

PERFIL REOLÓGICO DE QUEIJO CREMOSO ELABORADO COM SORO DE LEITE: INFLUÊNCIA DE DIFERENTES COMBINAÇÕES DE POLISSACARÍDEOS

Rheological profile of cream cheese elaborated with milk whey: influence of different blend of polissacarídes

Estela Mary Fernandes de Sá¹
Pedro Luis Manique Barreto¹
Marilde T. Bordignon-Luiz^{1*}

RESUMO

A elaboração de queijo cremoso envolve a quebra da rede de para-caseína do queijo pela ação do aquecimento e ação mecânica na presença dos sais fundentes, e estes fazem a conversão até uma massa fundida homogênea que pode imobilizar água e demais ingredientes. Durante o aquecimento, interações proteína-proteína e demais interações resultam na formação de uma nova rede tridimensional. O objetivo deste trabalho foi estudar a influência de polissacarídeos no comportamento reológico de queijo cremoso elaborado com soro de queijo. Foram avaliados os parâmetros físico-químicos (pH, umidade, sólidos totais) e os reológicos, de amostras elaboradas com soro de leite líquido e diferentes combinações de polissacarídeos (xantana / locusta e xantana / guar). A combinação de polissacarídeos se mostrou efetiva no controle do comportamento reológico dos queijos cremosos elaborados com soro de leite, conferiram um aumento do índice de consistência das amostras, nas quais a pseudoplasticidade foi maior quando foi utilizada a combinação 0,2 % de xantana / 0,2 % de locusta. Demonstrando, portanto, que polissacarídeos combinados podem compensar possíveis alterações físicas ocasionadas pela adição de soro líquido em queijos cremosos.

Palavras-chave: queijo cremoso; soro de leite; xantana; guar; locusta.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de queijos cremosos no mercado brasileiro de 2001 a 2005 aumentou de 7% para 17%, evidenciando o interesse do consumidor por este tipo de produto (BOURROUL, 2006). A ampla utilização do queijo cremoso como ingrediente de alimentos é devida às características funcionais, organolépticas e nutricionais apresentadas (FRANCO *et al.*, 2005; PRUDÊNCIO, 2006). O soro líquido em queijos pode apresentar diferença nas propriedades de textura, emulsificação e propriedades de fluxo (BOURROL, 2006; CAMPOS *et al.*, 2006; PENNA *et al.*, 2001). Este é um produto secundário do processo de elaboração de queijos, contém 98% das proteínas solúveis (β -lactoglobulina, α -lactalbumina e imunoglobulinas). O retorno econômico é observado quando essas proteínas são incorporadas aos queijos, ou convertido em ingredientes funcionais (PRUDÊNCIO *et al.*, 2007).

Estudos utilizando estabilizantes como goma guar, locusta e xantana em produtos lácteos,

são extensamente descritos na literatura. São utilizados em iogurtes para melhorar a consistência (viscosidade), elasticidade e capacidade de retenção de água (sinerese) (EVERETT & McLEOD, 2005; SANDOVAL-CASTILLA *et al.*, 2004; CELIBERTI *et al.*, 2006), em sobremesas lácteas (ROMANCHIK-CERPOVICZ *et al.*, 2006), em emulsões lácteas contendo caseinato de sódio (VEGA *et al.*, 2005), em sorvetes (VEGA & GOFF, 2005; LAL *et al.*, 2006), em gel lácteo acidificado (SANCHEZ *et al.*, 2000; BRAGA & CUNHA, 2004), em soluções aquecidas com proteínas de soro desnaturadas (BRYANT & McCLEMENTS, 2000), e em gel de proteínas de soro isoladas (BERTRAND & TURGEON, 2007).

O uso combinado de diferentes polissacarídeos pode contribuir para melhorar a textura de alimentos, mesmo quando utilizado em baixas concentrações, o efeito sinérgico contribui para melhorar as propriedades reológicas e a qualidade dos produtos quanto à homogeneização. Além disso, a combinação de polissacarídeos pode ser benéfica por proporcionar reduções nos custos de pro-

¹ Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos (CCA). Departamento de Ciência dos Alimentos (CAL). Rod. Admar Gonzaga, 1346 – Itacorubi/CEP 88.034-001 – Florianópolis – SC – Brasil. e-mail: bordign@cca.ufsc.br

* A quem a correspondência deve ser enviada

dução (CELIBERTI *et al.*, 2006). A reologia é um método bastante utilizado no controle da textura e nas estruturas física e química do queijo (NARDES *et al.*, 2006).

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência de polissacarídeos (xantana / locusta e xantana / guar) no comportamento reológico de queijo cremoso elaborado com soro de queijo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

Todos os experimentos foram realizados no Laboratório de Bioquímica de Alimentos, CAL/UFSC. Para a fabricação das coalhadas (padrão) foi utilizado leite integral pasteurizado tipo C, fermento lácteo (Coana[®]), coalho líquido (C. Hansen[®]), ácido láctico (Vetec[®]), cloreto de cálcio p.a. diidratado (Vetec[®]). Para a fabricação do queijo cremoso foi utilizado cloreto de sódio, citrato de sódio p.a. tribásico (Vetec[®]), sorbato de sódio (Allimentus[®]) creme de leite e ricota comercial. Os demais reagentes utilizados nas análises físico-químicas foram de qualidade analítica.

2.2 Elaboração do queijo cremoso

Elaboração da coalhada. Ao leite pasteurizado tipo C (42°C) foi adicionado: fermento lácteo liofilizado Bela Vista (0,2%), cloreto de cálcio 50% p/v (0,4%) e coalho líquido Bela Vista (0,08%). A etapa de coagulação foi realizada em estufa (37°C/ 40 - 60 minutos), seguida de dessoragem e fermentação *over-night* (temperatura ambiente (25°C)).

