips), p.159-164.
- Dyrby, M.; Petersen, R.; Larsen, J.; Rudolf B.; Norgaard, L. & Engelsen, S.B. (2004). Towards on-line monitoring of the composition of commercial carrageenan powders. *Carbohydrate Polymers*, v.57(3) p. 337-348.
- FAO - Food and Agriculture Organizations of the United Nations. (2003). Inland Water resources and aquaculture service. *Review of the state of world aquaculture. FAO Fisheries Circular*. n.º 886, rev.2. Rome. 95 p.
- Fenema, O. R. (2001) *Química de los Alimentos*. 2º Edición. Editorial Acribia S.A. 1280 p.
- Food Ingredients Brasil, N.º 14 (2010). “*Estabilizantes*” Endereço: <https://www.revista-fi.com>. Acesso: 03/01/2012.
- Glicksman M. (1987). Utilization of seaweeds hydrocolloids in the food industry. *Hydrobiology* 151/152: p.31-47. apud Hayashi, L. (2001). *Extração, teor e propriedades de carragenana de Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex P. Silva, em cultivo experimental em Ubatuba-SP. Dissertação de mestrado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 83 p.
- Hermansson, A,-M; Eriksson, E; Jordasson, E; (1991). *Effects of potassium, sodium and calcium on the microstructure and rheological behaviour of kappa-carrageenan gels*. *Carbohydrate Polymers*. v 16, p.297-320.
- Instituto Adolfo Lutz (2008). *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*. 4.ª ed. 1.ª edição digital. São Paulo: IMESP. 1020 p.
- Marine colloids (1991). The Carrageenan people, Philadelphia Introductory bulletin- Publicação técnica, apud Dias, A. A.; (2007). Substitutos de gordura aplicados em alimentos para fins especiais - Brasília. *Monografia* (Especialista em Tecnologia de alimentos) Centro de Excelência em Turismo-CET, Universidade de Brasília, 61 p.
- Morris, V. J. e Chilvers, G. R., (1983) Rheological studies of specific cation forms of *kappa* carrageenan gels. *Carbohydrate Polymers*. v 3. p129-141.
- Noseda, M. D. (1994). Polissacarídeos sulfatados isolados na fase tetraporofítica de *Gigartina Skottsbergii*, Curitiba. *Tese* (Doutorado de Bioquímica) Departamento de Bioquímica, Universidade Federal do Paraná, 180 p.

- Pan, D; Cao, J; wang, L.; Zeng, X., (2011) The influence of additives on properties of heat-induced gels from salt-soluble proteins extracted from goose. *Food Science & Technology*, volume 47, p.160-166.
- Picullel, L. (1995) Gelling carrageenans. *In: Food Polysaccharides and their Applications*. (Ed.) New York, Marcel Dekker, p. 205-244.
- Picullel, L.; Hakansson, C.; Nilsson, S., (1987) Cation specificity of the order-disorder transition in *iota*-carrageenan: effects of *kappa*-carrageenan impurities. *Int. J. Biol. Macromol.*, v. 9, p. 297-301.0
- Picullel, L.; Borgstrom, J.; Chronakis, I. S.; Quist, P. O.; Viebke, C. (1997) Organization and association of *k*-carrageenan helices under different salt conditions. *Inter. J. Biol. Macromol.*, v. 21, p. 141-153.
- Stanley, N. (1987) Production, properties and uses of carrageenan. *In: Fisheries Technical Paper*, v. 288, p. 116-146.
- Villanueva, R. D.; Mendoza, W. G.; Rodriguez, M. R. C., Romero, J. B. & Montano, M. N. E. (2004). Structure and functional performance of gigartinacean *kappa-iota* hybrid carrageenan and solieriacean *kappa-iota* carrageenan blends. *Food Hydrocolloids*, v.18, p.283-292.