Elaboração do queijo cremoso. A fusão da coalhada foi realizada em tacho aberto a 90°C, com cloreto de sódio (1% p / p), metade do sal fundente citrato de sódio (2% p / p), e soro líquido (45%). Após a massa atingir 90°C, adicionou-se o restante do sal fundente até fusão completa. Em seguida foi adicionado creme de leite (20%), ricota (50%), polissacarídeos (em diferentes percentuais) e sorbato de potássio (0,1%). Os percentuais foram calculados em relação a massa total (coalhada e ricota). As amostras foram envasadas em recipientes de polipropileno e armazenadas em temperatura de refrigeração (5 ± 1°C).

As concentrações utilizadas nas diferentes amostras foram obtidas através de testes preliminares. Foram avaliadas diferentes concentrações de soro líquido (25, 35 e 55%), e de polissacarídeos (0,2 e 0,3%) com diferentes géis lácteos (ácido e enzimático). Os resultados foram analisados através das Estatísticas Descritivas, para definir as melhores formulações.

Foram obtidos sete diferentes amostras: 1 - amostra padrão - queijo cremoso sem polissacarídeos; 2 - amostra QCXL1 - queijo cremoso com 0,2% de xantana e 0,1% de locusta; 3 - amostra QCXL2 - queijo cremoso com 0,2% de xantana e 0,2% de locusta; 4 - amostra QCXL3 - queijo cremoso com 0,2% de xantana e 0,3% de locusta; 5 - amostra QCXG1 - queijo cremoso com 0,2% de xantana e 0,1% de guar; 6 - amostra QCXG2 - queijo cremoso com 0,2% de xantana e 0,2% de guar; 7 - amostra QCXG3 - queijo cremoso com 0,2% de xantana e 0,3% de guar.

2.3 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas de umidade, sólidos totais e pH foram realizadas de acordo com AOAC (2005), após 7 dias de armazenamento. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.4 Medidas reológicas

As medidas das propriedades de fluxo dos queijos cremosos foram realizadas em reômetro rotacional (*Brookfield Engineering Laboratories* model DV III Ultra, Stoughton, MA, USA), com cilindro concêntrico (spindle SC4-28) e coletadas através do *software* Rheocalc[®] 32 (versão 2.5). O reômetro foi controlado termostaticamente por banho de água circulante (TE-184, TECNAL, Brasil) a 5 ± 1°C. As análises reológicas foram realizadas nas amostras armazenadas por 7, 15 e 20 dias. A viscosidade aparente das amostras foi avaliada pelo aumento linear da taxa de deformação (curvas de ida) de 5,6 a 11,5 s⁻¹ para o controle e 0,6 a 6,4 s⁻¹ para os queijos com polissacarídeos, nos primeiros 30 minutos de análise, retornando para as taxas iniciais nas curvas de volta nos 30 minutos posteriores. As amostras permaneceram em repouso por 15 minutos antes das análises. As medidas foram realizadas em duplicata.

Foram utilizados quatro modelos reológicos para descrever o comportamento de fluxo das amostras, o modelo de Bingham (1), de Lei de Potência (2), de Casson (3) e de Herschel-Bulkley (4).

$$s = s_0 + \frac{1}{\eta_{pl}} \dot{\gamma} \quad (1)$$

Sendo: s_0 - limite de escoamento (Pa); η_{pl} - viscosidade plástica (Pa.s); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹). Obtido pela regressão linear dos valores de tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação.

$$s = K \frac{1}{(\dot{\gamma})^n} \quad (2)$$

Sendo: s - tensão de cisalhamento (Pa); K - índice de consistência (Pa.sⁿ); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹); n - índice de comportamento de fluxo (adimensional). Obtido pela regressão linear dos valores de tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação, analisados graficamente em coordenadas logarítmicas.

$$\tau^{1/2} = \dot{A}_0^{1/2} + h_\infty^{1/2} \dot{\gamma}^{1/2} \quad (3)$$

Sendo: s - tensão de cisalhamento (Pa); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹); K_c - viscosidade plástica de Casson (Pa.s); K_{oc} - limite de escoamento (Pa). Obtido pela regressão linear dos valores de tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação, analisados graficamente em coordenadas com suas respectivas raízes quadradas.

$$s - s_0 = K \frac{1}{(\dot{\gamma})^n} \quad (4)$$

Sendo: s - tensão de cisalhamento (Pa); s_0 - tensão de cisalhamento inicial (Pa); K - índice de consis-

tência (Pa.s); n - índice do comportamento de fluxo (adimensional) e $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação (s⁻¹). Obtido pela regressão linear dos valores de tensão de cisalhamento menos limite de escoamento *versus* taxa de deformação, analisados graficamente em coordenadas logarítmicas.

2.5 Análise estatística

A análise estatística dos valores médios obtidos na composição centesimal e dos parâmetros reológicos dos queijos cremosos foi realizada por Análise de Variância (ANOVA) e o teste de Tukey foi aplicado quando verificada diferença significativa de 5% entre estes valores, utilizando o *software* OriginLab® (versão 7.5).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios obtidos na caracterização físico-química dos queijos cremosos elaborados com polissacarídeos combinados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análises físico-químicas das amostras de queijo cremoso*.

Amostras	pH	Sólidos totais (%)	Umidade (%)
Padrão	5,91 ^a (± 0,03)	29,97 ^a (± 0,26)	70,03 ^a (± 0,21)
QCXL1	5,68 ^{bc} (± 0,01)	32,76 ^b (± 0,33)	67,17 ^b (± 0,33)
QCXL2	5,74 ^{bc} (± 0,03)	33,51 ^c (± 0,48)	66,49 ^c (± 0,48)
QCXL3	5,68 ^{bc} (± 0,08)	32,18 ^b (± 0,63)	67,82 ^b (± 0,63)
QCXG1	5,89 ^{ac} (± 0,01)	33,31 ^b (± 0,81)	66,69 ^b (± 0,81)
QCXG2	5,75 ^{bc} (± 0,05)	31,37 ^a (± 0,17)	68,63 ^a (± 0,17)
QCXG3	5,72 ^{bc} (± 0,04)	33,97 ^d (± 1,24)	66,03 ^d (± 1,24)

* Valores dentro da coluna não distribuídos com mesma letra são significativamente diferentes (p<0,05) por teste de separação de médias de Tukey. Médias de três repetições. QCXL1 = 0,2% xantana / 0,1% locusta; QCXL2 = 0,2% xantana / 0,2% locusta; QCXL3 = 0,2% xantana / 0,3% locusta; QCXG1 = 0,2% xantana / 0,1% guar; QCXG2 = 0,2% xantana / 0,2% guar; QCXG3 = 0,2% xantana / 0,3% guar.

Figura 1. Interação entre percentual de umidade e índice de comportamento de fluxo para as amostras de queijos cremosos com 7 dias de armazenamento. Média de três repetições. Padrão; QCXL1 = 0,2% xantana / 0,1% locusta; QCXL2 = 0,2% xantana / 0,2% locusta; QCXL3 = 0,2% xantana / 0,3% locusta; QCXG1 = 0,2% xantana / 0,1% guar; QCXG2 = 0,2% xantana / 0,2% guar; QCXG3 = 0,2% xantana / 0,3% guar.

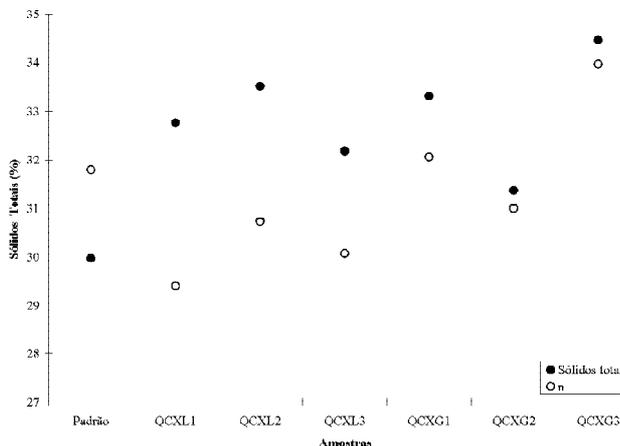


Tabela 2. Parâmetros reológicos (curvas de ida) dos queijos cremosos obtidos pelos modelos de Bingham, Lei de potência, Casson e Herschel-Bulkley durante 21 dias de armazenamento.

Armazenamento	Parâmetros**	Amostras***							
		Controle	QCXL1	QCXL2	QCXL3	QCXG1	QCXG2	QCXG3	
7 dias	Histerese	9,31 ^a	22,85 ^a	36,47 ^a	24,99 ^a	24,58 ^a	21,54 ^a	12,16 ^a	
	Bingham	s ₀	13,46 ^a	38,24 ^a	92,65 ^a	59,18 ^a	33,95 ^a	51,34 ^a	39,99 ^a
		h _{pl}	3,06 ^a	9,10 ^a	27,47 ^a	18,91 ^a	18,36 ^a	19,27 ^a	45,61 ^a
		R	0,66	0,96	0,71	0,96	0,94	0,83	0,93
	Lei de potência	K	15,15 ^a	48,10 ^a	123,03 ^a	79,96 ^a	54,02 ^a	72,55 ^a	88,46 ^a
		n	0,36 ^a	0,18 ^a	0,28 ^a	0,23 ^a	0,38 ^a	0,30 ^a	0,52 ^a
		R	0,71	0,97	0,85	0,99	0,98	0,92	0,98
	Casson	s ₀	8,53 ^a	31,32 ^a	66,44 ^a	46,29 ^a	21,18 ^{ac}	35,59 ^{af}	17,11 ^{ag}
		K	1,06 ^a	1,32 ^{ab}	2,86 ^{bc}	2,16 ^{bc}	2,71 ^{abc}	2,48 ^a	5,18 ^d
		R	0,69	0,97	0,78	0,98	0,96	0,88	0,96
	Herschel-Bulkley	K	7,02 ^a	16,38 ^a	55,03 ^a	32,80 ^a	31,94 ^a	36,57 ^a	70,19 ^a
		n	0,64 ^{abcd}	0,56 ^a	0,73 ^{bd}	0,63 ^{abd}	0,78 ^a	0,58 ^a	0,77 ^a
		R	0,72	0,97	0,76	0,97	0,95	0,86	0,97
	15 dias	Histerese	12,33 ^b	13,55 ^{bb}	30,16 ^{bc}	17,21 ^{bd}	19,60 ^{bc}	28,07 ^{bf}	23,02 ^{bg}
		Bingham	s ₀	28,59 ^b	35,36 ^b	68,69 ^b	38,49 ^b	46,26 ^b	49,88 ^b
h _{pl}			2,71 ^b	29,39 ^b	16,59 ^b	14,15 ^b	28,63 ^b	24,70 ^b	45,34 ^b
R			0,81	0,89	0,95	0,84	0,88	0,83	0,88
Lei de potência		K	27,97 ^b	66,95 ^b	86,84 ^b	54,09 ^b	77,18 ^b	76,81 ^b	106,17 ^b
		n	0,28 ^b	0,49 ^b	0,18 ^b	0,29 ^a	0,43 ^b	0,38 ^b	0,48 ^b
		R	0,79	0,94	0,99	0,92	0,96	0,92	0,95
Casson		s ₀	36,88 ^b	18,46 ^b	57,66 ^b	27,23 ^b	25,02 ^b	30,98 ^b	29,01 ^b
		K	0,87 ^b	3,79 ^b	1,79 ^b	2,08 ^b	3,69 ^b	2,09 ^b	4,82 ^b
		R	0,80	0,92	0,97	0,88	0,94	0,87	0,92
Herschel-Bulkley		K	-	47,12 ^b	28,35 ^b	26,16 ^b	50,80 ^b	29,72 ^b	75,32 ^b
		n	-	0,59 ^b	0,57 ^b	0,42 ^b	0,55 ^b	0,52 ^b	0,50 ^b
		R	-	0,89	0,94	0,84	0,95	0,87	0,93
21 dias		Histerese	10,25 ^c	12,12 ^b	35,55 ^c	35,00 ^{cc}	30,82 ^{cd}	25,21 ^{ce}	25,55 ^{ce}
		Bingham	s ₀	40,39 ^a	34,08 ^b	77,63 ^c	43,16 ^d	27,05 ^e	51,14 ^f
	h _{pl}		3,20 ^a	8,66 ^b	19,99 ^c	14,60 ^b	30,89 ^e	27,77 ^f	34,07 ^g
	R		0,56	0,81	0,95	0,87	0,97	0,93	0,91
	Lei de potência	K	37,77 ^a	56,43 ^b	99,68 ^c	59,29 ^d	59,95 ^d	81,38 ^e	89,78 ^c
		n	0,16 ^a	0,45 ^b	0,21 ^a	0,27 ^a	0,22 ^c	0,38 ^b	0,32 ^c
		R	0,57	0,89	0,99	0,94	0,99	0,97	0,96
	Casson	s ₀	50,47 ^c	18,91 ^b	61,54 ^c	32,18 ^d	12,71 ^e	31,68 ^d	29,88 ^b
		K	0,84 ^a	3,10 ^b	2,09 ^c	2,05 ^b	4,11 ^d	3,33 ^b	3,91 ^b
		R	0,56	0,86	0,98	0,89	0,98	0,95	0,94
	Herschel-Bulkley	K	-	36,44 ^c	37,99 ^c	27,15 ^c	46,51 ^d	38,54 ^c	59,26 ^c
		n	-	0,25 ^b	0,52 ^c	0,52 ^a	0,54 ^b	2,08 ^c	0,56 ^b
		R	-	0,86	0,99	0,92	0,97	0,95	0,91

* Valores dentro das colunas não distribuídos com mesma letra (1ª letra) são significativamente diferentes (p<0,05) por teste de separação de médias de Tukey, em relação aos dias de armazenamento.

** Valores dentro das linhas não distribuídos com mesma letra (2ª letra) são significativamente diferentes (p<0,05) por teste de separação de médias de Tukey, em relação às formulações.

*** Média de duas repetições.

**** s₀ = limite de escoamento (Pa); h_{pl} = viscosidade plástica (Pa.s); K = índice de consistência (Pa.sⁿ); n = índice de comportamento de fluxo; R = coeficiente de correlação. QCXL1 = 0,2% xantana / 0,1% locusta; QCXL2 = 0,2% xantana / 0,2% locusta; QCXL3 = 0,2% xantana / 0,3% locusta; QCXG1 = 0,2% xantana / 0,1% guar; QCXG2 = 0,2% xantana / 0,2% guar; QCXG3 = 0,2% xantana / 0,3% guar.

As amostras de queijos cremosos apresentaram valores de pH entre 5,68 e 5,91. O teor médio de lipídios para as amostras foi de 13%. As amostras adicionadas de polissacarídeos resultaram em maior teor de sólidos totais quando comparadas com a padrão, esta diferença influenciou nos índices de comportamento de fluxo (n) obtidos pelo modelo de Lei de Potência (Tabela 2), como pode ser observado na Figura 1. Comportamento similar foi observado por Dimitreli & Thomareis (2004) que avaliaram a viscosidade aparente de queijo processado, onde o aumento do teor de umidade resultou no aumento da mobilidade das

moléculas de proteína por rotação, e as macromoléculas se orientam na direção do fluido, mas com menor dependência ao aumento da taxa de deformação. No caso dos polissacarídeos adicionados às amostras dos queijos cremosos, o aumento no teor de sólidos, e conseqüente redução no teor de umidade, conferiram às amostras um aumento no índice de comportamento de fluxo (menos pseudoplásticas) e vice-versa.

Os parâmetros reológicos dos queijos cremosos estão apresentados nas Tabelas 2 (curvas de ida) e 3 (curvas de volta) e a Figura 2 apresenta as curvas de fluxo (ida e volta).

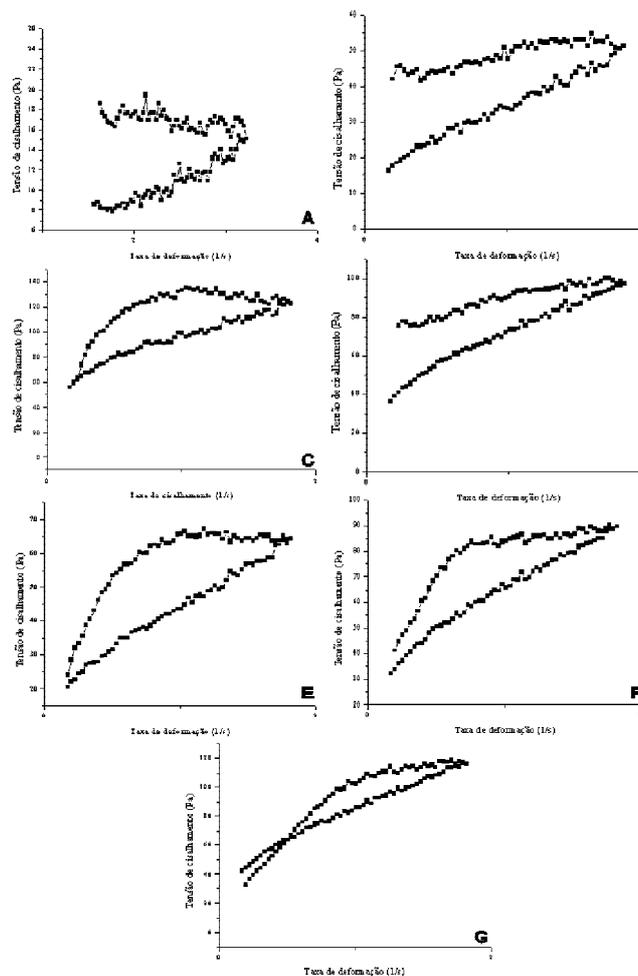


Figura 2. Relação entre tensão de cisalhamento x taxa de deformação das curvas de fluxo (ida e volta) do queijo cremoso. A) padrão. B) QCXL1 = 0,2% xantana / 0,1% locusta. (continua). C) QCXL2 = 0,2% xantana / 0,2% locusta. D) QCXL3 = 0,2% xantana / 0,3% locusta. E) QCXG1 = 0,2% xantana / 0,1% guar. F) QCXG2 = 0,2% xantana / 0,2% guar. F) QCXG3 = 0,2% xantana / 0,3% guar. As curvas representam os valores médios de viscosidade aparente durante os 21 dias de armazenamento.

Tabela 3. Parâmetros reológicos (curvas de volta) dos queijos cremosos obtidos pelos modelos de Bingham, Lei de potência, Casson e Herschel-Bulkley durante os 21 dias de armazenamento.

Armazenamento	Parâmetros**	Amostras***							
		Controle	QCXL1	QCXL2	QCXL3	QCXG1	QCXG2	QCXG3	
7 dias	Histerese	9,31 ^a	22,85 ^a	36,47 ^a	24,99 ^a	24,58 ^a	21,54 ^a	12,16 ^a	
	Bingham	s ₀	1,07 ^a	15,22 ^a	61,49 ^a	35,43 ^a	17,84 ^a	32,03 ^a	39,38 ^a
		h _{pl}	5,54 ^a	19,44 ^a	35,92 ^a	30,48 ^a	23,98 ^a	28,10 ^a	39,57 ^a
		R	0,94	0,99	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99
	Lei de potência	K	6,37 ^a	35,78 ^a	100,42 ^a	68,13 ^a	43,23 ^a	62,19 ^a	81,65 ^a
		n	0,92 ^a	0,47 ^a	0,31 ^a	0,39 ^a	0,49 ^a	0,40 ^a	0,43 ^a
		R	0,94	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Casson	s ₀	0,09 ^a	7,94 ^a	42,00 ^a	21,11 ^a	8,88 ^a	18,71 ^a	22,08 ^a
		K	2,23 ^a	3,12 ^a	3,47 ^a	3,59 ^a	3,54 ^a	3,49 ^a	4,26 ^a
		R	0,94	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Herschel-Bulkley	K	6,29 ^a	27,46 ^a	57,29 ^a	46,26 ^a	33,90 ^a	42,78 ^a	58,67 ^a
		n	0,92 ^a	0,65 ^a	0,62 ^a	0,64 ^a	0,67 ^a	0,65 ^a	0,65 ^a
		R	0,94	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	15 dias	Histerese	12,33 ^b	13,55 ^{bb}	30,16 ^{bc}	17,21 ^{bd}	19,60 ^{bc}	28,07 ^{bf}	23,02 ^{bg}
		Bingham	s ₀	1,78 ^b	35,68 ^b	33,66 ^b	20,15 ^b	24,08 ^b	38,94 ^b
h _{pl}			5,11 ^b	24,12 ^b	35,04 ^b	21,59 ^b	32,85 ^b	37,69 ^b	44,98 ^b
R			0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Lei de potência		K	6,89 ^a	61,60 ^b	71,01 ^b	43,15 ^b	58,84 ^b	75,24 ^b	91,75 ^b
		n	0,85 ^b	0,55 ^b	0,43 ^b	0,44 ^a	0,49 ^a	0,42 ^a	0,49 ^a
		R	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Casson		s ₀	0,85 ^b	23,51 ^b	18,80 ^b	11,14 ^b	11,95 ^b	22,22 ^b	24,06 ^b
		K	2,07 ^b	2,94 ^a	4,02 ^a	3,18 ^b	4,15 ^b	4,12 ^b	4,59 ^b
		R	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
Herschel-Bulkley		K	6,15 ^b	37,25 ^b	51,43 ^b	31,54 ^b	46,29 ^b	16,15 ^b	66,75 ^b
		n	0,89 ^b	0,75 ^b	0,64 ^a	0,65 ^a	0,67 ^a	0,64 ^a	0,65 ^a
		R	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
21 dias		Histerese	10,25 ^c	12,12 ^b	35,55 ^c	35,00 ^{cc}	30,82 ^{cd}	25,21 ^{ce}	25,55 ^{cc}
		Bingham	s ₀	20,92 ^a	26,31 ^b	43,64 ^c	15,32 ^d	24,13 ^b	33,04 ^c
	h _{pl}		2,58 ^c	14,02 ^b	33,93 ^c	31,55 ^d	31,30 ^d	34,17 ^c	37,74 ^c
	R		0,84	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Lei de potência	K	25,52 ^b	41,47 ^c	80,09 ^c	43,21 ^b	57,35 ^c	69,03 ^c	77,68 ^c
		n	0,89 ^a	0,69 ^a	0,67 ^c	0,54 ^b	0,49 ^a	0,44 ^a	0,43 ^a
		R	0,84	0,95	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Casson	s ₀	2,74 ^a	18,51 ^b	27,38 ^c	6,82 ^d	11,89 ^b	18,26 ^a	20,92 ^c
		K	2,10 ^b	2,11 ^b	3,67 ^a	3,91 ^b	4,06 ^b	3,99 ^b	4,17 ^b
		R	0,84	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Herschel-Bulkley	K	20,63 ^b	22,41 ^c	51,81 ^b	25,99 ^c	44,89 ^c	30,51 ^c	55,91 ^c
		n	0,84 ^a	0,66 ^a	0,63 ^a	0,69 ^a	0,68 ^a	0,65 ^a	0,65 ^a
		R	0,84	0,96	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

* Valores dentro das colunas não distribuídos com mesma letra (1ª letra) são significativamente diferentes (p<0,05) por teste de separação de médias de Tukey, em relação aos dias de armazenamento.

** Valores dentro das linhas não distribuídos com mesma letra (2ª letra) são significativamente diferentes (p<0,05) por teste de separação de médias de Tukey, em relação às formulações.

*** Média de duas repetições.

**** s₀ = limite de escoamento (Pa); h_{pl} = viscosidade plástica (Pa.s); K = índice de consistência (Pa.sⁿ); n = índice de comportamento de fluxo; R = coeficiente de correlação. Padrão: QCXL1 = 0,2% xantana / 0,1% locusta; QCXL2 = 0,2% xantana / 0,2% locusta; QCXL3 = 0,2% xantana / 0,3% locusta; QCXG1 = 0,2% xantana / 0,1% guar; QCXG2 = 0,2% xantana / 0,2% guar; QCXG3 = 0,2% xantana / 0,3% guar.

A característica da relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação é demonstrada pela curva de histerese; a área entre as curvas de ida e volta, que revelou o efeito tixotrópico, que caracteriza que o comportamento reológico é dependente do tempo, de acordo com TONELLI *et al.* (2005). A adição de polissacarídeos conferiu maior grau de histerese às amostras durante o período de armazenamento, justificada pela capacidade que possuem de reter água, formando um gel firme, aumentando a viscosidade (MARUYAMA *et al.*, 2006) e consequentemente a histerese.

Os reogramas demonstram que as amostras se comportaram como fluidos não-Newtonianos com presença de tixotropia, como o resultado da quebra da estrutura, resultados semelhantes aos encontrados por Penna *et al.* (2001), que avaliaram o comportamento reológico de bebidas lácteas e por Gauche (2007), que avaliou o comportamento reológico de iogurte.

É possível observar, além do comportamento não-Newtoniano, a característica pseudoplástica, onde a viscosidade não é constante, mas muda em função da taxa de deformação, como apresentado na Figura 3. Que demonstra um decréscimo na viscosidade com o aumento da taxa de deformação, significando que a resistência dos queijos ao escoamento e a energia requerida para mantê-lo a uma alta taxa de deformação, é reduzida.

O coeficiente de correlação (R) para os modelos variou de 0,66 a 0,99, de 0,79 a 0,99 e de 0,56 a 0,99 para as amostras armazenadas durante 7, 15 e 21 dias respectivamente. O que permitiu classificar o modelo de Lei de Potência como o mais

adequado para descrever o comportamento de fluxo de todas as amostras, nas curvas de ida e volta.

Analisando as curvas de ida e volta (Figura 2), a adição de polissacarídeos melhorou a adequação dos modelos aos dados se comparado com o padrão. As amostras padrões armazenadas por 15 dias, apresentaram diminuição linear da tensão de cisalhamento proporcional ao aumento da taxa de deformação na curva de ida, possivelmente pela quebra de ligações que estabilizam a rede protéica, refletindo nos valores negativos dos parâmetros reológicos, consequentemente para estas amostras o modelo de Herschel-Bulkley, não pode ser utilizado para descrever o comportamento de fluxo.

Os valores de índice de comportamento de fluxo (n), obtidos pela Lei de Potência nas curvas de ida (aumento da taxa de deformação) (Tabela 2), variaram de 0,18 a 0,56 ($n < 1$), destacando o comportamento pseudoplástico dos queijos cremosos. Sendo que, nas amostras armazenadas durante 7 dias, a combinação xantana/guar conferiu menor pseudoplasticidade quando comparadas com a combinação xantana/locusta.

O sinergismo pode ser observado entre locusta e xantana, o que pode ser atribuído à habilidade desses dois polissacarídeos de adotar uma conformação helicoidal formando ligações cruzadas. A formação sinérgica de gel pode ser observada também com guar, mas com menor habilidade se comparado com a locusta. Isto pode ser atribuído a menor proporção manose/galactose da guar, que está disponível para realizar ligações de hidrogênio com outros polissacarídeos (SWORN, 2000; PAI & KHAN, 2002; RAMSDEN, 2004).

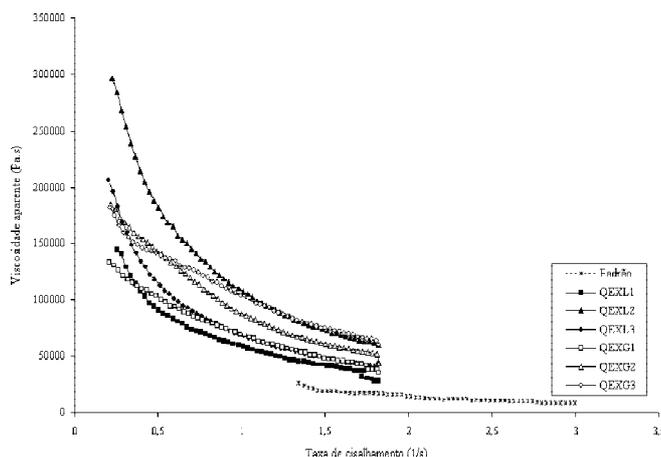


Figura 3. Curva de fluxo dos queijos cremosos com polissacarídeos combinados. Valores médios de viscosidade aparente durante o armazenamento. Padrão; QCXL1 = 0,2% xantana / 0,1% locusta; QCXL2 = 0,2% xantana / 0,2% locusta; QCXL3 = 0,2% xantana / 0,3% locusta; QCXG1 = 0,2% xantana / 0,1% guar; QCXG2 = 0,2% xantana / 0,2% guar; QCXG3 = 0,2% xantana / 0,3% guar.

Analisando a Tabela 2, os valores de índices de consistência (K) calculados pelo modelo de Lei de Potência variaram de 13,46 a 123,03 Pa.sⁿ. Foi observada diferença significativa entre as amostras adicionadas de polissacarídeos e a amostra padrão. As amostras QEXL2 (xantana 0,2% / locusta 0,2%) após 21 dias de armazenamento apresentaram o maior valor para índice de consistência, o que pode também ser evidenciado pela Figura 3. Quanto ao limite de escoamento obtido pelo modelo de Casson, observamos que as amostras após 7 dias de armazenamento apresentaram diferença significativa entre as adicionadas de polissacarídeos e a padrão. Houve um aumento significativo deste parâmetro somente para a amostra padrão ao longo do período de armazenamento. A adição de polissacarídeos promoveu o aumento do grau de histerese para todas as amostras e períodos analisados.

O comportamento reológico das amostras após a diminuição da taxa de deformação (curva de volta) pode ser observado na Tabela 3. Utilizando tanto o modelo Lei de Potência como o de Herschel-Bulkley, o índice de consistência (K), variou de 6,15 a 100,42 Pa.sⁿ sendo que houve aumento significativo ($p < 0,05$) para as amostras adicionadas de polissacarídeos se comparadas com a amostra padrão durante todo o período de armazenamento. Comparando com as curvas de ida (Tabela 2), as curvas de volta (Tabela 3) apresentaram menor índice de consistência. Quando comparados os índices de comportamento de fluxo (n), as curvas de volta apresentaram valores maiores, com conseqüente diminuição da pseudoplasticidade das amostras. Estes comportamentos podem ser atribuídos à quebra estrutural da rede protéica dos queijos cremosos.

Comparando os índices de comportamento de fluxo calculados para as curvas de volta, quanto aos modelos utilizados, observamos que o Lei de Potência apresentou menores valores do que o modelo de Herschel-Bulkley.

O modelo de Bingham também se adequou aos dados coletados (curvas de volta, Tabela 3), apresentando coeficientes de correlação (R) de 0,84 a 0,99. Assim como os materiais que seguem o modelo de Herschel-Bulkley, os plásticos de Bingham caracterizam-se por apresentarem uma tensão residual ou limite de escoamento, abaixo da qual se comportam como sólidos. Para tensões superiores à tensão residual, no entanto, os fluidos apresentam um comportamento Newtoniano (TONELLI *et al.*, 2005). Mesmo com a diminuição da taxa de deformação, os polissacarídeos conferiram maior pseudoplasticidade às amostras se comparadas ao padrão. A amostra padrão adquiriu características próximas das requeridas para um fluido Newtoniano ($n = 1$) durante todo o período de armazenamento.

Em relação ao limite de escoamento os polissacarídeos conferiram às amostras um aumento significativo ($p < 0,05$) neste parâmetro, se comparados com a amostra padrão, sendo que os valores foram maiores usando o modelo de Bingham do que o de Casson.

4 CONCLUSÕES

A adição de polissacarídeos (xantana / locusta e xantana / guar), na elaboração de queijos cremosos com soro líquido, conferiu um aumento nos índices de consistência, sólidos totais e índice de comportamento de fluxo, havendo uma relação entre esses dois últimos parâmetros, que pode ser atribuído ao aumento da mobilidade das moléculas de proteína em direção ao fluxo. As amostras apresentaram comportamento tixotrópico, não-Newtoniano e pseudoplástico. Analisando as amostras com polissacarídeos, quanto à pseudoplasticidade, esta foi maior quando utilizado a combinação de 0,2% xantana / 0,2% locusta. Os parâmetros reológicos confirmam que os polissacarídeos combinados podem ser utilizados para compensar as possíveis alterações físicas ocasionadas pela adição do soro líquido em queijos cremosos, quanto ao sinergismo entre xantana e locusta.

SUMMARY

Cream cheese manufacture involves breakdown of the paracaseinate network in natural cheese through heat and mechanical action in presence of emulsifying salts until conversion homogeneous molten mass, which can immobilize water and others ingredients. During cooling, protein-protein interactions and others interactions result in the formation of a new threedimensional matrix. The aim of this present work was to study the influence of polysaccharides in the rheological behavior of cream cheese elaborated with milk whey. Physicochemical (pH, moisture, total solids) and rheological parameters were studied in samples elaborated with milk whey and with different blends of polysaccharides (xanthan / locust and xanthan / guar). The blend of polysaccharides was effective in the rheological parameters, showed increase of the consistency index of the cream cheese. The pseudoplasticity was highest for samples with 0,2% xanthan / 0,2% locust. These results indicated that blends of polysaccharides should reward physical changes caused by the addition of milk whey liquid in cream cheese.

Key-words: cream cheese; milk whey; xanthan; guar; locust.

5 REFERÊNCIAS

- AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL. 18th ed. Maryland: AOAC, 2005.
- Bertrand, M. e Turgeon, S. L. Improved gelling properties of whey protein isolate by addition of xanthan gum. *Food Hydrocolloids*, v. 21, p. 159-166, 2007.
- Bourroul, G. O potencial da cadeia láctea brasileira. *Revista Leite e Derivados*, nov./dez. 2006.
- Braga, A. L. M. e Cunha, R. L. The effects of xanthan conformation and sucrose concentration on the rheological properties of acidified sodium caseinate-xanthan gels. *Food Hydrocolloids*, v. 18, p. 977-986, 2004.
- Bryant, C.M. e McClements, D.J. Influence of xanthan gum physical characteristics of heat-denatured whey protein solutions and gels. *Food Hydrocolloids*, v. 14, p. 383-390, 2000.
- Campos, M. E. M. *et al.* Sobremesas fermentadas: uma inovação para agregar valor ao soro de queijo minas frescal. Anais do XXIII Congresso Nacional de Laticínios, Juiz de Fora, n. 351, v. 61, p. 243-246, jul/ago 2006.
- Celiberti, A. A.; Spinardi, K.; Chaves, L. A. Processamento de Petit Suisse sem formação do subproduto soro ácido: uma inovação tecnológica para indústria de laticínios. Anais do XXIII Congresso Nacional de Laticínios, Juiz de Fora, n. 351, v. 61, p. 114-116, jul/ago 2006.
- Dimitreli, G. e Thomareis, A. S. Effect of temperature and chemical composition on processed cheese apparent viscosity. *Journal of Food Engineering*, v. 64, p. 265-271, 2004.
- Dimitreli, G. e Thomareis, A. S. Texture evaluation of block-type processed cheese as a function of chemical composition and in relation to its apparent viscosity. *Journal of Food Engineering*, v. 79, p. 1364-1373, 2007.
- Everett, D. W. e McLeod, R. E. Interactions of polysaccharide stabilisers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt. *International Dairy Journal*, v. 15, p. 1175-1183, 2005.
- Franco, J.; Zimmermann, J. V.; Possik, P.; Taha, P.; Teixeira, E.; Bordignon-Luiz, M. T. Características físico-químicas e sensoriais de requeijão culinário adicionado de goma xantana com aplicação em produtos prontos para o consumo. *Revista Instituto Laticínio Cândido Tostes*, Juiz de Fora, nº 342, v. 60, p. 13-19, jan/fev 2005.
- Gauche, C. Polimerização de proteínas do soro de leite por transglutaminase e propriedades físicas de iogurte elaborado após tratamento enzimático. 2007. 120p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC).
- Lal, S. N. D.; O'Connor, C. J. e Eyres, L. Application of emulsifiers/stabilizers in dairy products of high rheology. *Advances in colloid and interface science*, v. 123-126, p. 433-437, 2006.
- Maruyama, L. Y.; Cardarelli, H. R.; Buriti, F. C. A.; Saad, S. M. I. Textura instrumental de queijo *petit suisse* potencialmente probiótico: influência de diferentes combinações de gomas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 26(2), p. 386-393, abr./jun., 2006.
- Nardes, R. E. F. *et al.* Características reológicas do queijo Zamorano com modificações na temperatura de maturação. Anais do XXIII Congresso Nacional de Laticínios, Juiz de Fora, n. 351, v. 61, p. 29-37, jul/ago 2006.
- Pai, V. B. e Khan, S. A. Gelation and rheology of xanthan/enzyme-modified guar blends. *Carbohydrate Polymers*, v. 49, p. 207-216, 2002.
- Penna, A. L. B.; Sivieri, K. e Oliveira, M. N. Relation between quality and rheological properties of lactic beverages. *Journal of Food Engineering*, v. 49, p. 7-13, 2001.
- Prudêncio, I. D. Propriedades físicas de queijo *Petit Suisse* elaborado com retentado de soro de queijo e estabilidade de antocianinas e betalainas adicionadas. 2006. 87p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC).
- Prudêncio, I. D., Prudêncio, E., Gris, E. F., Tomazoni, T., Bordignon-Luiz, M.T. Petit suisse manufactured with cheese whey retentate and application of betalains and anthocyanins. *LWT – Food Science and Technology* (2007), doi:10.1016/j.lwt.2007.05.019
- Ramsden, L. Plant and algal gums and mucilages. Chemical and functional properties of food saccharides. CRC Press LLC: USA, 2004.
- Romanchik-Cerpovicz, J. E., Constantino, A. C. e Gunn, L. H. Sensory Evaluation Ratings and Melting Characteristics Show that Okra Gum Is an Acceptable Milk-Fat Ingredient Substitute in Chocolate Frozen Dairy Dessert. *Journal of the AMERICAN DIETETIC ASSOCIATION*, v. 106, p. 594-597, 2006.
- Sanchez, C.; Zuniga-Lopez, C.; Schmitt, S.; Despond, S. e Hardy, J. Microstructure of acid-induced skim milk-locust bean gum-xanthan gels. *International Dairy Journal*, v. 10, p. 199-212, 2000.
- Sandoval-Castilla, O.; Lobato-Calleros, C.; Aguirre-Mandeejano, E.; Vernon-Carter, E. J. Microstructure and texture of yogurt as influenced by fat replacers. *International Dairy Journal*, v. 14, p. 151-159, 2004.
- Sworn, M. Handbook Hydrocolloids. England: Woodhead Publishing Limited and CRC Press, 2000.
- Toneli, J. T. C. L., Murr, F. E. X. e Park, K. L. Revisão: Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos, *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, Especial, v. 7, n. 2, p. 181-204, 2005.
- Vega, C. e Goff, H. D. Phase separation in soft-serve ice cream mixes: rheology and microstructure. *International Dairy Journal*, v. 15, p. 249-254, 2005.
- Vega, C., Dalgleish, D. G. e Goff, H. D. Effect of k-carrageenan addition to dairy emulsions containing sodium caseinate and locust bean gum. *Food Hydrocolloids*, v. 19, p. 187-195, 2005.